



Influencia social de la Ingeniería en el lenguaje, los valores, Ética y desarrollo

Editor:

Dr. Ing. Johny Molleja

Agradecimiento.

Agradezco a la profesora y amiga Ing. Eneida Perez por sus asesorías y colaboración para la realización de este documento

CONTENIDO

INTRODUCCION A LA PARTE I	4
TECNOLOGÍA Y LA CIENCIA DE LA INGENIERÍA	17
DEFINICIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA	19
EL PAPEL DE LA CIENCIA SOCIAL EN INGENIERÍA	61
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y RELACIÓN CIENCIA-TECNOLOGÍA.....	87
LA INGENIERÍA COMO LA CIENCIA EMERGENTE	116
COHERENCIA Y DIVERSIDAD EN LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA	172
REFERENCIAS PARTE I	207
LA INFLUENCIA DE LA TECNOLOGÍA EN LA ÉTICA Y LOS VALORES DE LAS SOCIEDADES	240
POR QUÉ LAS TECNOLOGÍAS SON INTRÍNSECAMENTE NORMATIVAS	241
ARTEFACTOS Y NORMATIVIDAD	280
ESTÁNDARES PROFESIONALES	316
VALORES EN EL DISEÑO DE INGENIERÍA	339
EL CONCEPTO DE EFICIENCIA: UN ANÁLISIS HISTORICO	393
VALORES ESTÉTICOS EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO EN INGENIERÍA	420
RIESGO Y SEGURIDAD EN LA TECNOLOGÍA	466
EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA: CONCEPTOS Y MÉTODOS	507
LA INTERACCIÓN DE LA ÉTICA Y LA TECNOLOGÍA EN LA PERSPECTIVA HISTÓRICA	561
REFERENCIAS PARTE II	616

Parte I
La ingeniería como ciencia

INTRODUCCION A LA PARTE I

Johny Molleja

El hombre es una criatura muy singular. Ha desarrollado un don que lo hace único entre los animales, por tanto, contrario a ellos, no es una figura en el paisaje, es quien da forma al paisaje. Millones de años de evolución así lo demuestran, la naturaleza no ha dotado al hombre para un ambiente específico, una debilidad es, que cuando viene al mundo, no está en condiciones de sobrevivir inmediatamente como los demás animales, aunque su fortaleza es que se acomoda a todos los ambientes. Su imaginación, su inteligencia, su sutileza emocional y su fuerza, hacen posible para él no aceptar el ambiente, sino modificarlo, y es a través de invenciones, mediante las cuales el hombre, de era en era, ha rehecho su ambiente. Es un tipo diferente de evolución, no biológica, sino cultural.

El desarrollo intelectual del hombre es un proceso, en el que los primeros experimentos de los alquimistas tuvieron un lugar formativo, al igual que el descubrimiento de la molécula de ADN y la teoría de la relatividad de Einstein, y la sofisticada aritmética que los astrónomos Mayas de Centroamérica, inventaron para ellos mismos, independientemente del viejo mundo. El trabajo en piedra de Machu Picchu en los Andes, y la geometría de Alhambra, son construcciones tan fascinantes e importantes para sus pueblos, como la arquitectura del ADN para nosotros.

En cada época hay un momento crucial, una nueva forma de ver y comprobar la consistencia del mundo. Está congelado en las estatuas de la Isla de Pascua, que detuvieron el tiempo. O en los relojes medievales de Europa, que una vez también parecieron decir la última palabra sobre los cielos eternamente. No hay nada en la química moderna más inesperado que las aleaciones que

producen elementos con nuevas propiedades. Eso fue descubierto en Sud América cerca del nacimiento de Cristo y mucho antes en Asia.

Dividir y fusionar el átomo, ambos se derivan, conceptualmente, de un descubrimiento hecho en la prehistoria. Que la piedra y toda materia tienen una estructura, que puede dividirse y reunirse en nuevas configuraciones, también el hombre, casi al mismo tiempo, logró inventos biológicos, la agricultura. Domesticar el trigo salvaje, por ejemplo, y la improbable idea de domar y luego montar el caballo. Estos “ensayos” son un viaje, a través de la historia intelectual, una mirada personal a los altos logros alcanzados por el hombre.

Tradicionalmente, (Herder, 1996) el término griego tekhné, se traduce también por el término latino ars (arte). Desde Aristóteles, tanto la técnica como el arte, formaban parte del saber poético o productivo, por oposición tanto al saber teórico o contemplativo -que no modifica su objeto-, como oposición al saber práctico -que articula las acciones humanas (en la ética y la política)-, con el fin de conseguir la perfección o la felicidad. Con esta reducción de la técnica al ámbito de lo meramente productivo, en el contexto de la escala de valores de la filosofía griega, la técnica quedaba descalificada tanto ética como epistemológicamente.

Etimológicamente, (Herder, 1996) la epistemología significa «estudio del conocimiento», o «estudio de la ciencia», y puede entenderse como la rama de la filosofía que estudia los problemas del conocimiento. Este término, que empieza a generalizarse a finales del s. XIX, sustituyendo al más antiguo de teoría del conocimiento y, luego, al de gnoseología, presenta cierta ambigüedad, por lo que no siempre se usa con idéntico sentido.

Cuando se le atribuye un significado tradicional y clásico, se refiere al estudio crítico de las condiciones de posibilidad del conocimiento en general, ocupándose de responder a preguntas como: ¿Qué podemos conocer?, o ¿cómo

sabemos que, lo que creemos acerca del mundo es verdadero? En este caso, su objeto de estudio coincide con el de la teoría del conocimiento. En tanto que es una reflexión filosófica sobre la ciencia, (Moulines, 1988) la epistemología consiste esencialmente en un análisis lógico de las estructuras conceptuales de la ciencia, el cual se ubica, por así decir, en un nivel de segundo orden con respecto a la reflexión científica misma. Los conceptos de la epistemología son conceptos y sus teorías son teorías de teorías.

El objeto de estudio de la epistemología no son entidades acotadas espacio-temporalmente, como lo son los objetos de estudio de las ciencias mismas, sino entidades intelectuales abstractas de las que disponen los científicos para sus investigaciones. Y estudia esas entidades conceptuales en sus aspectos más autónomos, es decir, menos dependientes de las idiosincrasias personales, sociales, históricas de sus usuarios. En este sentido, la epistemología se distingue netamente de la psicología, la sociología y la historiografía de la ciencia, las cuales analizan los conceptos y las teorías de la ciencia, precisamente en su dependencia de factores psicosociales (personalidades, instituciones, grupos sociales, formas políticas, económicas, religiosas, etc.).

No hay incompatibilidad entre ambas formas de estudio de la ciencia, ni hay por qué tratar de eliminar la una en favor de la otra. Pero para nuestro caso, no solo incluimos el conocimiento científico, sino también el conocimiento tecnológico, a partir de la «filosofía de la tecnología».

TÉCNICA gen. (Editorial Herder S.A, 1996)

En general, el término se aplicaba a todo aquello que seguía una serie de reglas o de procedimientos para conseguir algún fin determinado. Así, podría hablarse de una techné de la navegación, o de una techné de gobierno. En este sentido aún se emplea, a veces, el término «arte» (arte de navegar, arte de gobernar), que se ha incorporado en la palabra «artesano».

Habitualmente la noción de técnica se asocia a la de producción de lo artificial, ya que Aristóteles había distinguido las cosas naturales (taphyseionta) de las cosas artificiales (tatechnéonta), de forma que, según él, las segundas son aquellas que están mediatizadas por la actividad humana que altera las potencialidades naturales. Así, un árbol puede, potencialmente, engendrar otros árboles, pero una mesa fabricada con la madera de aquél árbol no posee la potencia para dar lugar a otras mesas. De esta manera, la intervención de la técnica modifica la naturaleza alterándola profundamente. Para el mismo Aristóteles la tekhné es superior a la mera experiencia, y se parece a la episteme, ya que implica el conocimiento de principios pero, a diferencia de ésta, su fin no es la contemplación desinteresada.

De ahí deriva, quizás, un gran malentendido, que vicia buena parte de las reflexiones realizadas sobre la técnica, a saber: la idea de que es necesario (o posible) separar la esfera de las actividades específicamente humanas y morales, que poseen un fin en sí mismas, de la esfera de los instrumentos y las técnicas, desprovistas de finalidad propia. Pero tal separación es falaz, ya que la actividad humana en su conjunto no puede desgajarse de los medios y las técnicas, y la técnica misma forma parte de la cultura, entendida como forma de apropiación de la naturaleza.

Por ello, en la actualidad, el término técnica ya no se refiere solamente a lo que es un medio, y su significado es ya bien distinto del que tenía en la antigüedad o en la Edad Media, de manera que la pregunta misma « ¿qué es la técnica?» es propiamente una pregunta filosófica (Mitcham, 1985), que ha engendrado la filosofía de la tecnología.

Puede, pues, decirse que lo que tradicionalmente ha caracterizado la noción de técnica ha sido, por una parte, su aspecto productivo (de lo artificial) y, por otra, su carácter interesado, orientado hacia un fin práctico. Si nos

atenemos a los tipos de técnicas, podemos considerarlas, primero, desde el punto de vista de su vinculación con la teoría.

Así, hay técnicas basadas en saberes no codificados, que se transmiten por mera imitación (técnica de siembra o de recolección sin una base teórica, sino meramente empírica); técnicas que se sustentan en conocimientos bien codificados, que describen detalladamente los procedimientos a seguir y que están sometidas a un control de eficacia o de rendimiento (determinadas técnicas artesanales, como las técnicas pictóricas renacentistas, por ejemplo); técnicas que se derivan del conocimiento científico y cuyo desarrollo está directamente vinculado a la estructura económica y productiva de la sociedad. Según su finalidad y su racionalidad, podríamos clasificarlas en: técnicas racionales y técnicas mágico-religiosas. De hecho, es mejor considerar las llamadas técnicas mágico-religiosas (rogativas para conseguir lluvia, por ejemplo) como ritos, no como técnicas.

Las técnicas racionales pueden ser: cognoscitivas, artísticas, de comportamiento (técnicas publicitarias, o educativas, por ejemplo), o técnicas mediadoras entre el hombre y la naturaleza. Este último sentido es el más usado, y se vincula a la noción de máquina o instrumento. Lewis Mumford, no obstante, ha señalado que, desde la revolución neolítica (caracterizada por un gran despliegue de la técnica) hasta nuestros días, la técnica fundamental, matriz de todas las otras, ha sido la técnica político-burocrática (a la que determinados desarrollos actuales de la cibernética y las computadoras no son ajenos), que ha permitido el desarrollo de los grandes imperios (desde los neolíticos, hasta los coloniales o postcoloniales, pasando por el imperio romano).

La técnica del mundo antiguo y medieval estaba directamente ligada a las necesidades del culto, o puesta totalmente al servicio del Estado, y carecía del apoyo de la ciencia, concebida todavía como una actividad teórico-contemplativa desinteresada. A partir del Renacimiento, la aparición de las ciencias naturales

exactas (especialmente de la física matemática) produjo una fusión de la ciencia y la técnica en la dirección de un dominio técnico de la existencia. En esta fusión no es posible ya pensar en una técnica, entendida como meramente subsidiaria de la ciencia, ya que ésta no sería posible sin aquella. Sin el péndulo, el reloj, el telescopio o el microscopio, por ejemplo, no se hubiera podido desarrollar la ciencia moderna.

Por otra parte, la técnica misma produce fenómenos nuevos que la ciencia quiere desentrañar: la termodinámica, por ejemplo, nace después de la máquina de vapor. A su vez, la técnica, en el sentido moderno, que se desarrolla a partir del programa entrevisto por F. Bacon de dominar la naturaleza, se asocia a las estructuras sociales y a las relaciones de producción, de forma que, además de permitir el dominio de la naturaleza, permiten también el dominio de unos hombres sobre otros. Por ello no es de extrañar que muchos de los avances técnicos fundamentales, desde el desarrollo de las catapultas, hasta los misiles, se hayan efectuado a raíz de necesidades militares. En este sentido es preciso notar que la misma técnica nunca es plenamente neutral, política y socialmente, sino que, como señalaba Marx, en la medida en que surge en el seno de unas determinadas relaciones de producción, está al servicio de una determinada estructura social.

Por otra parte, cada época en la que se han producido notables avances técnicos ha sido acompañada por una cierta mitificación y unos ciertos temores. El miedo a que el hombre sea dominado por la técnica ha estado presente a partir del mismo momento en que se ha producido una importante presencia de la técnica en la sociedad. Así, las reacciones contra el maquinismo, por ejemplo, son expresión de este temor. Pero es el uso social de la técnica, más que la técnica misma, lo que en realidad se cuestiona. Esta reacción contra la técnica ha revestido las más diversas formas. Pero, desde la inicial condena eclesiástica contra la primera máquina moderna -el reloj mecánico-, que usurpaba a Dios el

control del tiempo, hasta las apocalípticas invectivas de Spengler, contra la técnica que mata el alma humana y es señal de decadencia espiritual, pasando por las destrucciones de máquinas por parte de los obreros en el siglo XIX, lo que está verdaderamente en juego es el control social de la técnica.

FILOSOFÍA DE LA TÉCNICA gen. (Editorial Herder S.A, 1996)

La reflexión filosófica acerca de la técnica no ha sido tradicionalmente muy abundante. Es cierto que, desde la Grecia antigua hasta la actualidad, la filosofía -e incluso ciertos mitos pre filosóficos (como el de Prometeo)- han tratado la cuestión de la técnica, pero casi siempre de un modo marginal. Una visión en cierto modo altiva de la filosofía respecto a la técnica -considerada como actividad menor- ha propiciado tal marginación. Así se comprende que el término «filosofía de la técnica» sea bastante reciente: aparece por primera vez en la obra de Ernst Kapp (Filosofía de la técnica, 1877), aparición que ha de interpretarse como paralela al proceso, por el que la técnica ocupa un destacado lugar en la sociedad contemporánea.

Como resumen del recorrido filosófico acerca de la técnica, puede seguirse el esquema de Carl Mitcham, el cual distingue tres etapas: 1) el escepticismo antiguo; 2) el optimismo del Renacimiento y la Ilustración; 3) la ambigüedad o desasosiego románticos.

La actitud escéptica antigua, se apoya en la repetida opinión filosófica que distingue entre un conocimiento verdadero (episteme) y un saber empírico (techne). La preeminencia de la actividad contemplativa (theoria) frente a las ocupaciones técnicas es otro modo de subrayar esa distancia insalvable entre la técnica y la filosofía. Junto a esa valoración de principio, la actitud antigua muestra además su desconfianza hacia los poderes técnicos, al entender que representan una extralimitación de la condición natural. Así, la técnica sería una expresión de la desconfianza hacia la naturaleza; sería la búsqueda de la

satisfacción de necesidades vanas que envilecen al ser humano y lo apartan de lo trascendente; o alimentarían una seducción por objetos de entidad degradada (el objeto técnico, o sea el artefacto, se considera de menor entidad que el objeto natural).

Tal actitud se prolonga en la Edad Media con la consideración, de raíz cristiana, acerca de la vanidad del conocimiento técnico y del poder terrenal frente al objetivo verdadero de la salvación. En general, pues, el escepticismo antiguo y pre moderno, desprecia el valor del saber y la actividad técnica. Esa actitud alimenta, por otra parte, al llamado mito teorista, mito según el cual, se valora la superioridad de la teoría y se interpreta la génesis de las ciencias y de las técnicas, siempre como derivadas de un saber teórico previo, sin valorar el sustrato empírico. Ejemplos de ese desprecio son incluso las actitudes mantenidas por algunos personajes con la doble condición de científicos y técnicos: Arquímedes (s.III a.C.), pero también más recientemente el físico H.A. Lorentz (1853-1928), se negaron a dejar constancia escrita de sus trabajos técnicos (el primero como hábil constructor de toda clase de artefactos mecánicos, el segundo como director de los trabajos en diques y esclusas en Holanda).

El Renacimiento y la Ilustración ven la aparición de la actitud optimista hacia la técnica. Ese optimismo está formulado, muy nítidamente, por Francis Bacon (1561-1626). El espíritu baconiano preside la moderna atención a la técnica, y antecede desde el punto de vista de las ideas, lo que se cumplirá, desde el punto de vista de los hechos, con la Revolución industrial. La exaltación de la vida activa frente a la contemplativa, de la praxis frente a la teoría, conducen a esa reivindicación de la técnica.

En último término, se trata de promover la idea del hombre, como amo de la naturaleza -incluso como creador junto a Dios-, y para ese destino, el dominio técnico es necesario. Sirve a esa nueva actitud una visión basada en un

pragmatismo epistemológico, en la primacía de los métodos inductivos, en una concepción que subraya igual entidad ontológica para los objetos naturales y para los objetos técnicos. Es más: la naturaleza es reconducida al modelo técnico; de este modo la máquina se convierte en la gran metáfora, que preside la concepción de la propia naturaleza. La sustitución de la idea del homo sapiens por la del homo faber, sería una indicación paralela a la de esta transformación centrada en la primacía de la máquina, hasta el punto que, el propio hombre será concebido como máquina (así en la obra de La Mettrie, *El hombre máquina*, 1748).

El hombre está llamado, pues, a promover los conocimientos y las aplicaciones técnicas. El optimismo ilustrado entiende que, en esa actividad, se cumple el designio humano, y la Revolución industrial será su consecuencia. Se invierte así la percepción respecto a la inferioridad de la técnica. Esta nueva sensibilidad es muy visible en la Enciclopedia de d'Alembert y sus colegas: baste recordar su título completo, *Diccionario razonado de las ciencias, de las artes y oficios*.

A la victoria efectiva de la ciencia y de la técnica, gracias a la Revolución Industrial, le sucede la crítica romántica. La reacción romántica se subleva contra el reduccionismo mecanicista, enfatizando una concepción de tipo orgánico; y ataca el primado de la racionalidad, apelando a los valores de la imaginación y el sentimiento. Por otra parte, los efectos de la Revolución industrial ya se dejan sentir en forma de miseria social. De ahí, el desasosiego representado por la reacción romántica: lo que el optimismo ilustrado había ignorado, es decir los temas de los límites de la técnica y de sus efectos perversos, sale a la luz. Como ejemplo de esta percepción problemática de las extralimitaciones del poder humano gracias a la técnica, puede citarse una famosa obra de Mary Shelley (*Frankenstein o el moderno Prometeo*, 1818).

Sin embargo, la crítica romántica es ambigua. Ya Rousseau (en su Discurso sobre los efectos morales de las artes y las ciencias, 1750) criticaba la concepción de los enciclopedistas, pero a la vez alababa los conceptos de Bacon. Y es que el romanticismo, es una crítica del optimismo técnico, es una reacción contra la ciencia y la técnica modernas, pero sus ideales (la autorrealización humana, la fusión orgánica con la naturaleza, la concepción del hombre como creador) pertenecen a la misma matriz que alumbró la moderna técnica y su valoración positiva.

Contemporáneamente, estas tres actitudes (escepticismo antiguo, optimismo ilustrado, desasosiego romántico) todavía son perceptibles. Pero además de estas influencias, ha de reseñarse el nacimiento y desarrollo de una específica filosofía de la técnica, o de un específico discurso filosófico acerca de la técnica. Esa filosofía de la técnica incluye la mencionada obra fundacional de Kapp (1877) y otras similares posteriores, que conformarían una de las dos tradiciones de la actual filosofía de la técnica, la llamada corriente ingenieril. Ésta consiste en un análisis más bien internalista de las condiciones, factores, métodos y finalidades del desarrollo tecnológico. Su intención es claramente laudatoria y optimista. La segunda tradición es básicamente crítica o externalista. En esa corriente crítica ha de citarse a Ortega y Gasset (Meditación de la técnica, 1939) y a Heidegger (La pregunta por la técnica, 1954), cuyas contribuciones se orientan a esclarecer el fundamento último del designio técnico.

Ortega y Gasset abordó el problema de la técnica desde una perspectiva antropológica, señalando que, gracias a la relación que se establece entre el hombre y la técnica, se puede descubrir la verdadera y auténtica constitución del ser humano, ya que la vida del hombre, a diferencia de los otros animales, no coincide con sus meras necesidades orgánicas. La técnica no es una mera prolongación del organismo humano, lo que presupone una concepción de la

técnica como adaptación del hombre a la naturaleza, sino que, más bien al contrario, la técnica muestra la capacidad humana de adaptar la naturaleza a las necesidades del hombre. Por ello, la acción técnica, solamente es posible cuando ya se han satisfecho las necesidades biológicas básicas. Entonces, la actividad humana puede desarrollarse para superar el mero «estar» y conseguir el «bienestar».

Heidegger ha elaborado una filosofía de la técnica desde la perspectiva peculiar de su epistemología, partiendo de su concepción de la verdad (alétheia) como desocultamiento. Desde este enfoque, Heidegger destaca la prioridad ontológica de la técnica sobre la ciencia, ya que el desarrollo de ésta, especialmente de la compleja ciencia contemporánea, solamente es posible a partir de los desarrollos técnicos. Pero tanto la ciencia como la técnica, propias del mundo occidental, son el fruto del olvido del ser, y arrancan del giro que Platón instauró en su concepción de la verdad. Desde entonces el hombre occidental ha dejado de escuchar al ser (con la excepción de Hölderlin) para dedicarse a adueñarse del ente. La técnica es el resultado de este olvido del ser, que ha conducido al hombre a dejarse atrapar por las cosas, lo que ha provocado una concepción del mundo, como un objeto que debe ser explotado y dominado. En este sentido, dice Heidegger, la técnica es la plena culminación de la metafísica basada en el mencionado olvido del ser.

Finalmente cabe citar la crítica desarrollada por otros autores, basada en una revisión social e histórica del desarrollo tecnológico. Así, L. Mumford destaca la inexistente pretendida neutralidad de la técnica y de la ciencia, y señala las conexiones entre ésta, el poder, los intereses de las clases dominantes y la ideología. Jacques Ellul centra su investigación en los cambios introducidos por la técnica en otros ámbitos, como son la producción de nuevas condiciones psicológicas y políticas, lo que sugiere que la acción técnica, en la medida en que se basa en determinados valores posibles, conduce a distintas formas de ser en

el mundo, razón por la cual, como decía Mumford, no es neutral en sí misma. En una dirección parecida se mueven las investigaciones de L. Wiener, que insiste en las relaciones entre técnica y política y de J. Habermas.

Es por eso que la ingeniería ha evolucionado de tal manera, y el volumen de conocimiento tecnológico es tal, que es adecuado que tienda a una emancipación epistémica. Pero no con la intención de separarla de las ciencias naturales, sino como ciencia misma, que toma los aspectos epistemológicos de la ciencia e incorpora aspectos de la técnica, que son más que una habilidad manual que se adquiere sin intelecto y son mas llevados al arte, el cual necesita sensibilidad y conciencia, dado que el artefacto resultante tiene una función que brinda comodidad, confort y otros aspectos asociados. La manera de evidenciar esta emancipación sería a través de una serie de estrategias, como son la contrastación del conocimiento científico y el conocimiento tecnológico, la construcción de una taxonomía del conocimiento tecnológico, apelar a la naturaleza tácita y prescriptiva del conocimiento tecnológico.

Es conveniente que, debido a los cambios significativos que han ocurrido en la evolución científica y tecnológica del ser humano, categorizar en etapas dichas evoluciones, las cuales se identifican según la profundidad del uso de la reflexión científica y tecnológica, Es importante la inclusión de la filosofía de la tecnología en la formación de los ingenieros. De aquí en adelante, van a presentarse una serie de trabajos de investigación de historiadores, filósofos, psicólogos, sociólogos, economistas e ingenieros preocupados por el tema social de la tecnología.

TECNOLOGÍA Y LA CIENCIA DE LA INGENIERÍA

Hans Radder

1 VARIEDADES DE DEFINICIÓN

En primer lugar, existen cuestiones relativas a la terminología adecuada y a las definiciones de la relata elegida. ¿Por qué utilizar la "tecnología" y no, por ejemplo, "técnicas" o "técnicas"? ¿Se puede tomar el concepto moderno de ingeniería como equivalente a las nociones más antiguas de las artes mecánicas o industriales? ¿Tiene sentido distinguir entre ingeniería y ciencias de la ingeniería? ¿Qué incluir entre las ciencias: las ciencias naturales, las ciencias de la ingeniería, las ciencias sociales o incluso, en la tradición europea, el *Geisteswissenschaften*? Un debate exhaustivo de estas cuestiones implica la tarea de proporcionar definiciones más elaboradas de los términos utilizados. Esto lleva a varias preguntas más. La cuestión general es qué variedad de definición debe utilizarse. Como se muestra en detalle más adelante, en el capítulo de Carl Mitcham, hay al menos cinco enfoques disponibles: enfoques etimológicos, esenciales, prescriptivos, lingüísticos y pragmáticos para la definición. Una cuestión importante y relacionada es la siguiente: ¿qué puede, o debe, lograrse proporcionando una definición? Lo que quiero decir es la cuestión de la naturaleza de la relación entre la definición y lo que se está definiendo (la definición). Claramente, cómo responder a esta pregunta dependerá de la variedad de definición elegida. Un enfoque logístico requiere que la definición especifique un conjunto de condiciones necesarias y suficientes, para las instancias a las que se aplica. Sin embargo, en el caso de nociones amplias y multidimensionales, como la tecnología, la ingeniería y la ciencia, esto resulta ser difícil, si no imposible, de lograr. Por lo tanto, un enfoque más realista requiere que la definición capture entidades clave o patrones típicos del definiendum, o que especifique semejanzas familiares significativas entre sus instancias. Este es el enfoque adoptado en los capítulos de esta parte del Manual, a veces explícitamente, como en mi propio capítulo, y a veces más implícitamente, como en el capítulo de Gerhard Banse y Armin Grunwald.

2 TIPOS DE RELACIONES.

Además de especificar la relata, tenemos que estudiar la relación entre tecnología, ingeniería y ciencia. Una cuestión metodológica crucial es la existencia de diferentes tipos de relaciones que pueden ser estudiadas. Una vez más, desde una perspectiva general se pueden distinguir los tres enfoques siguientes. Podemos examinar las relaciones empíricas entre la tecnología, la

ingeniería y las diversas ciencias. Este enfoque puede incluir un relato histórico de las relaciones reales entre la tecnología y las ciencias naturales, como se puede encontrar en el capítulo de David Channell, o un estudio del (problemático) papel de las ciencias sociales en la ingeniería y las ciencias de la ingeniería, según lo proporcionado en el capítulo por Knut Sorensen. Aunque es importante que los filósofos conozcan las prácticas reales de la tecnología, la ingeniería y las ciencias, la filosofía no puede limitarse a un estudio empírico de su materia. Por lo tanto, un segundo enfoque se centra en las relaciones conceptuales: caracteriza la tecnología, la ingeniería y las ciencias a través de una especificación conceptual de sus similitudes y diferencias. Este es el enfoque adoptado en el segundo capítulo de esta parte, que aborda la relación entre la tecnología y la ciencia natural, y en el último capítulo, donde el enfoque se centra en una conceptualización de las ciencias de la ingeniería en relación con las ciencias naturales y prácticas técnicas. Un tema que ocasionalmente se discute en esta parte del Manual pero que merece un estudio más detallado (empírico y conceptual), es el importante papel de la instrumentación tecnológica en las diversas ciencias. Un tercer enfoque se centra en la relación entre la tecnología, la ingeniería y las ciencias desde una perspectiva evaluativa. ¿Cómo se evalúan las diversas relatas y cómo deben evaluarse, tanto en sí mismas como en comparación entre sí, como tanto en lo que respecta a su valor epistémico como en términos de su valor social y moral? Aunque estas preguntas surgen ocasionalmente (por ejemplo, en mi propio capítulo) y explorar estas relaciones evaluativas con más detalle sigue siendo una tarea importante para seguir investigando la filosofía de la tecnología y las ciencias de la ingeniería.

3 TIPOS DE MODELOS.

Por último, son posibles diferentes tipos de modelos de cada uno de estos tres tipos de relación y la correspondiente relata. El primer tipo puede llamarse modelos de primacía. En estos modelos, la primacía empírica, conceptual o evaluativa se da a la tecnología, a la ingeniería o a la ciencia. Los autores que hacen hincapié en la base práctica de la ingeniería y la ciencia a menudo darán primacía a la tecnología, mientras que los autores que enfatizan la base científica de la ingeniería y la tecnología se inclinarán a asignar primacía a la ciencia. La "tradicción de las humanidades" en la filosofía de la tecnología avala con frecuencia la primera posición, mientras que la "tradicción de ingeniería" a menudo aboga por la segunda. Por ejemplo, una "primacía conceptual del modelo tecnológico" se puede encontrar en la filosofía de la tecnología de Heidegger. El llamado modelo lineal de la relación ciencia-

tecnología, discutido en varios capítulos, ejemplifica una "primacía del modelo científico", que puede especificarse más adelante como empírica y/o conceptual y/o evaluativa. Un segundo tipo de modelo rechaza las reivindicaciones de primacía en favor de un enfoque interactivo bidireccional, que supone que la tecnología, la ingeniería y la ciencia son entidades independientes, pero que interactúan. Por ejemplo, como se describe en los capítulos, segundo y cuarto de esta parte, sin negar su interacción con el conocimiento científico, los historiadores de la tecnología a menudo han hecho hincapié en el carácter independiente del conocimiento tecnológico. El tercer capítulo demuestra la independencia de la ingeniería de las ciencias sociales e implica que sería deseable una mayor interacción entre los dos. El quinto capítulo proporciona una caracterización independiente de las ciencias de la ingeniería en términos de sus métodos y objetivos, pero también hace hincapié en la importancia de sus interacciones con las tecnologías prácticas y las ciencias básicas. Un tercer tipo de modelo se basa en la idea de una web sin fisuras: estos modelos asumen que la tecnología, la ingeniería y la ciencia están tan fuertemente entrelazadas que no se pueden distinguir sensatamente. Debido a la supuesta fluidez, los defensores de estos modelos a menudo utilizan la noción de ciencia tecno (véase el segundo y cuarto capítulos). Una vez más, los modelos web interactivos y sin fisuras pueden desarrollarse desde una perspectiva empírica, conceptual o evaluativa. A partir de este breve boceto de un marco conceptual integral para estudiar la relación entre la tecnología, la ingeniería y las ciencias, quedará claro que el tema de esta parte de este escrito, abarca una gran variedad de cuestiones relevantes. En varias de estas cuestiones, se ha realizado un trabajo sustancial y, por lo tanto, su trabajo se presenta y revisa en los capítulos posteriores; en otras cuestiones menos investigadas, finalmente, otras cuestiones tienen que esperar el desarrollo futuro del área relativamente joven de la filosofía de la tecnología y las ciencias de la ingeniería.

DEFINICIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Carl Mitcham y Eric Schatzberg

Una de las cuestiones más difíciles en cualquier regionalización de la filosofía, a menudo se centra en llegar a un consenso sobre la mejor manera de definir el tema bajo investigación. Este es sin duda el caso con respecto a la tecnología y la ciencia de la ingeniería (a menudo en plural y también a veces llamadas ciencias tecnológicas), la región de la realidad o la experiencia humana en la que se centra la filosofía de la tecnología. Estos fenómenos y sus términos clave están cargados de connotaciones e interpretaciones disputadas, en parte

porque la definición y la conceptualización asociada tienen implicaciones para otras cuestiones, como las relaciones entre la tecnología, la ciencia y el arte. Así pues, el presente capítulo comienza (sección uno) revisando varios enfoques de la definición antes de pasar a la cuestión en sí, es decir, definiendo la tecnología. A continuación, esboza (sección dos) los antecedentes etimológicos e históricos antes de comprometerse a analizar cómo la "tecnología" ha surgido en conjunto con diversas estrategias de definición y conceptualización en ciencia e ingeniería (sección tres), en las humanidades (sección cuatro), y en las ciencias sociales (sección cinco). Una conclusión (sección seis) argumenta a favor de distinciones que reflejan el uso del lenguaje común y los fenómenos del mundo real, prestando especial atención al contexto y las implicaciones. Otra dificultad para definir la tecnología surge de los problemas de traducción. La mayoría de las lenguas europeas continentales utilizan dos términos distintos que se representan comúnmente en inglés como "tecnología", a saber, las formas vernáculas del latín técnico y "técnica". Aunque existen matices y excepciones en cada idioma, en esencia la distinción es lo que uno esperaría de la etimología. Los cognados de la "tecnología" generalmente se refieren a la ciencia o discurso sobre las artes prácticas y materiales, mientras que los cognados de "técnica" se aplican a los procesos y métodos reales de estas actividades. A lo largo de la mayor parte del siglo XX, la "técnica" era el término dominante; discurso más filosófico sobre la tecnología en francés, alemán, holandés, español, portugués, italiano y más es de hecho un discurso sobre la "técnica": la technique, die Technik, de techniek. (Estos cognados también pueden significar "técnica" en el sentido convencional inglés de habilidad o medios para un fin; contraste Klaviertechnik, técnica de piano, con Elektrotechnik, ingeniería eléctrica. Pero tal uso es distinto del generalmente traducido como "tecnología.") Sin embargo, desde la Segunda Guerra Mundial, todas las palabras arraigadas tanto en la tecnotecnia como en la tecnología se han traducido regularmente al inglés como "tecnología", lo que ocultó una distinción básica. Una reverberación posterior del discurso en inglés sobre la "tecnología", a menudo derivada del discurso europeo sobre la "técnica", cuando se traduce a otros idiomas por un cognado de "tecnología", ha tendido a difuminar aún más la distinción. En este capítulo, la "tecnología" abarca ambos discursos, al tiempo que intenta siempre que sea posible y apropiado llamar la atención sobre una distinción entre técnica y tecnología.

1 ENFOQUES DE DEFINICIÓN

Las definiciones y su funcionamiento son fundamentales para la filosofía. En la instancia presente, la cuestión de la definición es tanto nominal como real, es decir, se refiere a la palabra "tecnología" (así como a los términos asociados) y a los fenómenos técnicos. La cuestión con respecto a la tecnología en la filosofía de la tecnología es paralela a las discusiones en la filosofía de la ciencia sobre cómo demarcar adecuadamente la ciencia de la no ciencia, en la filosofía de la religión sobre la mejor manera de describir la religión, y en el filosofía del lenguaje sobre cómo caracterizar lo que constituye el lenguaje. Las respuestas también tienen implicaciones para definir las ciencias de la ingeniería. Dada su importancia, antes de explorar alternativas de definición, es propedéutico revisar diferentes enfoques de definición y conceptualización en teorías generales que están estrechamente relacionadas con la filosofía del lenguaje, la teoría del significado y concepciones de la verdad. Sin embargo, en el caso presente, nos restringiremos a cinco enfoques básicos de definición y conceptualización: etimológicos, esenciales, prescriptivos, lingüísticos y pragmáticos.

1) Las definiciones etimológicas están orientadas en torno al origen de los términos. En su estudio de las raíces históricas de las palabras, la etimología está estrechamente relacionada con la filología y la lingüística. "Etimología" es en sí misma etimológicamente, un compuesto del griego *ἔτυμον*, "verdadero" y *λόγος* (discurso o razón). En la tradición europea, el enfoque del significado a través de los orígenes lingüísticos se puede encontrar ya en el siglo IV a. C. en *Crytalus* de Platón, donde un argumento para el significado natural, implicó el desarrollo de numerosas etimologías fantasiosas. Las Escrituras hebreas, también, incluían etimologías para explicar especialmente los topónimos. Fuera de la tradición europea, ya en el siglo VII a. C. los estudiosos sánscritos emplearon la etimología para examinar palabras de significado sagrado. Numerosos autores griegos y romanos clásicos, continuaron utilizando la etimología para presentar significados, y en el siglo VII DC, *Etymologiae* de Isadore, de Sevilla fue escrito como un manual general de aprendizaje. En su sentido moderno (y a veces científico), un importante contribuyente a la etimología fue el prodigio lingüístico William Jones que, como funcionario británico en la India colonial del siglo XIX, hizo investigaciones comparativas sobre palabras indoeuropeas. Uno de los descubrimientos de Jones fue la existencia de un tallo común griego-sánscrito, *tekhn-*, que significa "trabajo en madera" o "carpintería", que obviamente está presente en la "tecnología".

Durante este mismo período Friedrich Nietzsche desplegó etimología en su crítica genealógica de la moral cristiana burguesa, a la que siguió en el siglo XX Martin Heidegger, quien utilizó la etimología para volver a visitar los significados aceptados en una variedad de contextos. Sin embargo, como método para construir la definición filosófica, la etimología ya estaba en el Crytalus desafiado por Sócrates, quien argumentó que "el conocimiento de las cosas no debe derivarse de nombres" y que en cambio las cosas deben "ser estudiadas e investigadas en sí mismas" (439b). Los llamamientos a un cambio de las palabras a las cosas han sido desde entonces un motivo en la historia de la filosofía.

2) Investigar las cosas en sí mismas tiene como objetivo producir definiciones o conceptos esenciales. En la teoría clásica, las definiciones son de conceptos, que son a su vez "representaciones mentales estructuradas que codifican un conjunto de condiciones necesarias y suficientes para sus perceptivas de aplicaciones " [Margolis y Laurence, 1999, p. 10]. Las definiciones esenciales suelen adoptar la forma de proposiciones indicativas que establecen el qué de algo. Para Aristóteles (y muchos otros) las definiciones esenciales tienen un género y una especie o estructura de diferencias. Un ejemplo podría ser la afirmación de que la tecnología es la fabricación humana sistemática de objetos físicos y/o el uso de tales objetos: la tecnología es el comportamiento humano (género) involucrado con la fabricación o el uso sistemático de artefactos (especies). Sin embargo, en las definiciones de género-especie, surgen preguntas acerca de si la diferencia indica una estructura o realidad o es simplemente un medio conveniente para controlar el comportamiento y el uso de palabras. Las taxonomías biológicas, por ejemplo, emplean características convenientes de organismos que no reflejan necesariamente sus determinantes genéticos más fundamentales. Pero cuando se define la tecnología, como a veces pasa, como ciencia aplicada, esto a menudo se toma para expresar la estructura interna del fenómeno, una visión que también ha sido ampliamente cuestionada como inexacta, dado que las ciencias de la ingeniería, como la termodinámica a menudo siguen la invención de las tecnologías, en este caso el motor de vapor. Las definiciones esenciales también se denominan a menudo connotativas o intencionales, en la medida en que especifican las condiciones necesarias y suficientes para algo que es miembro de una clase. Las definiciones anotativas se contrastan con las definiciones denotativas o extensionales (también enumeradas), respectivamente, las cuales simplemente enumeran todos los miembros de la clase. Una forma importante de una definición de extensión es

una definición ostensiva, que apunta a la cosa o cosas a las que se hace referencia: "Ese avión superior es una tecnología". La denotación ha dado lugar a la teoría de prototipos de conceptos, en la que los conceptos se describen como "representaciones estructuradas que codifican las propiedades que los objetos en su extensión tienden a poseer" [Margolis y Laurence, 1999, p. 31].

3) Las definiciones prescriptivas tienen la estructura de oraciones imperativas que instruyen o mandan cómo se va a utilizar una palabra. Dar nombres propios es un acto prescriptivo: "Llámame Ismael". Las definiciones estipuladas son otro tipo de prescripción, como en geometría: "Definamos un punto como una ubicación sin dimensiones (altura, anchura o profundidad)." Tales estipulaciones pueden, como en este caso, también tener una estructura de especies de género e indicar alguna entidad no lingüística, aunque la entidad no lingüística suele ser imaginaria, abstracta o ideal. Como sugieren tales ejemplos, las definiciones prescriptivas pueden ser nominales o formales. Con el nominalismo prescriptivo, las definiciones funcionan como reglas semánticas para el uso de palabras; con formalismo prescriptivo, las definiciones son reglas sintácticas para la manipulación de símbolos. En la medida en que va más allá de los nombres propios, el nominalismo prescriptivo se promueve (como con Francis Bacon) como una manera de aclarar el lenguaje natural y evitar confusiones en los argumentos. En la medida en que esta táctica comienza con palabras ordinarias y las hace más precisas, se ha llamado definición de precisión (un método recomendado por John Locke). El formalismo prescriptivo está más asociado (como en el trabajo de Alfred North Whitehead y Bertrand Russell) con la construcción de lenguajes artificiales, especialmente en lógica, matemáticas y otros sistemas formales. Esta versión del prescriptivismo también se ha descrito como la creación de definiciones teóricas. Las definiciones persuasivas y genéticas, también, ilustran el enfoque prescriptivo. Una definición persuasiva se estructura retóricamente para apelar a la psicología de la persona a la que se dirige y tiene como objetivo lograr una actitud positiva o negativa. Por ejemplo, para un ingeniero se podría decir: "Un buen diseño tecnológico es aquel que utiliza materiales y energía eficientemente". (Prácticamente la misma definición también podría ser propuesta por un crítico de humanidades de la ingeniería: "La tecnología se centra sólo en la eficiencia.") Por lo tanto, la definición persuasiva depende en gran medida del contexto. Una definición genética concibe algo en términos de su construcción: "Una bomba atómica es lo que se obtiene cuando se crea una masa crítica de U-235". Estas definiciones son compatibles con la teoría neoclásica de conceptos como

"representaciones mentales estructuradas que codifican definiciones parciales, es decir, condiciones necesarias para su aplicación" [Margolis y Laurence, 1999, p. 54]. Las definiciones prescriptivas entran en juego en particular en diversos contextos sociales e históricos; "tecnología", es decir, tiene una historia social. Como han señalado los historiadores Ronald Kline [1995], Ruth Oldenziel [2006], Eric Schatzberg [2006], y otros han señalado, la "tecnología" sólo adquirió su valencia actual en inglés a principios de 1900, primero en los Estados Unidos y luego por Adopción después de la Segunda Guerra Mundial. Mientras Schatzberg resume el tema, cuando el economista Thorstein Veblen trasplantaba discusiones alemanas a principios del siglo XX sobre el impacto social de Technik en el contexto norteamericano, reemplazó sutilmente el término más común "artes industriales" por "Tecnología" en parte para enfatizar el poder histórico y las asociaciones científicas de formas mecanizadas de producción. Como Oldenziel observa además, "el ascenso de la tecnología como palabra clave en los Estados Unidos es perfectamente paralelo al surgimiento de Estados Unidos como una superpotencia comprometida con la tecnología, como herramienta clave para el desarrollo en el resto del mundo" [Oldenziel, 2006, p. 485]. Aunque tales análisis sociales del uso de palabras se refieren principalmente a cuestiones relacionadas con la prescripción y la persuasión, el enfoque en las dimensiones retóricas está asociado con lo que se ha denominado un giro lingüístico en la historia de la filosofía.

4) El enfoque lingüístico de la definición se centra en las palabras más que en las cosas y, como posición filosófica, puede basarse en la etimología y reflejar una interpretación conductista en lugar de esencialista de la forma de las especies de género; como tal, está relacionado pero no es reducible a la construcción de definiciones léxicas (en diccionarios) que simplemente informan del uso. En el caso de la "tecnología", por ejemplo, (OED) el volumen pertinente de la primera edición del Oxford English Dictionary (1919) informó, pasando de los más a los menos comunes, tres usos: (1) "un discurso o tratado sobre un arte o artes; el estudio científico de las artes prácticas o industriales"; y por extensión, "las artes prácticas colectivamente"; 2) "la terminología de un arte o tema en particular; nomenclatura técnica"; y (3), gramática obsoleta y rara. La segunda edición (1989) amplió significativamente las referencias posteriores a la Segunda Guerra Mundial al primer significado extendido y luego introdujo la extensión adicional de "un arte práctico o industrial en particular", así como numerosos usos calificados como "alta" y "baja tecnología." A continuación, añadió un cuarto uso en combinaciones especiales como

"evaluación de tecnología" y "transferencia de tecnología". Sorprendentemente, el OED no reconoce el sentido común de la tecnología como artefacto, como cuando se dice que los estadounidenses tienen, en comparación con la "pobreza" de los países en desarrollo, casas llenas de tecnologías (lavavajillas, trituradores, televisores, computadoras, etc.). La filosofía lingüística, sin embargo, busca ir más allá de la lexicografía distinguiendo el uso del útil. Por ejemplo, Gilbert Ryle [1953] argumentó que si bien el "uso indebido" no es posible (la gente simplemente habla de la manera en que habla) es "mal uso". El análisis conceptual puede identificar usos indebidos lógicos en el uso lingüístico común, como cuando las personas pronuncian propuestas incoherentes. Un esfuerzo más sutil para distinguir el uso del útil depende de la noción de Ludwig Wittgenstein de los juegos de idiomas. Para Wittgenstein, el significado de una palabra depende del papel que desempeña en un juego de idiomas, las reglas de los cuales proporcionan la base para determinar el uso adecuado; el uso indebido se produce cuando el uso va más allá de las reglas de cualquier juego en particular. Con referencia a este enfoque, Francois Lyotard [1979] describió la técnica ("tecnología" en la traducción al inglés) como un juego en el que la regla de gobierno no es la verdad, la justicia, ni la belleza, sino la eficiencia, lo que implica que llamar a un proceso de una "tecnología" sería hacer un mal uso de la palabra.

Un enfoque lingüístico de la definición tiene raíces profundas en los análisis conceptuales presentes en muchos argumentos filosóficos. Un ejemplo clásico ocurrió en *euthyphro* de Platón, donde Sócrates trató de conseguir que el interlocutor homónimo fuera claro sobre el significado de la piedad. En la tradición de la filosofía británica que va de Locke a John Stuart Mill, a menudo también se ha hecho un llamamiento para la aclaración terminológica según sea necesario para la argumentación sólida. Este enfoque fue fuertemente promovido por G.E. Moore y posteriormente por Wittgenstein, quien famosamente creía que muchas dificultades filosóficas como el libre albedrío y el problema mente-cuerpo surgió del mal uso de la lengua y podrían disolverse aumentando precisión lingüística. Richard Robinson [1950], en una monografía filosófica sobre la definición, hizo un argumento extendido para un relato estrictamente lingüístico de las definiciones como informes de uso de palabras más un elemento prescriptivo o estipulativo relativo al uso. En tales casos, cabe señalar que la definición suele ser la conclusión y no el comienzo de un argumento. Un ejemplo podría ser: "Una revisión cuidadosa de varios usos para el término 'tecnología' muestra que se limita mejor a la fabricación y el uso

científicos." (Para un examen sugerente del uso de palabras y, por lo tanto, un enfoque filosófico lingüístico dentro más bien de la tecnología, véase [Hollister-Short, 1977].)

5) En una visión general de la definición sobre la que se basa el presente, Raziel Abelson sostuvo que "esencialistas concluyen que el conocimiento transmitido por las definiciones es conocimiento descriptivo de las esencias, los filósofos lingüísticos concluyen que es conocimiento descriptivo del uso del lenguaje, mientras que los prescriptivistas sostienen que las definiciones no transmiten conocimiento de ningún tipo" [Abelson, 1967, p. 321]. Sin embargo, en su opinión, ninguno de estos enfoques, ni siquiera dentro de sus propios marcos, proporciona criterios suficientes para distinguir las definiciones buenas de las malas definiciones. Existe un conjunto de reglas para la construcción de buenas definiciones heredadas de la filosofía escolástica. Esas normas incluyen que una definición debe abarcar plenamente el definitum (cosa que se está definiendo), que el definitum no debe reaparecer en la definición, y que las definiciones deben utilizar términos unívocos para evitar la ambigüedad. Pero incluso siguiendo estas reglas, las definiciones a veces pueden ser inadecuadas para sus contextos. La consideración pragmática de cómo encaja o sirve al contexto en el que se formula constituye, por tanto, otro enfoque de la definición, que puede utilizar, según proceda, enfoques etimológicos, esenciales, prescriptivos o lingüísticos. En resumen, el pragmatismo busca definiciones que funcionen bien en contexto, negando que haya algo como una definición pura o una definición que no sirva para algún propósito. Las definiciones estipulativas funcionan en matemáticas. Las definiciones esenciales se equivocan al presumir la existencia de alguna esencia fuera de una relación de funcionamiento, pero dentro de un contexto (por ejemplo, la biología) puede funcionar bastante bien; uno simplemente no debe presumir que una definición de especie de género de una planta o animal tiene algo que decir sobre (por ejemplo) su estructura interna o cómo la planta o animal puede o debe ser utilizado por los seres humanos. El contexto de las definiciones lingüísticas es el uso general del lenguaje más que el uso del lenguaje en cualquier situación especializada, cuando la preparación puede ser más apropiada. En cierta medida, esto refleja anónimamente, la teoría-teoría de los conceptos, entendido como "representaciones cuya estructura consiste en sus relaciones con otros conceptos según lo especificado por una teoría mental" [Margolis y Laurence, 1999, p. 47].

2 ETIMOLOGIA E HISTORIA CONCEPTUAL TEMPRANA

No es necesario creer que la etimología descubre los verdaderos significados de las palabras para conceder que la historia lingüística a menudo influya en los significados actuales. J. L. Austin, por ejemplo, ha reconocido "nubes de etimología" como influencias persistentes en los significados actuales [Austin, 1961, p. 149]. En particular, esto es así para términos como "tecnología", que a menudo se crearon con referencia explícita a la etimología. Por lo tanto, los entendimientos de la "tecnología" inglesa y las "ciencias de ingeniería/tecnología" se benefician de un examen de sus vínculos con términos relacionados en otros idiomas. Sin embargo, los eruditos deben tener cuidado de no proyectar significados presentes sobre términos en el pasado, incluso el pasado relativamente reciente. Así como la actual tecnología alemana no es lo mismo que la "tecnología" inglesa, tampoco los significados de la "tecnología" son los mismos en el inglés del siglo XIX y XXI. Las palabras inglesas "technics", "technique" y "technology" están arraigadas en el griego "art", "craft" o "skill". Lo mismo ocurre con el Technik/Technologie alemán y la técnica/technologie francesa. (Como ya se ha señalado, el griego tiene detrás de él un tallo indoeuropeo común.) El fonema raíz se proyecta en el latín texere (para tejer) y tegere (para cubrir). En la literatura clásica popular techne y su traducción al latín, ars (del cual el inglés "arte"), podría referirse también a la inteligencia o la torpeza en conseguir, hacer, o hacer y a oficios específicos, artesanías y habilidades de muchos tipos. Las etimologías detalladas se pueden encontrar en [Schadewaldt, 1960; Heyde, 1963; Seibieke, 1968]. La tradición filosófica griega contenía ricas discusiones sobre la naturaleza de la tecnología. Carl Mitcham [1994] ha observado cómo la tecnología llegó a ser concebida no sólo como una actividad, sino como una especie de conocimiento. En las Gróginas de Platón, por ejemplo, Sócrates argumentó que cada techne implica logoi (palabras, discurso, razón) que influye en el arte involucrado (450b). Además, Sócrates distinguió dos tipos de tecno, uno que consistía principalmente en trabajo físico que requería un uso mínimo de la razón consciente, como la pintura o la escultura) y otro dependiendo más íntimamente de la razón que requería poco esfuerzo (como la aritmética, la logística o la astronomía). Actividades como cocinar y persuadir fueron etiquetadas como atechnos (no técnicas), cada una de ellas es una mera tribu (knack o rutina) basada simplemente en empeiria (experiencia) (501a). En el Ion, los poetas que ejercieron su poiesis (hacer) en virtud de la inspiración divina también fueron descritos como carentes de techne (cf. 533d). El primer Platón, entonces, parecía adoptar lo que se ha llamado la teoría prototipo del concepto de técnica como coextendido con esas actividades humanas que se pueden hablar o razonar. Contrariamente a las

caracterizaciones a menudo repetidas de Platón como mirando hacia abajo en las técnicas, esta lectura dio a *techne* una dimensión no utilitaria, por no decir trans-humana. Más tarde Platón articuló una comprensión diferente pero relacionada de la tecnología. En el *Philebus*, por ejemplo, el conocimiento se dividió en el que implicaba la educación o la instrucción y que se dedicaba a hacer o producir (55c). De la segunda, los conocimientos técnicos, hubo de nuevo dos tipos: un tipo (ejemplificado por la música, la medicina y la agricultura) que procedió por la conjetura y la intuición basada simplemente en la práctica y la experiencia, y otro (como la carpintería) que conscientemente implicaba el uso de numeración, medición, pesaje (55e-56c). Este último poseía mayor *akribeia* (exactitud o precisión) y esto se denominaba *techne* en un sentido primario. Así, la tecnología se distinguió de toda actividad humana y conocimiento de un tipo político (educación y, por extensión, artesanía estatal) para estar más estrechamente asociada con las actividades de fabricación física o producción. Además, las actividades que hacen eran realmente tecnológicas y que implicaban cierta precisión cuantitativa. Aristóteles argumentó una comprensión complementaria de la tecnología como uno en un espectro de diferentes formas de compromiso con la realidad, pasando de la sensación a través de la experiencia a la teoría (*Metafísica I*). De acuerdo con su definición formal, *techne* es “*ἕξις μετὰ λόγου ἀληθοῦς ποιτική*”, “*Ética a Nicomaco VI*”, 4; 1140a11). Traducido con literalidad servil: *Techne* es un hábito (o disposición estable para actuar) con un verdadero *logos* ordenado para hacer (producción humana). Esta definición de *techne* fue utilizada repetidamente para definir el arte (Latin *ars*) por estudiosos posteriores, entre ellos Thomas de Aquino, Ephraim Chambers (en su *Cyclopedia* de 1728), y más recientemente por los neotomistas Etienne Gilson y Jacques Maritain. Una vez más, el carácter realista y no utilitario del conocimiento técnico salió a la venta; en la medida en que era cierto, este *logos* se basaba en la *gnosis* (comprensión mental o cognición) de *aitia* (causas) (*Metafísica I*, 1; 981b6-7). *Techne* fue concebido así como *episteme* en el que implicaba la verdadera conciencia del mundo y podía ser enseñado o comunicado (*Metafísica I*, 1; 981b8-10); pero era una forma distintiva de *episteme* en la medida en que se aburría a las cosas cambiantes en lugar de inmutables (cf. *Ética a Nicómaco VI*, 6; 1141b 31-36). Platón y Aristóteles estuvieron de acuerdo en enfatizar el carácter “lógico” de la tecnología, incluso mientras no estaban de acuerdo sobre el tipo de *logos* involucrados. Sin embargo, ninguno se sentía atraído a unirse a las dos palabras: hablar de un logotipo de *techne*. *Techne* simplemente usó *logos*. En pocas palabras, lo que puede ser captado o conocido por *techne* a través de *logos* fue los *eidos* (idea o

forma) en Platón o la *aitia* (causas) en Aristóteles. Lo que no fue capaz de ser captado fue el proceso, el "cómo hacerlo" de la *poiesis* (hacer).

Como para enfatizar el punto, Aristóteles argumentó además que era parte de *techne* "conocer la forma y el asunto", pero el asunto, *hyle*, sólo "hasta un punto" (Física II, 2; 194a23). "La materia es incognoscible (*agnosis*) en sí misma" (Metafísica II, 10; 103a9). La forma era la idea en la mente del artesano (Metafísica VII, 7; 1032a35), pero su unión con la materia estaba a merced de la materia y su receptividad específica. La guía definitiva para el proceso de elaboración no fue la razón, sino la percepción, la *aistesis* (Ética a Nicómaco II,9; 1109b23; cf. II, 2; 1104a1-9). En un caso, Aristóteles llegó a describir la unión de la forma y la materia como dependiente de un "deseo" o "alcanzar" la materia (Física I, 9; 192a18). Reflejando precisamente esta sensibilidad, un erudito [Dunne, 1993] ha argumentado extensamente las fuertes conexiones entre la tecnología y la *fronesis* o que la sabiduría práctica constituida por el reconocimiento del potencial listo y capaz con la asistencia adecuada para ser asuntos prácticos, un reconocimiento que no pudo reducirse a algún método. En un análisis perspicaz de la tecnología en la antigüedad griega y romana, la historiadora Serafina Cuomo [2007] compara las conceptualizaciones platónicas y aristotélicas con las del *corpus hipocrático*, argumentando que tanto los entendimientos filosóficos como los médicos, observó una fuerte conexión entre *techne* y *tyche* o suerte. A pesar de la enseñabilidad de la tecnología, la fabricación real de artefactos o la salud se mantuvo fundamentalmente estocástica en la medida en que dependía de la particularidad de la materia y por lo tanto la suerte de actuar de acuerdo con los *kairos* o el momento adecuado. Al mismo tiempo, esta capacidad de aprovechar el momento, introdujo en los asuntos humanos un poder inteligente o retorcido que era necesario y una amenaza para el orden social. En un glosario de un pasaje de la Física, Thomas señaló cómo la posición de Aristóteles implicaba que la materia, al menos en particular, no era sólo la privación de la forma, sino una realidad por derecho propio. Aunque con respecto al objeto que se ha de hacer, el asunto se podía hablar como sin forma, en realidad era algo que "busca la forma o la forma adicional de acuerdo con su propia naturaleza" (En libros VIII *physicorum* I, lec. 15, par. 8). Como Thomas argumentó en otra parte: "La ley y la forma se reciben en la materia de acuerdo con la capacidad del asunto" (*Summa theologiae* I, qu. 85, art. 7). En ausencia de la sensibilidad de un artesano a las capacidades particulares de este orden hacia la forma, *techne* o *ars* no lograría alcanzar su fin. Tal vez el papel limitado otorgado a los *logos* de *techne* explica la ausencia

del término griego " τεχνολογια ", tanto en Platón como en Aristóteles, excepto en un caso, el tratado de Aristóteles sobre el technon de la retórica, donde una forma de la palabra aparece cuatro veces (Retórica I, 1; 1354b17; 1354b27; 1355a19, y yo, 2; 1356a110). El significado exacto en cada ocurrencia es discutible. Pero en una interpretación la conexión es refleja cómo en el caso de la retórica, que trata de la cuestión no sustancial de las palabras, se hace posible conocer no sólo los fines formales de hacer, sino también los procesos por los cuales se lleva a cabo la realización relacionada. A partir de este imaginativo uso aristotélico es fácil desarrollar la definición de " τεχνολογια " como un tratado sobre (o terminología de) las artes del lenguaje, especialmente la gramática y la retórica, un uso que se puede encontrar entre los autores helenísticos y bizantinos. Sin embargo, la tecnología de transliteración latina era desconocida en la literatura latina clásica o medieval. (Cicerón usó el término una vez, pero sólo en griego.) Although Seibicke [1968] concluye que el término griego τεχνολογια had "no tiene influencia directa" en los discursos ~~estilos~~ durante la Edad Media o a los inicios de la era moderna, es difícil no sospechar alguna conexión entre el uso en el griego antiguo y la emergente en Inglés a finales del siglo XVII de la "tecnología" como un tratado sobre gramática. No hay, entonces, una historia continua de uso que vincule el griego clásico "τεχνολογια" con los significados actuales de la "tecnología". Sin embargo, el término reapareció en latín durante la Reforma con connotaciones cercanas a las de sus raíces clásicas, en la obra del retórico protestante francés del siglo XVI Peter Ramus. Ramus utilizó la tecnología para referirse no a los logoi de un technon (con palabras) sino a los logoi de las relaciones entre todos los técnicos. Infectado por una pasión por el método asociado con el humanismo renacentista, e inspirado por una llamada perenne para pasar de las palabras a las cosas, la tecnología ramista ordenó y organizó sistemáticamente las artes y las ciencias. Ramus también acuñó el término tecnometría (que no ocurre ni en griego ni en latín) como sinónimo de tecnología. Ambos términos fueron tomados por un número de teólogos protestantes en el siglo XVII y principios del XVIII, en particular por el puritano inglés William Ames. Aunque en principio la tecnología ramista se aplicaba a las artes (technai) en su conjunto, en la práctica se refería a las artes liberales, especialmente en lo que se refiere a la educación superior. Los estudiantes de Harvard y Yale, para ejemplo, produjeron una serie de tesis tecnológicas desde mediados del siglo XVII hasta el siglo XVIII.

Esta primera tecnología moderna tenía poco que ver con las artes mecánicas. Pero a principios del siglo XIX, la "tecnología" se había unido

fuertemente a las artes prácticas y a la industria moderna. Tal vez la primera atestación de este uso es proporcionada por la segunda o edición o la de 1661 de La glossografía de Thomas Blount, un diccionario de "Palabras duras", generalmente de origen extranjero, que se había vuelto común en "nuestra lengua refinada inglés". Aunque la primera edición de 1656 no tenía una entrada para "tecnología", la segunda edición identificó el término como griego y lo definió como "un tratamiento o descripción de Artesanía, Artes o Mano de obra". Del mismo modo, la edición de John Kersey del diccionario de Edward Phillips de 1706, *The New World of English Words*, definió "tecnología" como "una Descripción de las Artes, especialmente la Mecánica". Esta nueva definición también apareció en la obra del erudito alemán de la Ilustración Christian Wolff. El segundo volumen de su *Philosophia rationalis siva logica*, es decir, *Praemittitur discursus praeliminaris de philosophia in genere* (1728), definió la tecnología como *scientia atrium et operum artis* (ciencia de las artes y de las obras de arte) o *scientia eorum, quae organorum corporis, manuum potissimum, opera ab hominibus perficuntur* (ciencia de lo que los seres humanos producen por el trabajo de los órganos del cuerpo, principalmente las manos). Tanto a nivel lingüístico como filosófico, en Inglaterra y en Alemania, la "tecnología" empezaba a ganar un nuevo significado. Cuanto menos, la "tecnología" en cualquiera de sus formas siguió siendo un término raro en el siglo XVIII. Por ejemplo, el famoso diccionario inglés de Samuel Johnson de 1755 no lo incluyó, ni las ediciones posteriores del diccionario hasta bien entrado el siglo XIX. "Tecnología" ganó por primera vez moneda no en inglés, sino en alemán. *Anleitung zur Technologie* de Johann Beckmann [1777] fue el primer trabajo que desarrolló conscientemente el concepto de tecnología como una disciplina dedicada a la descripción sistemática de la artesanía y las artes industriales (véase también la en este volumen, "Coherencia diversidad en las ciencias de la ingeniería"). Beckmann fue una figura prominente en el cameraismo alemán, un conjunto de disciplinas académicas prácticamente orientadas relacionadas con la organización administrativa estatal. En el *Anleitung*, Beckmann convirtió a *Technologie* en un campo académico clave dentro del cameraismo, como un acercamiento a un área emergente de la educación superior alemana. En el discurso académico, el *Anleitung* incluyó tanto el trabajo artesanal como la producción industrial como aspectos de *Technologie*. Sin embargo, este concepto de cameraista se mantuvo distinto de la noción de tecnología de finales del siglo XX. El cameraismo se basaba en un enfoque natural-histórico del conocimiento y, como tal, se centró en clasificar en lugar de explicar. *Technologie* de Beckmann se dedicó firmemente a la tradición de la propuesta

de Bacon para una historia natural de los oficios, un proyecto también llevado a cabo en Denis Diderot y el proyecto contemporáneo de Jean D'Alembert de la Enciclopedia ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des arts et des sciences, et des métiers. Beckmann, sin embargo, trató de convertir a Technologie en un verdadero Wissenschaft creando un esquema clasificatorio equivalente al sistema Linneo para plantas y animales. En este esfuerzo finalmente fracasó, especialmente en desarrollar un sistema de clasificación que pudiera acomodar las nuevas máquinas y procesos que estaban transformando la industria británica, como la máquina de vapor o el hilado mecanizado, y así alterar la imaginación práctica [Lindenfeld, 1997]. En una evaluación perspicaz del enfoque de Beckmann sobre lo que el filósofo e historiador checo-francés Jan Sebestik llama "ciencia tecnológica", Sebestik [1983] traza cien años de la influencia europea de Beckmann y un renacimiento de mediados del siglo XX de especialmente el interés francés en esta concepción de la tecnología en, por ejemplo, el trabajo de Jean-Claude Beaune [1980]. (A este respecto, véanse también [Guillerme y Sebestik, 1966; Guillerme, 1985; Mertens, 2002].)

Una obra similar a Anleitung de Beckmann surgió casi medio siglo más tarde en los Estados Unidos con Elementos de Tecnología de Jacob Bigelow [1829]. Subtitulada sobre la aplicación de las ciencias a las artes útiles, esta fue la primera obra en inglés en utilizar "tecnología" en su título, y por lo tanto a menudo se atribuye erróneamente a la introducción del término en el uso estadounidense. Bigelow, un médico y profesor de Harvard, afirmó que había adoptado una palabra "encontrada en algunos de los diccionarios más antiguos", y que "bajo este título" incluía "una cuenta de los principios, procesos y nomenclaturas de las artes más visibles, particularmente aquellas que implican aplicaciones de la ciencia, y que pueden considerarse útiles." A diferencia de Beckmann, que convirtió a Technologie en un campo académico menor pero significativo en Alemania, la "tecnología" era poco más que un adorno pretencioso para Bigelow. Sólo invocó el término una vez en el prefacio de esta obra de 500 páginas, y dejó caer toda referencia a la "tecnología" en la edición de 1840, que fue re titulada simplemente Las Artes Útiles. Sin embargo, el libro de Bigelow era consistente con el espíritu clasificatorio de la cameraista Technologie, aunque en esencia los Elementos eran poco más que una compilación turbia extraída de fuentes publicadas. Más significativa para el uso estadounidense fue la decisión de 1861 en Boston de nombrar a su nueva escuela de ingeniería el Instituto Tecnológico de Massachusetts. La elección de la "tecnología" en lugar de "politécnica" fue extraña, y puede haber sido sugerida

por Bigelow [Stratton y Mannix, 2005]. Al igual que con los Elementos de Bigelow, la "tecnología" en el MIT llevaba poco peso teórico aparte de su uso como nombre, aunque el nombre ayudó a asociar la "tecnología" con la educación en ingeniería. Sin embargo, durante el resto del siglo XIX, la "tecnología" siguió siendo un término secundario de poca importancia filosófica. Su significado fue bien capturado por el American Century Dictionary de 1891: "Esa rama del conocimiento que se ocupa de las diversas artes industriales; la ciencia o el conocimiento sistemático de las artes y artesanías industriales, como el hilado, el metal o la elaboración de cerveza", una definición en esencia poco cambiada de la de Christian Wolff a principios del siglo XVIII. Algo así como el uso de Wolff-Bigelow continuó manifestándose a finales del siglo XIX en una serie de libros de texto para cursos de correspondencia que prometían a los estudiantes información "como se puede aplicar inmediatamente en la práctica" y en los que "el conocimiento de las matemáticas requeridas se limitan a los principios más simples de la aritmética y la medición" [Biblioteca Internacional de Tecnología, 1897, pp. iii-iv]. En retrospectiva, la falta de discurso de definición y reflexión crítica es sorprendente, dado el papel central de las artes industriales en las trascendentales transformaciones económicas, sociales y culturales durante la segunda mitad del siglo XIX. Cuando surgió ese discurso filosófico y crítico, no se centró en la "tecnología" ni en sus cognados, sino en el término alemán Technik. Esta revisión de las raíces etimológicas de la "tecnología" sugiere un desarrollo más continuo de lo que está plenamente justificado. En parte, la "tecnología" fue reinventada repetidamente por los eruditos que se basaron en la etimología en nuevos contextos. Esta construcción de significado continuó a medida que el término se extendía a las diversas comunidades de discurso en las que se debía seguir la filosofía de la tecnología. "Tecnología" no es una palabra o concepto que tenga algún significado puro o unívoco fuera de estos contextos, por lo que su etimología ha sido objeto de múltiples adaptaciones. Aunque hay muchas maneras de describir estos contextos, para los propósitos de la filosofía de la tecnología y las ciencias de la ingeniería, se pueden dividir en tres amplias comunidades académicas: ciencias naturales e ingeniería, humanidades (y humanistas discurso en general), y las ciencias sociales, todas las cuales surgieron como campos distintos del conocimiento en el siglo XIX. Por lo tanto, adoptar un enfoque pragmático y lingüístico combinado de la definición, es apropiado considerar con más detalle cómo se entienden el término, funciones y fenómenos conexos de maneras diferentes pero relacionadas en estas tres comunidades, empezando por ello

comunidad a la que la etimología apunta más inmediatamente, la ciencia y la ingeniería.

3 EN CIENCIA E INGENIERÍA

Un sofisticado discurso filosófico sobre tecnología surgió por primera vez entre los ingenieros alemanes a finales del siglo XIX. Sin embargo, en lugar del término de la lista del consejo, Tecnología adoptó el *Technik* más común, que sin embargo fue interpretado de nuevas maneras. Alemania se estaba industrializando rápidamente durante la segunda mitad del siglo XIX, en parte sobre la base de nuevas industrias en forma de ciencia, como las que producen tintes sintéticos y utilizan energía eléctrica. Aunque Tecnología nunca desapareció por completo, no fue abrazado por ingenieros e industriales alemanes, por varias razones. Entre los educadores de ingeniería, los nuevos enfoques centrados en la teoría para la educación en ingeniería eran incompatibles con el enfoque enciclopédico y taxonómico de Tecnología. Tampoco era el campo de Tecnología, destinado a la formación de administradores, de gran utilidad para los ingenieros en ejercicio. Finalmente, el cameralismo se convirtió en una doctrina desacreditada en la economía liberal aunque de finales del siglo XIX, al igual que Tecnología por asociación. En lugar de Tecnología, los ingenieros alemanes adoptaron *Technik*, y "la noción de *Technik* no puede considerarse el heredero de Tecnología" [Frison, 1998, p. 119]. *Technik* y Tecnología fueron el foco de discursos independientes y rara vez discutidos juntos o comparados. Al igual que Tecnología, *Technik* entró en alemán a través del latín moderno, principalmente a finales del siglo XVIII. En su sentido más amplio, *Technik* indicó las reglas y métodos prácticos utilizados para lograr un extremo determinado. Este uso es similar a la "técnica" inglesa, en el sentido de que se habla de la técnica de un pintor o músico. A mediados del siglo XIX, sin embargo, *Technik* también se había asociado firmemente con las artes industriales. Utilizado sin modificaciones, *Technik* abarcaba todas las artes de la producción de materiales, concebidas como un todo. Por lo tanto, los significados de *Technik* se dividen en dos líneas relacionadas, una más estrecha que se refiere a los aspectos materiales de la industria, y una más amplia que abarca las reglas, procedimientos y habilidades para lograr cualquier objetivo. En este contexto, las palabras alemanas se traducen adecuadamente como "ingeniería" y "ciencias de la ingeniería" (a veces "ciencias tecnológicas"). En la segunda mitad del siglo XIX, *Technik* se convirtió en el centro de la auto comprensión de la profesión de ingeniería alemana. Según su constitución de 1856, por ejemplo, el objetivo principal de la asociación pan-alemana de

ingeniería (Verein Deutscher Ingenieure VDI) fue el avance de Technik alemán más que la promoción de los intereses de los ingenieros. La organización definió la membresía casi por completo en términos de Technik o cosas technische abiertas a la práctica de Techniker (ingenieros), profesores de Technik o Ciencias Técnicas (Technikwissenschaften), junto con los propietarios y gerentes de establecimientos técnicos. Los ingenieros eran sólo parte de una comunidad profesional técnica más grande. Como Mitcham [1994] ha argumentado, fue a partir de las reflexiones de los ingenieros alemanes que surgieron inicialmente una filosofía sostenida de la tecnología, una filosofía centrada en el concepto de Technik. El primer trabajo en este espíritu no fue en realidad de un ingeniero, sino del hegeliano izquierdo Ernst Kapp, cuyas dos décadas de exilio en la frontera de Texas le dieron una considerable experiencia con herramientas y maquinaria. En su *Líneas básicas de una filosofía de tecnología (Grundliniener Philosophie der Technik)* [1877], el primer libro que se denomina explícitamente una filosofía de Technik o tecnología, Kapp conceptualizó Technik en términos de "proyección de órganos", es decir, como una extensión del cuerpo humano.

Más significativos que Kapp fueron los escritos filosóficos de un pequeño cuadro de Techniker de finales del siglo XIX. En la rápida industrialización que siguió a la unificación alemana, los ingenieros como parte de una comunidad técnica, buscaron el estatus dentro del mundo cultural alemán en el que el orgullo de lugar se asoció con "Educación", entendido más o menos como desarrollo educativo a través de los principios de la alta cultura. En busca del reconocimiento a través de una "Educación" claramente técnica, los ingenieros desarrollaron una filosofía de tecnología basada en la ingeniería. Las contribuciones a tal filosofía se habían hecho extensas a finales de siglo, cuando el ingeniero ruso de habla alemana Peter von Engelmeyer publicó una serie de 12 artículos en una revista de ingeniería alemana sobre el "Allgemeine Fragen der Technik" (o cuestiones tecnológicas generales). Engelmeyer discutió docenas de autores que abordaron cuestiones fundamentales relacionadas con Technik, incluidos otros ingenieros, como Max-Maria von Weber, Franz Releaux y Josef Popper-Lynkeus. Estos ingenieros-filósofos, incluido el propio Engelmeyer, se enfrentaron a las relaciones entre la ciencia y Technik, la cultura y Technik, y el progreso y Technik, así como el estatus social de Techniker y la naturaleza de Technik en sí, todos los temas que han permanecido centrales en la filosofía de la tecnología. Esta filosofía de ingeniería continuó hasta el siglo XX, con ingenieros haciendo hincapié en los aspectos creativos y espirituales de

Technik para defenderse de los ataques de los intelectuales de las humanidades. Parte de este trabajo contribuyó a lo que Jeffrey Herf [1984] ha llamado "modernismo reaccionario", un enfoque de la tecnología común entre los nacional socialistas alemanes. En inglés, la "tecnología" recibió poca atención dentro de las comunidades científicas y de ingeniería antes de la Segunda Guerra Mundial. Cuando el término surgió como un foco de discusión, combinó dos conjuntos de significados: su definición del siglo XIX como la ciencia de las artes industriales y las connotaciones tomadas del Technik alemán. En la década de 1960, la "tecnología" con estos significados fusionados apareció promiscuamente entre los científicos e ingenieros en referencia a los objetos (principalmente productos y dispositivos, menos a las estructuras), los procesos (desde las habilidades hasta los sistemas o las redes de producción, el transporte, y la comunicación), y el conocimiento (tanto de cómo hacer y usar) - con un sesgo hacia los productos y procesos. Cuando se presionaron por la especificidad, tanto los científicos como los ingenieros tendían a concebir la tecnología en términos esencialistas como ciencia aplicada. Esta concepción se derivó de la idea presente en Bigelow de la tecnología como la aplicación de la ciencia a las artes útiles. Pero el género y la especie para la ciencia aplicada pueden tomar dos formas diferentes: para los científicos, el género es más probable que sea ciencia, con aplicación como la especie diferencia; para los ingenieros el género es más comúnmente las artes industriales o mecánicas, con su búsqueda científica como diferencia. El primero toma los resultados de la ciencia y los transpone a formas que pueden ser útiles en el diseño y creación de estructuras, productos, procesos o sistemas; este último adopta y adapta los métodos de la ciencia para transponer la técnica práctica tradicional a formas más sistemáticas o científicas (véase : "Modelos de la Relación Ciencia-Tecnología").

En lo que se ha convertido en un clásico menor de la interpretación, el historiador Edwin Layton resumió el surgimiento de ambas formas de tecnología como ciencia aplicada en las comunidades de ciencia e ingeniería "espejo-imagen gemelos". Sin embargo, lo más notable es la segunda de estas transposiciones. Durante el siglo XIX, el conocimiento tecnológico fue arrancado de su matriz en tradiciones artesanales centenarias e injertado en la ciencia. La comunidad tecnológica, que en 1800 había sido un asunto artesanal pero poco cambiado desde la Edad Media, fue reconstruida como un gemelo espejo de la comunidad científica. El artesano fue reemplazado en la vanguardia del progreso tecnológico por una nueva raza de practicante científico. Para las tradiciones

orales pasadas de maestro a aprendiz, el nuevo tecnólogo sustituyó una educación universitaria, una organización profesional y una literatura técnica modelada en las de la ciencia. Se crearon equivalentes en tecnología para las ramas experimentales y teóricas de la ciencia. Como resultado, para principios del siglo XX, los problemas tecnológicos podrían tratarse como científicos; los métodos tradicionales y el empirismo de cortar y probar podrían complementarse con potentes herramientas prestadas de la ciencia. Este cambio fue más marcado en las ciencias físicas y la ingeniería civil, mecánica y eléctrica, cuyo resultado podría ser llamado "la revolución científica en la tecnología". [Layton, 1971, p. 562] Paradójicamente, la primera transposición —del contenido de la ciencia a la ingeniería— fue más difícil; pero como esto parecía la interpretación más lista, salió fácilmente una resistencia común a la definición de la tecnología como ciencia aplicada. El ejemplo de James Clerk Maxwell es ilustrativo. Aunque "Maxwell fue uno de esos científicos que conscientemente intentaron contribuir a la tecnología", fue necesario que el "ingeniero Oliver Heaviside tradujera las ecuaciones electromagnéticas [de Maxwell] en una forma utilizable por los ingenieros" [Layton, 1971, p. 577]. Las leyes científicas de la naturaleza no funcionan inmediatamente como principios de diseño de ingeniería. Implícitamente presentes en la exposición de Layton son, por lo tanto, dos conceptualizaciones diferentes de la tecnología: la tecnología como artesanía o técnica que puede ser transformada por la ciencia, y la tecnología como resultado de tal transformación. En este último caso, la tecnología está estrechamente identificada con la ingeniería, por lo que es apropiado considerar también los significados de este término comúnmente asociado.

Al igual que los ingenieros alemanes a finales del siglo XIX, los ingenieros posteriores han identificado comúnmente su profesión en cierto sentido con la tecnología, pero de maneras influenciadas por la historia de la ingeniería. El término "ingeniería" está arraigado en el latín clásico *ingenera* (para implantar, generar o producir). Sin embargo, como nombre de una especie de fabricante, "ingeniero" y sus cognados, se originaron a finales de la Edad Media para designar constructores y operadores de arietes, catapultas y otros "motores de guerra". Este enfoque militar se mantuvo como principal, ya en el Diccionario Americano del Idioma Inglés de Noah Webster (1828), que definió al ingeniero como "una persona experta en matemáticas y mecánica, que forma planes de trabajo para la ofensiva o la defensa, y marca el terreno para las fortificaciones. Desde los tiempos clásicos, la planificación o el diseño en el ámbito civil, para la paz en lugar de para la guerra, fue obra del arquitecto, como

lo ilustra el De architectural de Vitruvio (siglo I d.C.), que se ocupaba de la planificación urbana, las opciones en materiales de construcción, principios estéticos, estrategias generales de construcción, hidráulica, geometría, mecánica, etc. En el siglo XVIII, cuando la Revolución Industrial comenzó un ejército como la explotación de la naturaleza, fue el inglés John Smeaton quien acuñó lo que habría sido razonable tomar para un oxímoron, el término "ingeniero civil". (En inglés, la ingeniería civil se ha restringido al diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, puentes, sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento, ferrocarriles, y demás, aunque en algunos contextos europeos continentales la ingeniería civil sigue cubriendo toda la ingeniería no militar.) Es importante destacar que la definición clásica de ingeniería como empresa civil, formulada por Thomas Tredgold para la carta real de la Institución Británica de Ingenieros Civiles (1828), utilizó la forma estándar de especies de género para distinguir la ingeniería, no dentro del género de la ciencia pero si del arte: "La ingeniería es el arte de dirigir las grandes fuentes de energía en la naturaleza para el uso y la conveniencia del hombre." Curiosamente, casi cien años más tarde un profesor de ingeniería en un colegio técnico británico abrió un libro de texto con una definición de tecnología que simplemente cambió el género: la tecnología es "esa rama del conocimiento que se ocupa de los procesos y aparatos empleados en la conversión de los productos crudos de la naturaleza en artículos terminados de utilidad" [Charnock, 1916, p. 1]. En inglés estas definiciones de ingeniería (y a veces también de tecnología) han encontrado ecos repetidos sin y dentro de la comunidad técnica. El Tercer Diccionario Internacional Nuevo de Webster (2002), por ejemplo, define la ingeniería como "la aplicación de la ciencia y las matemáticas por la cual las propiedades de la materia y las fuentes de energía en la naturaleza se hacen útiles para las personas". El Diccionario McGraw-Hill de Términos Científicos y Técnicos (10th ed., 2007) describe la ingeniería como "el arte de dirigir las grandes fuentes de energía en la naturaleza para el uso y la conveniencia de los seres humanos". Complementando esta definición general, muchos ingenieros afirman que el diseño para la eficiencia es la esencia de la ingeniería. Ralph J. Smith, un influyente educador de ingeniería, ha argumentado que "la concepción y el diseño de una estructura, dispositivo o sistema para cumplir con condiciones específicas de una manera óptima es la ingeniería". Además, "es el deseo de eficiencia y economía lo que diferencia la ingeniería cerámica del trabajo del alfarero, la ingeniería textil del tejido y la ingeniería agrícola de la agricultura". "En un sentido amplio", concluyó Smith, "la esencia de la ingeniería es el diseño, la planificación en la mente, de un dispositivo o proceso o sistema que resolverá

eficazmente un problema o satisfará una necesidad" [Smith et al., 1983, págs. 10-12]. Las complejidades de uso se manifiestan sin embargo por las formas en que "ingeniero" puede referirse, en un sentido más restringido, a quien opera motores, como en la expresión "ingeniero ferroviario". Pero el ingeniero operativo es tal en virtud del uso de habilidades en lugar de cualquier cuerpo sistemático de conocimiento. La ingeniería ferroviaria en la medida en que implica más que la habilidad de utilizar motores, no se expresa en el funcionamiento de locomotoras, sino en el diseño de sistemas ferroviarios. La ingeniería se identifica así como una profesión que posee el conocimiento sistemático de cómo diseñar estructuras, productos o procesos, una profesión que (como ilustra el plan de estudios de ingeniería estándar) incluye algunas ciencias puras y matemáticas, las "aplicadas" o "ciencias de ingeniería" (por ejemplo, la fuerza de los materiales, la termodinámica, la electrónica), y tiene como objetivo cumplir con algunas utilidades sociales. La existencia de ciencias de ingeniería o tecnológicas presenta otro desafío de definición estrechamente relacionado con el de la tecnología. Para empezar, las ciencias de la ingeniería/tecnológicas (generalmente en plural) deben distinguirse de la ciencia tecnológica (en singular). La ciencia tecnológica existe externa a la ingeniería y funciona como sinónimo de Technologie (tecnología) en lugar de Technikwissenschaften (Ciencias Técnicas). Por el contrario, la "ciencia de la ingeniería" o Technikwissenschaft (que se puede utilizar legítimamente en singular) está constituida por una actividad de producción de conocimiento interna a la ingeniería. Dos esfuerzos útiles para hacer frente al desafío de definir esta actividad y sus productos cognitivos, que incluyen como referencia a otras discusiones significativas sobre el tema, se pueden encontrar en el trabajo de Gánter Ropohl y Sven Ove Hansson. Basándose en análisis anteriores [especialmente el examen ilustrado a gran escala de König, 1995], Ropohl [1979] aboga por distinguir las ciencias de la ingeniería de las ciencias naturales en términos de objetivos, objetos, metodología, características de resultados y criterios de calidad. (Las contribuciones complementarias a este discurso sobre la distinción de Technik y Technik wissen schaften (Conocimiento sin tecnología) en la comunidad académica alemana se pueden encontrar en [Lenk y Moser, 1973] y [Friedrich, 1999].) Hansson [2007], a su vez, aboga por entender las ciencias de la ingeniería como esfuerzos para llevar la ingeniería al mundo académico mediante la adaptación de los métodos de la ciencia orientados no a explicar los hechos de la naturaleza, sino artefactos. Sin embargo, en lugar de formular una definición en términos de género y especie (como una aplicación específica de la ciencia), Hansson aboga por identificar las ciencias de ingeniería

o tecnológicas en términos de un conjunto de seis características principales: un enfoque en la práctica de diseño, el uso de análisis funcionales, la evaluación con juicios de valor especificados por categorías, la utilización de idealizaciones restringidas y el control de soluciones matemáticas precisas en favor de aproximaciones cercanas. Como Hansson también señala curiosamente, hay paralelismos entre el desarrollo de la ingeniería y las ciencias médicas. Ambos surgieron de los esfuerzos específicos del contexto para transponer los métodos de las ciencias naturales a un ámbito de la práctica profesional técnica. El esfuerzo más cuidadoso para definir la ingeniería como una profesión en lugar de como un arte o conocimiento es el del filósofo Michael Davis. Como señala con razón, "Definir un campo es más que semántica" [Davis, 1998, p. 31]. Según Davis, la semántica es subordinada a la organización social, y la ingeniería se define en relación con los ingenieros: la ingeniería es lo que distingue a ese grupo profesional auto autónomo llamado ingenieros. A pesar de las reservas, en última instancia, favorece una versión modificada de la definición de la Junta Canadiense de Cualificaciones de Ingeniería: "La 'práctica de la ingeniería profesional' significa cualquier acto de planificación, diseño, composición, evaluación, asesoramiento, , dirigir o supervisar, o gestionar cualquiera de lo anterior que requiera la aplicación de los principios de ingeniería, y que se refiere a la salvaguardia de la vida, la salud, la propiedad, los intereses económicos, el bienestar público o el medio ambiente" [citado en Davis, 1998, pp. 203- 204, nota 6]. El propio Davis evita el error de incluir el definitum en la definición con la siguiente reformulación: Ser ingeniero profesional requiere ser aceptado en una comunidad profesional auto organizada sobre la base de "(1) conocimiento específico y (2) compromiso de utilizar ese conocimiento de ciertas maneras" [Davis, 1998, pág. 37]. Este enfoque reduce la centralidad del diseño en favor de la participación profesional de la comunidad. Para muchos ingenieros profesionales, la ingeniería y la tecnología son cotérminos véase, por ejemplo, Petroski, 1996]. Pero a partir de la década de 1960, una nueva categoría subordinada de "tecnología de ingeniería" surgió dentro de la ingeniería estadounidense para describir las habilidades e instrumentos de aquellos que funcionan como personal de apoyo o siguen las instrucciones de los ingenieros. Esta categoría surgió como resultado de los nuevos programas educativos establecidos para producir trabajadores técnicos que operan a un nivel intermedio entre trabajadores calificados e ingenieros. Normalmente se enseñan a nivel universitario comunitario, los programas de tecnología de ingeniería enfatizan los aspectos prácticos de la ingeniería y requieren cursos menos avanzados en matemáticas y ciencias básicas. Muchos libros de texto de

ingeniería introductoria (por ejemplo, [Kemper, 2001; Wright, 2002]) ahora describen un espectro de actividades que van desde las del ingeniero (más basada en el conocimiento) a través de tecnólogo y técnico artesano o artesano (más basado en la habilidad de la mano). Cualquier filosofía de tecnología que surja dentro de las comunidades de ingeniería y científicas tendrá que ser sensible a las tensiones entre estos diferentes usos lingüísticos.

4 EN LAS HUMANIDADES

En marcado contraste con el discurso de la ciencia y la ingeniería se encuentra el discurso de las humanidades. Interpretadas de manera estrecha, las "humanidades" —Geistes (Espíritu) alemán wissenschaften (Ciencias) o Kulturwissenschaften (Cultural), como distintas de Las "humanidades" y Technikwissenschaften— promulgan una categorización del conocimiento que surgió en la educación superior a finales del siglo XIX y principios de Siglo XX. La categoría de humanidades consiste en un conjunto heterogéneo de disciplinas que permanecieron después de que las ciencias naturales recién profesionalizadas reclamaran sus propias esferas de conocimiento e inicialmente incluían las ciencias sociales (Sozialwissenschaften (Ciencias sociales) o Gesellschafts en Alemania wissenschaften (Ciencias)), que posteriormente fueron separados en parte por su propia trayectoria de profesionalización. Para la Dotación Nacional para las Humanidades de los Estados Unidos, por ejemplo, las humanidades incluyen el estudio del lenguaje, la lengua, la literatura, la historia, la jurisprudencia, la filosofía, la arqueología, la religión comparada, la ética, la historia y la crítica de las artes, y ciencias sociales no cuantitativas. Pero para los propósitos actuales, el discurso de las humanidades se toma parte de una tradición continua de reflexión crítica sobre lo que significa ser humano, una tradición mucho más antigua que el siglo XIX y manifestarse prominentemente en la filosofía, la literatura, la religión, las bellas artes, y campos similares. La reflexión filosófica sobre la realización y el uso de actividades tiene profundas raíces en la tradición intelectual europea, pero no existe un enfoque típico de las humanidades en la tecnología. Ciertamente, el discurso de la mayoría de las humanidades es producido por intelectuales que experimentan la tecnología principalmente desde el exterior. Hasta hace poco, gran parte de este discurso mostraba una ignorancia significativa, si no hostilidad hacia las artes industriales. El pragmático estadounidense John Dewey, a menudo criticaba esta actitud de "profunda desconfianza hacia las artes" y "desprecio que asistía a la idea del material", que se expresaba filosóficamente en "la aguda división entre la teoría y la práctica" [Dewey, 1929,

pp. 2-3]. Al mismo tiempo existe una tradición humanista alternativa que ha afirmado la dignidad de las artes mecánicas, desde Hugh de San Víctor hasta F. Bacon hasta Karl Marx. Teóricos de las bellas artes como el crítico británico John Ruskin condenaron la tecnología moderna, mientras que otros como el futurista italiano Filippo Marinetti adoptaron la "era de la máquina". Algunos intelectuales conservadores alemanes de principios del siglo XX atacaron la falta de alma y el materialismo de la tecnología moderna, mientras que otros romantizaron la creatividad tecnológica, a veces utilizando el término "eros tecnológicos", o vincularon una explosión de productividad y poder con ideologías capitalistas, nacional socialistas y comunistas. En contextos de principios del siglo XXI, tanto los democráticos como no democráticos, sigue habiendo una división entre los intelectuales públicos humanistas que adoptan posturas críticas frente a las promoción; sólo hay que tener en cuenta las opiniones contradictorias con respecto a las tecnologías post- o trans humanistas entre, por ejemplo, el estadounidense Leon Kass y el sueco Nick Bostrom.

A pesar de algunas diferencias de opinión, tal vez la tensión más persistente en la tradición filosófica europea ha sido un tema recurrente de desconfianza crítica en las artes y la tecnología prácticas. Junto con muchos otros, Cuomo [2007] ha rastreado esta inquietud a una crítica de tecno en la filosofía griega clásica. Reflejando una interpretación común, argumenta que en las humanidades clásicas se vio que la tecnología, siendo enseñable, suponía una amenaza para un orden social basado en el nacimiento, porque los técnicos podían utilizar las habilidades adquiridas para la movilidad social. Señala, por ejemplo, la preocupación de Platón en la República por mantener a los técnicos en su lugar, subordinados a los guardianes, promulgando la "noble mentira" de que la posición de uno en la sociedad está determinada por una constitución metálica innata: oro para los guardianes, plata para soldados y bronce para agricultores y artesanos. Del mismo modo, Platón subrayó la neutralidad moral o la ambigüedad de la tecnología, que por lo tanto depende de los extremos externos para su valor moral. Aristóteles dibujó una distinción similar entre poiesis y praxis, la primera interpretada como producción debidamente subordinada a la segunda entendida como acción moral (Ética a Nicómaco VI, 4; 1140a2). En efecto, sugiere Cuomo, tales afirmaciones sobre la tecnología justificaban el rechazo de la idea de que los técnicos podían o debían ejercer "control de sus propias actividades" [Cuomo, 2007, p. 30] y se convirtieron en la

fuente de larga tradición de preocupación ética y política que conciernen a las Técnicas.

Sin embargo, En el siglo XX, esta tradición se le dio nueva vida en respuesta al surgimiento de un esfuerzo por la racionalización de la técnica y otras formas de práctica en la fabricación industrial, la economía de consumo, la psicología del comportamiento, la gestión empresarial y política totalitaria. En cada caso, la afirmación es que las formas de manipulación y control, que una vez habían dependido de la experiencia y la perspicacia personales, podían ser sustituidas y reforzadas por su desarrollo más consciente y sistemático. Este esfuerzo fue criticado por Jacques Ellul [1954], por ejemplo, como un esfuerzo para convertir a todos en técnicos, que al mismo tiempo no reconocieron hasta qué punto la técnica es intrínsecamente incapaz de dominar plenamente sus propias consecuencias. Para Ellul, siempre hay consecuencias involuntarias para la acción humana, incluso y tal vez especialmente cuando la acción se agranda en el poder y el alcance a través de la tecnología. Explorando esta tradición de crítica de humanidades claramente modernas, Joseph Dunne pone el análisis de Aristóteles de tecno y farronesis en diálogo con John Henry Newman, R. G. Collingwood, Hannah Arendt, Hans-Georg Gadamer, y Jorgen Habermas, todos los cuales han tratado de repensar la naturaleza de la actividad práctica frente a las presiones hacia la tecnificación. Estimulado especialmente por los esfuerzos para transformar la pedagogía en una técnica eficiente, el estudio de Dunne cuestionó "la alcanzabilidad del dominio técnico" en muchas áreas de la vida al argumentar ese "conocimiento práctico. [es] un fruto que sólo puede crecer en el suelo de la experiencia y el carácter de una persona" [Dunne, 1993, p. 358].

A pesar de esta tradición de preocupación por lo que ahora se llama tecnología, dentro del discurso de humanidades hay una curiosa paradoja con respecto al término inglés. En Dunne, por ejemplo, ni siquiera se produce en el índice. De hecho, desde principios del siglo XIX hacia adelante, la poesía y la ficción —y especialmente la poesía y la ficción modernistas— se ocuparon cada vez más de las formas modernas de la técnica, sin embargo, había pocos poemas, cuentos, obras de teatro o novelas significativas en las que la "tecnología" apareció en título o texto. Se pueden encontrar términos estrechamente relacionados como "máquina", "industrialización", "invención" y "ciencia aplicada", junto con tecnologías particulares (como trenes y puentes) en títulos y muchos textos. Todo el género de la ciencia ficción podría ser etiquetado con mayor precisión "ficción tecnológica". Incluso más allá de ese género mal etiquetado, la literatura imaginativa que se ocupa de la tecnología ha favorecido

términos como "ciencia" o "máquina"; pensar en Frankenstein de Mary Shelley (1818), Erewhon de Samuel Butler (1871), A Connecticut Yankee de Mark Twain en King Arthur's Court (1889), Henry Adams' The Education of Henry Adams (1901), Aldous Huxley's Brave New World (1932) y Kurt Vonnegut's Player Piano (1952). En cada caso, aunque el foco de interés eran las relaciones problemáticas entre los artefactos técnicos avanzados y los asuntos humanos, el término "tecnología" es visible por su ausencia. Por un lado, la ausencia del término incluso en la ficción de la década de 1950 apoya la idea de que la "tecnología" sólo se convirtió en una palabra clave relativamente reciente. Por otro lado, como término que abarca los fenómenos generales, la "tecnología" aparentemente carecía de la especificidad requerida por la literatura, incluso cuando esa literatura trataba algún aspecto de la fabricación y el uso industrializados. Lo suficientemente apropiado, entonces, la palabra "tecnología" hizo su aparición sostenida inicial en las humanidades en la década de 1960 a través de obras de crítica literaria - crítica que llamó la atención a una segunda característica curiosa y tal vez irónica: La literatura, especialmente literatura modernista, manifestó una actitud paradójica hacia la tecnología. Si bien es más probable que esa literatura no critique la cultura tecnológica, a menudo también integró implícitamente la tecnología en la cultura. Thomas Reed West's *Flesh of Steel: Literature and the Machine in American Culture*, por ejemplo, documentó "una actitud dominante hacia la máquina y sus disciplinas como una de repudio" [West, 1967, p. 133]. La *Literatura y Tecnología* de Wylie Sypher: *The Alien Vision* [1968], en cambio, demostró una obsesión modernista con una estética tecnológica, y los *Cambios de Engranajes: Tecnología, Literatura, Cultura en América Modernista* de Cecelia Tichi exploraron de manera similar hasta qué punto "la cultura de la tecnología de engranajes y vigas fue un esfuerzo colaborativo del ingeniero, el arquitecto, el escritor de ficción y el poeta" [Tichi, 1987, p. 16]. Otros dos clásicos de la crítica literaria exploraron más a fondo temas relacionados: *The Machine in the Garden: Technology and the Pastoral Ideal in America* de Leo Marx y *Victorianos y la Máquina: La Respuesta Literaria a la Tecnología* de Herbert Sussman [1968]. Observe cómo incluso en Marx y Sussman el término principal era "máquina", la "tecnología" secundaria. Sólo en décadas posteriores los estudios de humanidades incrementan cada vez más el término "tecnología" mientras que ocasionalmente movieron la tecnología en particular al subtítulo, como en, por ejemplo, *Las viejas tecnologías* de Carolyn Marvin eran nuevas: pensando en la electricidad Comunicación a finales del siglo XIX [1988], *Modernismo, tecnología y el cuerpo: Un estudio cultural* de Tim Armstrong, 1998, o *Literatura, tecnología y pensamiento mágico* de Pamela

Thurschwell, 1880-1920 [2001]. (Véase también [Greenberg y Schachterle, 1992].) En su novela de la Primera Guerra Mundial, *One of Ours* (1922), Willa Cather describió la reacción de los lectores de periódicos en el centro de los Estados Unidos a los informes de la caída de los fuertes de Lieja, que fueron reducidos en pocas horas por armas de asedio, que evidentemente podrían destruir cualquier fortificaciones que alguna vez había sido, o alguna vez podría ser construido.

Incluso para estas personas tranquilas que cultivaban trigo, las armas de asedio antes de Lieja eran una amenaza; no a su seguridad o a sus bienes, sino a su forma cómoda y establecida de pensar. Introdujeron la fuerza mayor que el hombre, que después repetidamente trajo a esta guerra el efecto de un desastre natural imprevisible, como las mareas, los terremotos o la erupción de volcanes. Un "poder de destrucción sin precedentes se había desatado en el mundo" para el cual "ninguna de las palabras descriptivas, bien gastadas del comportamiento humano parecía adecuada" (Cather, *One of Ours*, Book II, capítulo 9, párrafos 2 y 3). La "tecnología" de emergencia para llenar el vacío terminológico señalado por Cather se puede documentar en dos manifestaciones de los estudios sintéticos de humanidades: bibliotecas y enciclopedias. Con respecto a las bibliotecas, observe cómo en 1876, el sistema de clasificación decimal de Melvil Dewey, que agrupa el número de las "Artes útiles" de los años 1600 (que incluía medicina, ingeniería, agricultura, economía doméstica, artillería, etc.) se emparejó entre los años 1500 "Ciencias Naturales y Matemáticas" y los años 1700 "Las Artes". Originalmente "tecnología" sólo se producía en el compuesto "tecnología química", como una de varias artes útiles junto con la pirotecnia, "vinos, licores y cerveza", y metalurgia. En otras palabras, la "tecnología" no era una categoría conceptual central en el inglés del siglo XIX [Dewey, 1876, págs. 18-20]. "Artes útiles" siguió siendo una de las nueve categorías fundamentales en el sistema Dewey hasta después de la Segunda Guerra Mundial, cuando fue reemplazado primero por "Ciencia Aplicada" y luego en 1958 por "Tecnología". El mismo año fue testigo del cambio de nombre del índice de artes industriales de literatura técnica de la Compañía H. W. Wilson (creado en 1913) al índice de ciencia y tecnología aplicada. En contraste, el sistema original de clasificación de la Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos, que comenzó a ser conceptualizado en 1897 y era, al igual que otros marcos de referencia, bastante conservador en sus principios, ya había hecho de 1904 "tecnología" uno de sus 20 Categorías. Pero esto no era cierto desde el principio. En lugar de "tecnología", un borrador de 1901 agrupado "Artes útiles, agricultura, y

manufacturas" en una categoría [Miksa, 1984, p. 24]. Con el desarrollo del sistema LC, la "tecnología" no sólo se estabilizó como una categoría primaria que incluía todas las formas de ingeniería, ciencias de la ingeniería, manufacturas, artesanías y economía doméstica, sino que también se distribuyó en otras categorías, desde la filosofía hasta las ciencias sociales y las bellas artes. Aunque estos títulos de los temas aparecieron como adiciones a la estructura original, es sin embargo, significativo que la "tecnología" se haya incorporado a lo largo de tantas combinaciones clasificatorias.

Con respecto a las enciclopedias, considere como un caso representativo la Enciclopedia Británica: Un Diccionario de Artes, Ciencias, Literatura e Información General, la primera edición de la cual fue publicada en 1771 en tres volúmenes en pálida imitación de la gran Enciclopedia Francesa (1751-1772). En ninguna de las primeras diez ediciones aparece la palabra "tecnología". Debido a que el término era efectivamente existente en inglés, el hecho de que los editores no lo incluyeran, demuestra su juicio de su relativa falta de importancia. "Tecnología" finalmente apareció en la clásica 11a edición (1910-1911), pero sólo dos veces en papeles subsidiarios. Sólo en la 15a edición reconfigurada (1974 y ss.) la "tecnología" se convierte en un tema importante, un proceso que se lleva a cabo junto con una apreciación generalmente intensificada de su presencia [véase Oldenziel, 1999]. Cuando la "tecnología" llegó a la etapa enciclopédica, lo hizo en gran parte, y sin duda bajo la influencia de los desarrollos en otros campos de las humanidades. Bajo la tutela del filósofo neo aristotélico Mortimer Adler, la 15a edición incluyó lo que se denotó a Propaedia, que clasificó el conocimiento en diez áreas temáticas: (1) materia y energía, es decir, las ciencias físicas, y (2) la tierra, pasando por (3) las ciencias de los seres vivos, luego (4) la vida humana y, finalmente (5) la sociedad humana, (6) el arte, (7) la tecnología, (8) la religión, (9) la historia y (10) el conocimiento en sí, incluida la ciencia y la filosofía. Aunque su proximidad al arte es reveladora, la tecnología era fácilmente la más anómala de estas categorías principales; fue, por ejemplo, el único que no apareció en absoluto en la primera edición de la Britannica. (También fue la única categoría no estrechamente vinculada a una de las 101 grandes ideas de Adler, como se encuestado en *The Great Ideas: Un sinóptico sobre los grandes libros del mundo occidental de 1952.*) Como parte siete, la tecnología se abordó desde tres perspectivas principales: su desarrollo histórico e impacto social (particularmente en el trabajo), sus divisiones internas (conversión de energía, herramientas, medición y control, extracción de materias primas, producción), y sus principales campos

de aplicación (agricultura, producción industrial, construcción, transporte, procesamiento de información, el ejército, la ciudad, la tierra y la exploración espacial). En una especie de eco, "Las Ciencias Tecnológicas" fueron consideradas de nuevo en la parte diez como una séptima y última subdivisión, con un análisis de cuatro partes en términos de historia, ramas profesionales (civil, aeronáutica, química, eléctrica, mecánica, etc., ingeniería), ciencias agrícolas y las ciencias tecnológicas interdisciplinarias (biónica, ingeniería de sistemas, cibernética).

Una de las áreas de actividad estrechamente relacionadas en las humanidades que seguramente influyeron en este esquema enciclopédico había estado teniendo lugar en conjunto con una serie de exposiciones internacionales o ferias mundiales que comenzaron en 1851 con el Palacio de Cristal en Hyde Park, Londres, bajo el título "Gran Exposición de las Obras de la Industria de todas las Naciones". (La Feria Mundial de Chicago 1933-1934 tenía el famoso lema, " Ciencia encuentra, la industria se aplica, el hombre se ajusta " — implícitamente concebible de la industria como ciencia aplicada.) Fue en conjunto con la 15a exposición, celebrada en 1900 en París (en respuesta a la cual La Educación de Henry Adams incluyó un capítulo sobre "El dinamo y la Virgen"), que una propuesta desarrollada para crear un inventario intelectual paralelo exhibiendo los tipos de conocimiento. Este Congreso de las Artes y las Ciencias tuvo lugar en asociación con la exposición de St. Louis de 1904 y dio lugar a una evaluación de ocho volúmenes del estado del conocimiento en siete áreas amplias [Rogers, 1905-1906]: ciencias normativas, ciencias históricas, ciencias físicas, ciencias mentales, ciencias utilitarias, ciencias reguladoras y ciencias culturales. La quinta de estas áreas, las ciencias utilitarias, estaba compuesta por tres divisiones: ciencias médicas, económicas y tecnológicas. Las ciencias tecnológicas a su vez incluían disciplinas como ingeniería civil, ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica y más. (Cabe destacar que en el volumen uno, que proporcionaba una visión general conceptual, estas disciplinas se denominaban tecnología mecánica, tecnología eléctrica, etc., mientras que cuando se revisaban en longitud en el volumen seis se denominaban ramas de ingeniería.)

Por lo tanto, durante el mismo período de la novela de Cather, surgió un nuevo término más amplio que las máquinas para referirse a un "poder sin precedentes" —creativo y destructivo— que "se había desatado en el mundo" y para el cual "ninguna de las palabras bien gastadas, parecía adecuado. L. Marx [1997] también ha analizado la necesidad en las humanidades de un nuevo

término, menos particular que las máquinas, pero que lo incluyen. Para Marx la necesidad era doble: ideológica y sustantiva. Ideológicamente, nuevas ideas sobre el progreso, en el siglo XIX tan estrechamente asociadas con el descubrimiento y la invención, requerían cada vez más un objetivo correlativo más expansivo y abstracto. Sustancialmente, el surgimiento de sistemas o redes de máquinas también exigía términos más abstractos y generales que "máquinas" o "industria" para hacer referencia a fenómenos tales como vínculos de canales, ferrocarriles, telégrafos, radio y más, que eran ellos mismos interconectarse. La idea de herramientas o máquinas o, para el caso, cualquier otro artefacto material no comenzó a transmitir el carácter complejo, casi científico, corporativo de las nuevas formaciones socio-técnicas que surgieron en ese momento. El hecho curioso es que el triunfo discursivo del concepto de tecnología es en gran medida atribuible a su carácter vago, intangible e indeterminado, el hecho de que no se refiere a nada tan específico o tangible como una herramienta o máquina. [Marx, 1997, p. 981] En las humanidades, entonces, durante la última mitad del siglo XX, la "tecnología" comenzó a hacer referencia cada vez más al complejo de industrias, productos industriales e infraestructuras técnicas que estaban enredados con, pero también distintos de la ciencia moderna. Los estudiosos de Humanidades lucharon por identificar el lenguaje apropiado para hacer y usar estas nuevas formas de hacer y usar, que transformaron cada vez más no sólo la agricultura, la industria, el transporte y la comunicación, sino también elementos de la cultura superior. Mirando hacia atrás, estudiosos como Lewis Mumford abogaron por una mayor exploración de las interacciones entre Technics y Civilization [1934], señalando cómo el reloj mecánico transformó las experiencias del tiempo y la alfabetización de la imprenta. De cara al futuro, estudiosos como Walter Benjamin (en un ensayo escrito en 1935-1936 pero no publicado hasta después de su muerte) analizaron la interacción de la tecnología y la cultura en "Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit" [1961]. El título original en inglés de este influyente ensayo fue "La obra de arte en la era de la reproducción mecánica", haciendo que la *technischen* alemana fuera "mecánica" en lugar de la más literal "técnica". Si las preocupaciones de Benjamin hubieran sido articuladas durante el último tercio del siglo XX, habrían considerado un gran cambio de reproducción digital y manipulación de imágenes que excedía cualquier cosa meramente técnica o mecánica, de modo que el adjetivo inglés fundamental habría sido "tecnológico". Del mismo modo, en el último cuarto de siglo, en ficciones tan diferentes como *Gravity's Rainbow* (1973) de Thomas Pynchon y *Zen and the Art of Motorcycle Maintenance: An Inquiry into Values* (1974),

"tecnología" se había convertido en un término de referencia — y parecía incluir no sólo las actividades de fabricación industrial y sus ampliaciones sociales o institucionales, sino los conocimientos relacionados con tales actividades, los productos tanto físicos como organizativos, y el uso de tales productos, así como las diversas intenciones y motivaciones vinculadas con ellos. La tecnología se había convertido en una forma de vida, una forma de conciencia, una actitud hacia el mundo, aunque el Ruido Blanco de Don DeLillo (1985) continuó evitando el término en favor de una plétora de correlativos objetivos más precisos, como los eventos tóxicos, televisión, el tráfico y las drogas. Sin embargo, al final de su vida, Dewey reconoció el surgimiento de este nuevo término sugiriendo una preferencia por la "tecnología" sobre el "instrumentalismo" por su análisis de la experiencia humana: "Es probable que podría haber evitado una cantidad considerable de Malentendido si hubiera utilizado sistemáticamente la "tecnología" en lugar del "instrumentalismo" en relación con la opinión que expongo con respecto a la calidad distintiva de la ciencia como conocimiento" [Dewey, 1944, p. 285n].

La conexión de Dewey de la "tecnología" con el "instrumentalismo" sugiere un vínculo entre el concepto de "técnica" en las lenguas europeas continentales y la "tecnología" inglesa. Al parecer, varios estudiosos de las humanidades han tratado de preservar el énfasis continental adoptando el término "técnicas". A lo largo de una vida larga y productiva, Mumford, un crítico literario y social, siempre prefirió el término "técnica" a "tecnología". (Para una defensa extendida del uso de Mumford, véase Fores [1981].). En algunos trabajos tempranos también lo hicieron el teórico político Langdon Winner y el filósofo Don Ihde. Winner fusionó los dos términos en Tecnología Autónoma: Técnicas fuera de control como tema en el pensamiento político [1977]. Ihde mantuvo una sutil distinción en *Technics and Praxis: A Philosophy of Technology* (1979), donde se identificó "técnica" con el uso instrumental, pero luego se desplazó en *Mundo de la vida y la tecnología: del jardín a la Tierra* (1990) a "technology" como "tecnología" inclusiva. Término, en cierta medida, entonces, el uso inglés de técnicas en lugar de tecnología parece ser una distinción sin diferencia. Sin embargo, es razonable postular "técnicas" como menos costosas que la "tecnología", que normalmente se percibe en las humanidades como una forma distintiva de ser en el mundo, una forma de conciencia, y por lo tanto, como creencias religiosas o democracia — un fenómeno que merece una evaluación crítica expresiva y un análisis reflexivo cuidadoso. La filosofía de la tecnología, surgida en el contexto de esta comunidad

de las humanidades del discurso, asumió inicialmente un tono decididamente moral, a menudo censurado o negativo, a veces celebrado y afirmativo, siempre analizando y distinguiendo.

5.- EN LAS CIENCIAS SOCIALES

Como un área distintiva del conocimiento, las ciencias sociales surgieron durante el siglo XIX, basadas en una fe de la Ilustración en la aplicabilidad de la razón a los asuntos humanos, pero refractadas a través de las lentes de las Revoluciones Industrial y Francesa. Sin embargo, sólo a principios del siglo XX, las ciencias sociales se institucionalizaron de forma segura como un conjunto estable de disciplinas. Sus complejidades y orígenes controvertidos se desarrollaban en constelaciones cambiantes de economía, sociología, antropología y ciencia política, así como en debates sobre la naturaleza de la investigación en ciencias sociales, la construcción de teorías, las relaciones con las ciencias naturales y las humanidades, y la pertinencia para la práctica y la política. A lo largo de todas estas luchas originadas, existió un esfuerzo para hacer que la ciencia se ocupara de las preocupaciones tradicionalmente asociadas con las humanidades, lo que refleja un deseo de ser más directamente relevante para los intereses humanos que las ciencias naturales, pero eficacia metodológica que trascendió la retórica, a menudo aparentemente impotente típica de las humanidades. Sin embargo, al igual que con las humanidades, no existe una comprensión o enfoque canónico de la ciencia social de la tecnología, particularmente a través de disciplinas. Sin embargo, las ciencias sociales han dirigido una atención más sostenida a la definición de la tecnología que cualquier otra área de investigación académica. En general, la "tecnología" tiene un significado más amplio en las ciencias sociales que en la ingeniería, pero que es más determinada que en las humanidades. En cierta medida, el uso de la ciencia social incluye tanto las connotaciones expansivas como las restrictivas que se encuentran en la ingeniería, al tiempo que incluye una postura crítica típica de las humanidades. Destaca no tanto el estudio de las características internas de los procesos técnicos o las ciencias de la ingeniería, sino de esos procesos y sus ciencias como los datos socialmente efectivos, con un interés dirigido hacia la forma en que tales procesos y formas de conocimiento surgen de influir en la sociedad. El primer uso sostenido de un cognado "tecnológico" para cubrir los procesos industriales, el *Technologie* de Beckmann, ocurrió (como ya se ha señalado) en el contexto de una forma temprana de la ciencia social alemana conocida como cameralismo. De hecho, las preguntas planteadas por el cambio tecnológico, en particular las dislocaciones sociales asociadas con

la industrialización, proporcionaron gran parte del enfoque temprano en las ciencias sociales. En el siglo XIX, la "cuestión de la maquinaria" fue fundamental para la economía política británica y los movimientos de reforma social, como ha argumentado Maxine Berg [1980]. Desde el análisis de Smith de la fabricación de pines hasta la disección de la fábrica de K. Marx, los economistas políticos incorporaron la tecnología industrial en sus análisis. Sin embargo, por toda la atención prestada a la industria, las ciencias sociales del siglo XIX rara vez convirtieron la tecnología en sí misma en el foco del análisis. Como Frison [1998] ha observado, los términos "tecnología" y "técnica" están en gran parte ausentes de los tratados de Smith, J. S. Mill, y otras obras clave de la economía política clásica británica. Además, estos autores muestran poca evidencia de haber tenido un concepto general de tecnología y cambio tecnológico. Por ejemplo, surgió un debate clave a principios del siglo XIX sobre las afirmaciones de Thomas Malthus de que la disminución de la productividad marginal de la tierra inevitablemente produciría estancamiento. David Ricardo, entre otros, impugnó a Malthus argumentando que la tendencia hacia el estancamiento estaba "más que contrarrestada por las mejoras en la maquinaria, por la mejor división del trabajo, y por la creciente habilidad, tanto en la ciencia como en el arte, de los productores" (Sobre los Principios de Economía Política y Fiscalidad, ch. 5, apartado 4). Naturalmente, los economistas actuales harían el mismo argumento en términos de cambio tecnológico, pero la "tecnología" no se convirtió en un término clave en la teoría económica hasta la década de 1930. La discusión más sostenida de la tecnología industrial en la economía política clásica se encuentra en *Das Kapital* de Marx, volumen uno, especialmente el capítulo sobre "Maquinaria e industria a gran escala". Incluso Marx, sin embargo, no desplegó un concepto general de tecnología, aunque combinó la lista de *Technologie* con un enfoque en la maquinaria extraída de la economía política británica. La descripción más general de Tecnología de Marx se produce en una larga nota a pie de página a su discusión sobre el concepto de la máquina. Esta nota comenzó pidiendo "una historia crítica de la tecnología" que demostrara la base colectiva de la invención. Luego construyó una analogía con el interés de Charles Darwin en la historia de la "tecnología natural, es decir, la formación de órganos vegetales y animales como instrumentos productivos para la vida de plantas y animales". Marx propuso una "historia de desarrollo similar de los órganos productivos de los seres humanos sociales", lo que llevó a una de sus declaraciones más conocidas: "Technologie revela [enthüllt] las relaciones activas de los seres humanos con la naturaleza, los procesos de producción sus

vidas, y por lo que también sus relaciones de vida social y las presentaciones mentales que brotan de ellas" [Marx, Kapital I, ch. xiii, n4].

Ciertamente se puede interpretar este uso de la "tecnología" como una referencia directa a los procesos materiales de producción, un uso comparable a los significados. Sin embargo, en otros lugares de Das Kapital Marx dejó claro que interpretó a Technologie a lo largo de las líneas de la lista de cámaras como una ciencia (Wissenschaft) preocupado por dirigir el proceso de producción. En la nota, Marx aparentemente estaba conceptualizando Technologie como una ciencia potencial (social) de la producción que podría ayudar a revelar la base material de las relaciones sociales y las ideologías. Aunque este punto de vista no fue desarrollado más por Marx o sus seguidores, los científicos sociales alemanes subsiguientes fueron influenciados por la insistencia de Marx en que el proceso técnico de producción era central para la historia humana. Gran parte del trabajo de Max Weber y Werner Sombart, por ejemplo, se puede leer como una respuesta al determinismo percibido de la teoría marxista. Sin embargo, cuando estos eruditos abordaron el análisis de Marx de la producción, lo hicieron usando el término Technik en lugar de Technologie. Technik entró en la ciencia social alemana a través del discurso generado por los ingenieros alemanes a finales del siglo XIX, ya que el fenómeno al que se refirió fue atendido por el trabajo de Gustav Schmoller, Weber, Georg Simmel, y especialmente Sombart. En la primera edición de su *Der Moderne Kapitalismus* (Capitalismo moderno) [1902], Sombart discutió por fin die neuen Technik (la nueva tecnología). Amplió este tema al año siguiente con un análisis de Technik en la Alemania del siglo XIX, haciendo hincapié en el paso de Technik empírico a científico. Sombart y Weber elaboraron sus puntos de vista en 1910 en la primera conferencia de la *Deutsche Gesellschaft für Soziologie* (Sociedad Alemana de Sociología), donde Sombart presentó un artículo sobre "Technik und Kultur".

Tanto Sombart como Weber rechazaron a Technik como una variable independiente en los asuntos humanos, en lugar de insistir en que Geist (espíritu o mente) desempeñó un papel más fundamental y causal. Weber discutió brevemente technik en su famoso análisis de los tipos de acción en *Wirtschaft und Gesellschaft* [1914], donde hizo una marcada distinción entre Technik y Wirtschaft (o tecnología y economía). Weber restringió a Technik a la cuestión de los medios óptimos a un fin determinado, argumentando que cualquier consideración de los costos implicaba opciones entre fines; tales opciones, para Weber, pertenecían a la esfera de la acción económica. Esta comprensión en efecto eliminó a Technik del dominio de la cultura, reduciéndola a una aplicación

casi mecánica de los principios científicos. En Francia, entre las dos guerras mundiales, varios científicos sociales —entre ellos Marcel Mauss, Ignace Meyerson, André Leroi-Gourham y Lucien Febvre— desarrollaron un discurso similar sobre la técnica. En comparación con los alemanes, este discurso francés se centró más en la antropología, la historia social y los trabajadores ([Largo, 2005]; véase también [Salmón, 1984]). El término inglés "tecnología" se hizo significativo en las ciencias sociales americanas a principios del siglo XX en gran medida a través de su uso para traducir el discurso de la "técnica" de las lenguas europeas continentales. Antes de 1900, la "tecnología" seguía siendo de importancia marginal en las ciencias sociales, utilizada principalmente como un título clasificatorio. Por ejemplo, la constitución de 1882 de la Sociedad Antropológica de Washington hizo "Tecnología", definida como "la ciencia de las artes", una de las cuatro secciones principales de la sociedad, junto con Somatología, Etnología y Filología. En este mismo período de tiempo, sin embargo, los científicos sociales de habla inglesa comenzaron a tomar nota del discurso alemán de Technik, especialmente en los Estados Unidos, donde las universidades alemanas se habían convertido en modelos para la educación superior. La traducción más adecuada del término central en el discurso de la ciencia social alemana sobre Technik fue "artes industriales", una frase que en el proceso de ser apropiada para programas de instrucción manual en escuelas secundarias estadounidenses, científicos sociales de EE.UU. gravitado en su lugar hacia la "técnica" o "tecnología" u ocasionalmente "técnica" (por ejemplo, [Seligman, 1902]). El resultado fue un enredo terminológico. Un erudito que desempeñó un papel preeminente en la transposición del discurso alemán al contexto estadounidense fue el científico social iconoclasta Thorstein Veblen. Veblen tomó el concepto de Technik directamente de las obras de Schmoller y Sombart y lo fusionó en el significado existente de la "tecnología" como la ciencia de las artes industriales, creando así un nuevo concepto que trascendió los significados recibidos. Con frecuencia equiparaba la tecnología con el "estado de las artes industriales", trazando un paralelismo con el "estado de la técnica", un concepto utilizado para determinar la prioridad en el derecho de patentes estadounidense. En sus manos la tecnología llegó a ser entendida como una característica universal de las culturas humanas y una alternativa a la idea más antigua del arte, que en ese momento se había perfilado a fondo. Veblen [1906] proporcionó la primera discusión explícita de la relación entre la tecnología y la ciencia, una que postulaba a las dos como esferas fundamentalmente distintas de la cultura humana vinculadas a través de una de la sociología materialista del conocimiento. Veblen [1908] realizó el primer análisis significativo del papel

económico de la tecnología, conceptualizado como conocimientos productivos y habilidades pertenecientes colectivamente a toda una comunidad. Dada su novedad, el concepto de tecnología de Veblen fue quizás un poco demasiado sutil para la época. Aunque sus obras fueron ampliamente leídas, tenía pocos alumnos y no verdaderos discípulos. Varios científicos sociales estadounidenses influyentes adoptaron su uso, pero algunos de los puntos más finos cayeron a medida que el término se volvió más común. En particular, una comprensión dialéctica de la relación ciencia-tecnología fue reemplazada por la suposición de que la tecnología equivalía a la aplicación de la ciencia y la tecnología, que se vinculó firmemente a una creencia dominante en el progreso material. Tales significados estuvieron fuertemente presentes en el trabajo de dos destacados científicos sociales estadounidenses que adoptaron el término antes de la Segunda Guerra Mundial, el historiador y politólogo Charles A. Beard [1927] y el sociólogo William F. Ogburn [1938]. Un concepto bastante sofisticado de la tecnología encontró un hogar en la economía institucional, una rama disidente del campo que se basó en las ideas de Veblen, pero el paradigma neoclásico dominante generalmente consideraba que la tecnología era exógena para el sistema económico [Baja, 1987].

Sin embargo, el discurso alemán sobre Technik continuó afectando a las ciencias sociales estadounidenses, como se puede ver en la obra de Talcott Parsons, uno de los teóricos sociales estadounidenses preeminentes del siglo XX. Parsons obtuvo su doctorado en la Universidad de Heidelberg a finales de la década de 1920 y en el proceso absorbió muchas ideas de teóricos sociales europeos como Weber y Sombart. Sus primeras publicaciones examinaron escritos recientes en alemán sobre el capitalismo, muchos de los cuales trataron significativamente con Technik, especialmente el de Sombart. Las primeras discusiones de Parsons sobre la tecnología se enmarcaron principalmente en términos de "técnica", a menudo traducido directamente del alemán. Pero poco a poco alteró su terminología de "técnica" a "tecnología" mientras importaba al inglés los dos principales significados alemanes de Technik como artes prácticas y como medio para un fin (por ejemplo, [Parsons, 1935]). Su colega sociólogo en Harvard, Robert K. Merton, sufrió una transición similar de influencia alemana de la "técnica" a la "tecnología" a finales de la década de 1930 [Merton, 1935]. Esta opinión identificó la tecnología principalmente con maquinaria productiva, como en la entrada de siete páginas en la Enciclopedia de las Ciencias Sociales de 1934, que carecía de una definición clara y seguía dependiendo en gran medida de las referencias a la literatura alemana y francesa (véase [Lederer, 1934]).

Después de la Segunda Guerra Mundial, la "tecnología" asumió un lugar seguro aunque algo marginal en antropología, economía y sociología. La definición de la tecnología como ciencia aplicada, que era común en la ciencia e ingeniería de posguerra, tenía mucho menos moneda en las ciencias sociales. Los científicos sociales generalmente adoptaron una amplia comprensión de la tecnología. Esta amplia definición recibió una sanción explícita en la autoridad de la Enciclopedia Internacional de las Ciencias Sociales de 17 volúmenes. La entrada pertinente, que era el doble de la longitud de su predecesor, ofrecía la siguiente definición explícita: La tecnología en su amplio significado connota las artes prácticas. Estas artes van desde la caza, la pesca, la recolección, la agricultura, la ganadería y la minería a través de la fabricación, la construcción, el transporte, el suministro de alimentos, energía, calor, luz, etc., hasta los medios de comunicación, medicina y tecnología militar. Las tecnologías son cuerpos de habilidades, conocimientos y procedimientos para hacer, usar y hacer cosas útiles. Son técnicas, medios para lograr propósitos reconocidos [Merrill, 1968, págs. 576-577]. Sin embargo, algunos científicos sociales han seguido cuestionando los límites de la tecnología. Por ejemplo, la breve entrada de tres páginas en una segunda edición de la Enciclopedia Internacional de las Ciencias Sociales se retira a una definición de tecnología como "la metodología de producción subyacente a través de la cual los insumos o recursos se convierten en producción (bienes y servicios)" junto con la alegación adicional de que en cualquier momento "existe una mejor manera de producir un bien o servicio" ([Goel, 2008, p. 302]; véase también [Tantoush, 2001, p. 15503]; y [Mokyr, 2008, p. 217]). Otros siguen limitándolo a la industria moderna o distinguiendo entre "técnica" y "tecnología", dejando que la primera sea para las artes y artesanías pre-científicas y la segunda para una ingeniería más sofisticada (véase, por ejemplo, en español, [Medina, 1985]).

Sin embargo, más característico ha sido una visión expansiva asociada con la historia de la tecnología. En la historia, que tiende a tender puentes entre las ciencias sociales y las humanidades, la tecnología, desde el punto en que se convirtió en un tema para el análisis narrativo, se ha definido ampliamente. Según el prefacio de la primera historia internalista completa, la tecnología se interpretaría como "cómo se hacen o hacen las cosas comúnmente", incluyendo "lo que se hacen o se fabrican las cosas" [Singer et al., 1954, p. vii]. Este punto de vista fue modestamente criticado por los editores de una historia social posterior como "tan amplio y suelto como para abarcar muchos elementos que apenas pueden ser considerados como tecnología" [Kranzberg y Prusell, 1967, p.

5]. Sin embargo, una comparación filosófica de las definiciones en estas e historias básicas de la tecnología en francés y otros idiomas, incluyendo varios debates historiográficos, continuó favoreciendo una definición inclusiva sobre una definición más restringida [Mitcham, 1979]. De hecho, un historiador y teórico de la dirección incluso defendió la idea de que la tecnología debe incluir no sólo "cómo se hacen o se fabrican las cosas", sino "cómo [el ser humano] hace o fabrica", interpretado no tanto en términos de la naturaleza humana tratando de controlar el medio ambiente como una extensión cultural de los procesos de evolución biológica orientada hacia la trascendencia de las limitaciones humanas [Druker, 1959, p. 28]. Desde esta perspectiva, la tecnología incluye no sólo empresas humanas exitosas pero fracasadas, en la medida en que estén orientadas (conscientemente o no) hacia la fabricación y el uso, de modo que la historia de la tecnología incluya una historia de trabajo, invención, economía, política, la ciencia, y así sucesivamente. Este es también un enfoque característico de filósofos socialmente orientados como Larry Hickman quien, construyendo la filosofía de Dewey, aboga por naturalizar la tecnología "como una actividad cognitiva dentro de la historia evolutiva de organismos complejos" [Hickman, 2001, p. 21].

6.- CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

En el último cuarto del siglo XX, la "tecnología" se había convertido en una palabra clave bien establecida, aunque un tratamiento influyente de 131 términos de este tipo lo colocó en el peldaño inferior con respecto al espacio de atención analítica [Williams, 1983]. Al mismo tiempo, los significados de la tecnología variaron significativamente entre las comunidades de discurso, como lo revela la revisión anterior de los entendimientos y definiciones en la ciencia y la ingeniería, en las humanidades y en las ciencias sociales. Tales variaciones sugieren la necesidad de enfoques dependientes del contexto de la filosofía de la tecnología tal como se entiende dentro de cada una de las tres comunidades académicas básicas. Dentro y fuera de cada comunidad, una definición o estrategia de definición bien puede ser más apropiada que otra, lo que resulta en filosofías complementarias de la tecnología y las ciencias de la ingeniería. Con respecto a la posibilidad de filosofías complementarias, cabe argumentar dos puntos. En primer lugar, aunque los fenómenos pueden analizarse de manera indefinida, ordenar, clasificar y definir, sin embargo, siguen siendo fundamentales para la actuación y el pensamiento humanos. Una dependencia de contexto de definiciones no significa que se puedan prescindir o tratarse con indiferencia. Metafísicamente, la contingencia de definición puede interpretarse

en el sentido de que revela la medida en que toda presencia es limitada o parcial, pero no por esa razón irreal (véase [Harman, 2005]). Epistemológicamente, definir y clasificar son actividades inherentemente humanas. En segundo lugar, cualquier acto de clasificación y clasificación tiene implicaciones, desde lo práctico y cognitivo hasta lo moral y lo estético. Parafraseando un argumento relativo a este punto, vivimos en, sobre y alrededor de definiciones, que reflejan y dan forma a nuestras opciones y experiencias prácticas, epistémicas, éticas y estéticas. Tanto epistemológica como moralmente, es importante "producir clasificaciones flexibles cuyos usuarios son conscientes de sus dimensiones políticas y organizativas y que conservan explícitamente rastros de sus construcciones" [Bowker and Star, 1999, p. 326]. La comparación ya se ha hecho con la búsqueda de definiciones en otras regionalizaciones de la filosofía como la filosofía de la ciencia, de la religión y del lenguaje. En cada caso, el contexto funciona para ayudar a especificar estrategias de definición, que a su vez sentaron las bases para discusiones filosóficas distintivas a nivel regional. En el primer caso, especialmente en opinión de los propios científicos, comúnmente se argumenta que la ciencia se distingue por su método. Este argumento se basa en una auto comprensión dentro de la comunidad científica bastante estrechamente acoplada sobre la importancia del método, y el hecho de que la ciencia aspira a ser una actividad cognitiva progresivamente desdoblada. Los propios científicos a menudo ven el método científico como esencial y prescriptivo, una visión respaldada por muchos filósofos. Por ejemplo, tal como fue interpretado por Karl Popper [1963], la ciencia implica el avance de las afirmaciones de conocimiento que son capaces (en principio si no en la práctica actual) de ser falsificadas por alguna prueba y de hecho han sobrevivido al menos una prueba de este tipo (aunque en el futuro pueden no satisfacer otras pruebas). Sin embargo, el debate sobre la idoneidad de cualquier persona descripción del método científico se ha convertido en un tema básico en la filosofía de la ciencia, mientras que los científicos sociales incluso han desafiado la auto comprensión entre los científicos (y algunos filósofos) de la ciencia como métodos (véase [Pinch and Collins, 1993]). Al igual que los científicos, algunos ingenieros han propuesto definir la ingeniería en términos de método [Koen, 2003], dando lugar de nuevo a discusiones sobre la adecuación de varias propuestas, así como al cuestionamiento de las ciencias sociales en la medida en que la ingeniería a sus propios ideales metodológicos. Además, hay razones para cuestionar si la comunidad de ingeniería está tan unida o bien formada como la de la ciencia.

En la filosofía de la religión, en cambio, no hay equivalente a las comunidades científicas o de ingeniería. Las muchas religiones, que los eruditos así designan, no se ven a sí mismas como una comunidad bien formada o unificada. Dentro de cada religión hay grupos como cristianos católicos o budistas Theravada que parecen más o menos bien establecidos, pero los cristianos y budistas sólo en un sentido débil, se ven a sí mismos como comprometidos en una empresa o diálogo común. De hecho, el primer "Parlamento de Religiones" no tuvo lugar hasta 1893 en Chicago, y ha sido mucho menos una empresa en curso que la transnacional "república de la ciencia" que surgió durante la década de 1700 y logró una identidad profesional relativamente estable durante el siglo siguiente [Harrison, 2008]. Como resultado, los filósofos se han visto obligados a definir la religión más en términos de un conjunto selectivo de posibles características clave o lo que Wittgenstein llamó semejanzas familiares que algo parecido a un método. Adoptando este enfoque, Ninian Smart [1998] propuso un conjunto de siete características posibles para la religión: prácticas rituales, experiencia o emoción, doctrinas, moralidad, narrativas o mitos, organización social o institucional, y cultura o arte materiales, todo orientado hacia algún tipo de trascendencia. En cualquier religión el conjunto estará presente en diferentes formas y equilibrios. En algunos casos, una o más características pueden estar bastante atenuadas o ausentes. Pero en conjunto estas dimensiones sirven para diferenciar los fenómenos religiosos de los no religiosos y así marcar en forma áspera ese complejo que es objeto de reflexión crítica en la filosofía de la religión. De la misma manera hay una diferencia considerable entre, al menos, la técnica y la tecnología entendida como las actividades de fabricación en forma pre-moderna y moderna, respectivamente. En la medida en que este es el caso, aboga por un enfoque de características clave a una definición, una que de hecho ha sido adoptada por varios filósofos (por ejemplo, [Radder, 1996]).

En la filosofía del lenguaje tiende a haber menos debate sobre la definición de la materia que con respecto a la ciencia o la religión. Debido a que existe una ciencia del lenguaje, la lingüística, que ha definido el fenómeno, la filosofía puede tomar esto como un hecho. Simplemente no hay tanto debate sobre lo que constituye el lenguaje como sobre lo que constituye la ciencia o la religión. Algo cercano a una definición comúnmente utilizada en la ciencia de la lingüística se acepta generalmente: el lenguaje es un sistema de comunicación que utiliza un conjunto finito de símbolos arbitrarios (semántica) y reglas de estructuración (sintaxis) para su manipulación. Sin embargo, dentro de la

lingüística hay debates sobre cuestiones tales como la relación entre el lenguaje y el habla, la semántica y la sintaxis, el significado y la referencia, y más, todos los cuales se han convertido en cuestiones de escrutinio filosófico. (Es importante señalar, también, que la filosofía del lenguaje como una regionalización distinta de la filosofía es mucho más prominente en el análisis que en las tradiciones fenomenológicas, donde tiende a ser subsumida dentro de la antropología filosófica o hermenéutica semiótica.) Teniendo en cuenta las analogías entre la filosofía de la tecnología y la filosofía del lenguaje, ¿es posible concebir la ingeniería o las ciencias de la ingeniería como según la lingüística y por lo tanto contiene definiciones suficientemente bien establecidas de la materia que estos podrían ser tomados como se dan? En cierta medida, las instituciones de educación superior de la tecnología parecen basarse en suposiciones sobre la tecnología constituidas por las ciencias de aplicación, aplicación que se diferencia en múltiples niveles y campos de la ingeniería. Dado que todo lo que se puede dar en la lingüística es tomado para el escrutinio de la filosofía del lenguaje, en esta analogía la filosofía de la tecnología podría describirse como una reflexión crítica sobre el colector de la ingeniería. Es decir, la filosofía de la tecnología se convertiría en la filosofía de la ingeniería y las ciencias de la ingeniería. Otra posibilidad sería tomar la tecnología en un sentido más etimológicamente literal como una ciencia de la técnica o lo técnico y dividir la filosofía de la tecnología en dos: la filosofía de la ciencia de la técnica y la filosofía de lo técnico. Sin embargo, la medida en que la tecnología está suficientemente capturada por la ingeniería o la técnica sigue siendo una cuestión abierta.

Una cuestión conexas se refiere a si cualquiera de estos tres enfoques — definir la tecnología en términos de método, un conjunto flexible de características clave, como ingeniería o como técnica— encajaría lo suficiente con el uso lingüístico común, se coordinaría con cuestiones de influencia retórica y funcionaría bien para integrar filosofías de tecnología en ingeniería, en humanidades y en contextos de ciencias sociales en algo que podría considerarse como la filosofía de la tecnología en general. Esta implicación final es importante. Como se mencionó al principio del capítulo, la definición está estrechamente relacionada con una serie de cuestiones filosóficas básicas de interés más general. Pero la definición, cuando se considera en el nivel superficial de ordenar el fenómeno o fenómenos a ser nombrados y clasificados, no determina por sí misma en un sentido más profundo o interpretativo. Esto es al menos parte de lo que Martin Heidegger [1954] quiso decir al afirmar que la esencia de la

tecnología no es nada tecnológico. Al perseguir cualquier definición más profunda e interpretativa —ya sea en filosofías de la tecnología que surgen en los contextos de la ciencia y la ingeniería, las humanidades o las ciencias sociales— sería apropiado considerar al menos las siguientes diez cuestiones básicas pero no ordenadas y no mutuamente excluyentes:

1. ¿Tiene la tecnología una característica distintiva interna o esencial?
2. Si la tecnología tiene una característica o características esenciales o necesarias, ¿cómo podría distinguirse de las características accidentales o contingentes?
3. ¿Cuál es la relación entre la tecnología y la naturaleza?
4. ¿Cuál es la relación entre la tecnología y la acción humana? (En la medida en que la tecnología se puede definir como un tipo de acción humana, entonces una serie de cuestiones en la filosofía de la acción, la ética y la teoría política se vuelven relevantes.)
5. ¿Es la tecnología una o muchas, una unidad o pluralidad? Es decir, ¿es más preciso hablar de "tecnologías" que de "tecnología"? Si una pluralidad, ¿cuáles son las mejores maneras de entenderla como tal?
6. ¿Cuáles son, en su caso, las "partes" de (o divisiones dentro) de la tecnología (tecnologías)?
7. ¿Existe continuidad histórica en el desarrollo de la tecnología (o tecnologías)?
8. ¿Cuál es la relación entre la tecnología (tecnologías) y la ciencia (ciencias)?
9. ¿Cuál es la relación entre tecnología (tecnologías) e ingeniería (ingeniería)?
10. ¿Cuál es la relación entre la tecnología (o las tecnologías) y otros aspectos de la vida humana (cultura, lengua, religión, arte, sociedad, política, economía, etc.)?

Las posibles respuestas a estas preguntas estarán fuertemente influenciadas por la forma en que la tecnología se solucione de otros aspectos del mundo. Las respuestas a estas preguntas a su vez tendrán implicaciones

sustantivas para otras preguntas, como si la tecnología es neutral, autónoma, buena, hermosa y más. La adopción del enfoque pragmático de la definición implica que cualquier definición deberá llevarse a cabo en diálogo con o a través de una reflexión crítica sobre sus implicaciones. La definición no es algo que puede tener lugar independientemente del contexto

EL PAPEL DE LA CIENCIA SOCIAL EN INGENIERÍA

Knut H. Sørensen

En una época que aparentemente celebra la interdisciplinariedad [Nowotny et al., 2001] donde la tecnología ya no es la reserva exclusiva de los ingenieros, uno podría imaginar que sería gratificante revisar la investigación sobre la influencia que la ciencia social ha tenido sobre Ingeniería. Durante mucho tiempo muchos también han argumentado que las cuestiones de ciencias sociales deben tener más protagonismo en los planes de estudio de ingeniería. Más aún, los estudios sociales de la tecnología han observado repetidamente lo importante que es la comprensión del mundo social para la ingeniería exitosa. Esto emana especialmente de la re-conceptualización constante de la tecnología como perfectamente socio-técnica, como resultado de la combinación de la naturaleza y la cultura que se hablan (véase, por ejemplo, [Bijker et al., 1987; Latour, 1988]). Tales observaciones plantean preguntas sobre los modos de apropiación de la ciencia social que uno espera encontrar entre los ingenieros. En términos generales, parece que hay dos opciones. Una es adoptar la colaboración trans disciplinaria para que los ingenieros y los científicos sociales trabajen juntos como especialistas de distintos campos profesionales. Esto puede tomar la forma de trabajo en equipo, pero también puede dar a los científicos sociales el papel de consultores o asesores. Lo término el modo trans disciplinario de la apropiación, ya que implica combinar conocimientos de diferentes disciplinas o profesiones reconocidas. Los modos trans disciplinarios también pueden ser confrontativos en el sentido de los científicos sociales que representan una crítica a las propuestas de los ingenieros y viceversa. Los intercambios entre disciplinas y profesiones traen conflictos, así como consenso [Sorensen, 2008]. El segundo modo de apropiación es cuando el conocimiento y la competencia de las ciencias sociales es asimilado por la profesión de ingenieros para formar parte de una forma cada vez más híbrida de conocimiento de ingeniería. Dicha apropiación puede ocurrir durante la educación de los ingenieros, a través de lo que los ingenieros leen, de la

interacción con los científicos sociales, etc. Esto lo llamaré el modo de apropiación basado en la profesión, ya que se lleva a cabo dentro de una ecología de la producción de conocimiento caracterizada por la autonomía profesional de los ingenieros en la que los ingenieros siguen siendo el partido activo y controlador. La importancia relativa de estos dos modos, junto con los detalles sobre sus características, se discutirá en este capítulo. La principal barrera a la hora de evaluar estas cuestiones es la cantidad bastante limitada de investigaciones sobre la apropiación de ingenieros y el uso de las ciencias sociales. La literatura exhaustiva sobre estudios sociales de la tecnología que hace hincapié en los aspectos sociales de la ingeniería no se ha preocupado especialmente por las fuentes reales de conocimiento sobre los aspectos sociales y la forma en que esos conocimientos pueden ser apropiados. Además, el campo de los estudios tecnológicos ha participado en estudios de casos de ejemplos específicos de desarrollo tecnológico en lugar de en un examen más amplio de las prácticas educativas y laborales de los ingenieros. Por ejemplo, Trevelyan y Tilli [2007, pp. 305-306] concluyen su revisión sobre la investigación en el trabajo de ingeniería declarando que no ha habido una investigación reciente y exhaustiva sobre los procesos involucrados en el trabajo de ingeniería tal como se practica realmente. Pocos investigadores han preguntado a los ingenieros qué hacen y ninguno ha preguntado dónde adquirieron las habilidades que utilizan; ni hemos encontrado ninguna investigación sistemática sobre los vínculos entre lo que se enseña en las instituciones de ingeniería, lo que los graduados aprenden al principio de sus carreras, qué formación de los ingenieros emprenden mientras están en la fuerza de trabajo, y cómo todo esto contribuye a producir Ingenieros.

Si bien exageran el problema, el eje principal de su argumento es justificable. El volumen de investigación sobre ingenieros e ingeniería no es extenso y la información disponible sobre, y el análisis de, el papel de las ciencias sociales es aún más limitado. El foco dominante en la literatura es el estatus social y la profesionalidad de los ingenieros, no su práctica real con respecto a la tecnología [Sorensen, 1998]. Además, nos enfrentamos a dificultades teóricas y metodológicas inherentes a la hora de estudiar el papel del conocimiento de ciencias sociales en la ingeniería. En la sección 1, examinaré brevemente algunas de ellas porque son importantes para aclarar cómo puede entenderse y debatirse la cuestión en cuestión —la influencia que las ciencias sociales tienen en la ingeniería—. Esto servirá como telón de fondo para la exploración de las dos áreas principales de la información relacionadas con el

papel de las ciencias sociales en la ingeniería: la educación y el trabajo o el diseño. La Sección 2, sobre educación, explorará el lugar atribuido a las ciencias sociales en los planes de estudio de ingeniería. Me basaré especialmente en un estudio noruego, pero también revisaré algunos documentos programáticos sobre los tipos de habilidades que requieren los ingenieros. Luego, en la Sección 3, discutiré brevemente el uso de las ciencias sociales en el campo del diseño de sistemas de información antes de dedicarme al trabajo de ingeniería y al diseño de manera más amplia en la Sección 4. En la sección 5 se resumen los principales argumentos.

1 CUESTIONES TEÓRICAS Y METODOLÓGICAS

¿Debemos esperar ser capaces de detectar la aportación de ciencias sociales en ingeniería y diseño en ingeniería? Claramente, este es un problema complejo. ¿Cómo identificaríamos inequívocamente un hecho o una visión que identifique el diseño o la ingeniería como originarios de las ciencias sociales? Un logro principal de los historiadores de la tecnología ha sido demostrar que la ingeniería es una ciencia independiente, o más bien un conjunto de ciencias, y no sólo la ciencia natural aplicada (véase, por ejemplo, [Layton, 1971]) o la ciencia social aplicada. Claramente, la ciencia natural tiene un papel prominente en el desarrollo de la tecnología moderna, pero las nuevas tecnologías o soluciones a los problemas de ingeniería no se suelen producir a través de aplicaciones sencillas de hechos de ciencia natural establecidos, teorías y Descubrimientos. El punto principal se ha resumido sucintamente en la crítica del llamado modelo lineal de innovación (véase Radder y Channell, mas adelante, para una discusión más detallada). Es una crítica que pone de relieve que la innovación implica actos creativos autónomos dirigidos a ensamblar una mezcla de conocimientos relevantes. La ciencia puede desempeñar un papel como proveedor de tales conocimientos, pero no en todos los casos, y los vínculos entre el conocimiento científico y las opciones de diseño han demostrado ser difíciles de rastrear [Kline y Rosenberg, 1986]. Analizar el papel del conocimiento de las ciencias sociales en la innovación y la ingeniería puede ser una tarea aún más compleja que en el caso de las ciencias naturales. En primer lugar, hay muchas maneras diferentes en las que los resultados de la investigación social pueden ser implementados, y tal uso puede no ser siempre constructivo. Por ejemplo, Weiss [1979] distingue cinco formas en que los responsables políticos utilizan las ciencias sociales:

(1) uso instrumental donde los resultados de la investigación se utilizan en la resolución de problemas,

(2) el uso político y relacionado con conflictos cuando la investigación se utiliza como argumento o arma en un controversia política,

(3) iluminación porque la investigación en ciencias sociales lleva a los usuarios a reorientar conceptualmente o cambiar sus formas de pensar,

(4) el uso interactivo, donde la investigación se aplica en combinación con otra información para proporcionar una base de conocimiento para políticas y

(5) aplicaciones tácticas en las que la investigación se utiliza para crear una sensación de cambio o donde se convierte en parte de una estrategia de "evitar o retrasar".

El papel de las ciencias sociales en la ingeniería podría mostrar una variedad similar de prácticas. En segundo lugar, las reivindicaciones de conocimientos en ciencias sociales, que a menudo son controvertidas e inestables, se caracterizan por el desacuerdo y, por lo tanto, son difíciles de aplicar en un entorno en el que no se desea tomar una posición sobre cuestiones sociales. En un nivel más básico, las representaciones en ciencias sociales pueden interactuar y transformar los mismos fenómenos que deben representarse (véase, por ejemplo, [Suchman, 2007]). Este es el problema adecuadamente caracterizado por Giddens [1976] como el doble círculo hermenéutico: los científicos sociales interpretan el mundo, pero el mundo también interpreta a los científicos sociales. En tercer lugar, en general, las ciencias sociales no han dado prioridad a la investigación que pretende ser relevante para los ingenieros y a sus esfuerzos por diseñar e innovar. Por lo tanto, la disponibilidad de conocimientos de ciencia social listos para usar, aplicables al trabajo de ingeniería, junto con un banco de científicos sociales interesados en interactuar con los ingenieros puede resultar ser una limitación mayor que en el caso de la ciencia natural. Sin embargo, estos problemas no deben ser sobreestimados. Muchas cuestiones o cuestiones relacionadas con las ciencias sociales que surgen del trabajo de los ingenieros pueden abordarse recurriendo a conocimientos o habilidades bien establecidos en las ciencias sociales. Por ejemplo, muchos ingenieros basan su trabajo en suposiciones demasiado simplistas sobre el comportamiento humano, suposiciones que pueden ser disputadas o rectificadas sobre la base de un conocimiento bastante

estándar sobre la toma de decisiones, el consumo o fenómenos como la disonancia cognitiva. En general, hay una serie de situaciones relacionadas con el diseño tecnológico y otras formas de trabajo de ingeniería que plantean cuestiones relevantes para los científicos sociales; algunos que pueden ser respondidos rápidamente y otros que hacen necesario co-producir nuevos conocimientos de ciencias sociales con nuevos conocimientos de ingeniería.

En cuarto lugar, los ingenieros a menudo perciben a los científicos sociales como un conversor crítico que se dedica a la "filosofía", algo que no se aprecia en una profesión que valora, por encima de todo, el compromiso práctico para resolver problemas. Desde interactuar profesionalmente con los ingenieros durante un largo período de tiempo sé por experiencia que los científicos sociales pueden ser vistos como escépticos poco útiles en lugar de como trabajadores de equipo constructivos. Del mismo modo, muchos científicos sociales critican a los ingenieros con los que tienden a comunicarse e insuficientemente reflexivos con respecto a los efectos de su trabajo. Por lo tanto, la colaboración no es fácil. Podríamos, por supuesto, eludir los desafíos discutidos en esta sección basando el análisis del impacto de las ciencias sociales en los propios relatos de los ingenieros de cómo y en qué medida hacen uso de esos conocimientos. Sin embargo, esto en el mejor de los casos nos hablaría sobre las instancias en las que dicho uso era explícito. Parece más probable suponer que si los ingenieros realmente utilizaran los conocimientos adquiridos de las ciencias sociales, este hecho tendería a hacerse invisible en sus relatos de desarrollo de nuevas tecnologías porque las ciencias sociales son menos prestigiosas que las ciencias naturales. Por consiguiente, las contribuciones a las ciencias sociales podrían volverse propensas a ser pasadas por alto u ocultas, ya que reconocer el valor de la aportación de las ciencias sociales podría dañar en última instancia la reputación. Incluso se podría pensar que tal reconocimiento pone en peligro el estatus científico de la ingeniería. Es posible tener una buena comprensión intuitiva de las condiciones sociales del rendimiento de la ingeniería sin aprovechar conscientemente la investigación en ciencias sociales. Por ejemplo, esos conocimientos pueden ser mediados a través de los medios de comunicación de masas, siendo así apropiados de los informes de los periodistas en lugar de los relatos científicos. Alternativamente, puede convertirse en parte del plan de estudios estándar de la escuela secundaria. El punto es que los ingenieros pueden verse afectados por las ciencias sociales sin ser conscientes de esa forma de apropiación. El problema subyacente se resume acertadamente en la arrogante afirmación hecha por un director de investigación noruego

después de un seminario cuando declaró: "Todos somos sociólogos. ¡Todos leemos periódicos!" En muchos relatos de invenciones exitosas e innovación, una buena comprensión de las necesidades de los usuarios y el contexto social es vital [Freeman, 1982; Bijker et al., 1987; Latour1987] Un ejemplo clásico es la evaluación de Thomas Edison de la situación competitiva relativa al gas cuando se embarcó en la invención de la iluminación eléctrica. El sistema fue diseñado optimizando la sección transversal de los cables de alimentación de cobre en relación con el precio del gas y el cobre para que la iluminación eléctrica pudiera ser más barata que la iluminación de gas [Hughes, 1985]. Del mismo modo, el esfuerzo noruego por desarrollar una tecnología para extraer nitrógeno del aire con el fin de producir fertilizantes sintéticos se basó en el estudio exhaustivo del ingeniero-empresario Sam Eyde sobre el mercado internacional de fertilizantes y la disminución de la oferta de guano [Sorensen y Levold, 1992]. Una forma de interpretar estas observaciones surge del estudio de Callon [1987] de un esfuerzo francés temprano para desarrollar pilas de combustible para automóviles. Observó cómo los ingenieros producían escenarios sociales bastante complejos para apoyar su proyecto que lo llevaron a hacer que los sociólogos y exagerados, afirmaran que los ingenieros son mejores en sociología que los sociólogos. Si bien Callon nos recuerda correctamente que los ingenieros necesitan poseer una conciencia de las necesidades sociales y los intereses donde los científicos sociales pueden ser incapaces de ofrecer conocimientos útiles, sin embargo es algo diferente de lo que nos preocupa aquí. La afirmación de Callon plantea la cuestión de cómo los ingenieros pueden aprender a actuar como productores competentes de escenarios sociales. ¿Es esta una habilidad inherente a la ingeniería o es una cualificación que se desarrolla a través de una mezcla de experiencia y exposición a las observaciones de las ciencias sociales? Un buen lugar para empezar a estudiar este tipo de cuestiones es en la educación de los ingenieros. En primer lugar, los planes de estudios de ingeniería proporcionan pruebas de hasta qué punto las ciencias sociales se incorporan en la formación de ingenieros. Lo que es de igual importancia es el hecho de que la educación de los ingenieros con frecuencia da lugar a debates sobre lo que los ingenieros necesitan saber. Tales debates serían temas de estudio interesantes porque representan buenas oportunidades para expresar la necesidad de un cambio en la educación de los ingenieros.

2 LO QUE LOS INGENIEROS NECESITAN SABER

Los estudios comparativos de ingenieros han mostrado variaciones sustanciales en una multitud de dimensiones como el estatus, la orientación profesional y la colocación en jerarquías industriales y la importancia relativa dada a la competencia teórica y práctica [Maurice et al., 1986; Meiksins y Smith, 1996; Sorensen, 1998]. Esto refleja las diferencias en las funciones de los ingenieros en la división nacional de los sistemas laborales, así como en relación con las tradiciones históricas. Sin embargo, parece que hay algunas similitudes, como la tensa relación entre la teoría y la práctica, entre la percepción de la ingeniería como basada en la ciencia en lugar de crecer a partir de preocupaciones prácticas e industriales (véase también Banse y Grunwald capítulo de este Volumen, Parte I). Este problema surge en parte de las preocupaciones sobre el estatus social de la ingeniería. En la mayoría de los países, tener antecedentes científicos es más prestigioso que ser versado en habilidades prácticas. La cuestión de establecer lo que los ingenieros necesitan saber ha sido un tema controvertido. Los esfuerzos de finales del siglo XIX y principios del XX para proporcionar a los ingenieros un estatus profesional dieron lugar al desafío combinado de adquirir posición científica, así como ser reconocidos como educados. Este desafío se cumplió de tres maneras principales. En la tradición francesa, en la que la Ecole Polytechnique es la institución paradigmática, el estatus académico podría lograrse haciendo hincapié en la ciencia y las matemáticas. La tradición norteamericana puso mayor peso en hacer de los cursos de artes liberales una parte obligatoria del currículo de ingeniería para lograr el reconocimiento como educado, mientras que en Alemania los esfuerzos por convertir la ingeniería en una ciencia con un estatus académico fueron éxito [Kranakis, 1989; Lundgreen, 1990; Manegold, 1978; Noble, 1979; Shinn, 1984]. La sociología de las profesiones ha comparado la ingeniería con profesiones como el derecho y la medicina y ha encontrado ingenieros que desean con respecto a la autonomía y el estatus social. Se ha preguntado si los ingenieros constituyen realmente una profesión. Dentro del texto de este capítulo surge otra preocupación de la diferenciación constante de los ingenieros en campos especializados como la ingeniería mecánica, la ingeniería civil, la ingeniería química, etc., especializaciones que a menudo tienen sus propias sociedades profesionales. Además, como muestra Bucciarelli [1994], estos especialistas —entrenados de maneras claramente diferentes— ven tecnologías y definen problemas de maneras específicas que no se pueden comunicar fácilmente a través de las divisiones educativas. Sin embargo, a los

efectos de este capítulo, parece apropiado considerar la ingeniería como una sola profesión, al menos en un contexto nacional, en parte porque los ingenieros son educados de manera similar en tipos similares de instituciones y en parte porque también son sociedades de ingeniería generales diseñadas para ayudar a proporcionar una identidad de ingeniería común. Lo que se obtiene empleando el concepto de profesiones no es sólo recordar el fenómeno de los recintos basados en la educación dentro del mercado laboral, sino también para señalar la existencia de un régimen de organización de conocimientos que difiere de los patrones basados en la disciplina. Las profesiones se caracterizan por preocupaciones de práctica teoría abierta que implican esfuerzos para lograr un equilibrio entre la importancia respectiva de la experiencia de los profesionales y el conocimiento basado en la investigación. Se puede argumentar que la educación de los profesionales mezcla el conocimiento basado en la disciplina con el conocimiento profesional especializado. En la educación en ingeniería, esta mezcla ha dado lugar a planes de estudio que contienen materias matemáticas y de ciencias naturales en combinación con varios tipos de ciencias de la ingeniería. Este amplio aporte ha proporcionado lo que puede llamarse competencia politécnica en ingenieros individuales. El término politécnico se utiliza para destacar la tradición de dar a los ingenieros una educación bastante amplia, que implica la introducción a la competencia básica de varios campos de la ingeniería y con finalmente el cultivo de un área de especialización. Podemos reconocer esto como una forma particular de educación interdisciplinaria. Dicha formación interdisciplinaria y politécnica de, por ejemplo, los ingenieros mecánicos implicaría enseñarles conocimientos básicos de ingeniería civil, ingeniería eléctrica, ingeniería química, etc. Esto correspondía a la demanda de ingenieros menos especializados y ampliamente competentes, que dominaban en la mayoría de los países en el período moderno temprano. Las asignaturas de ciencias sociales y humanidades podrían formar parte de la amplia base de conocimientos, en cuyo caso estas formas de conocimiento se integraron en el marco híbrido creado en la línea de la estrategia de conocimiento politécnico. El resultado fue un tipo politécnico individualizado de interdisciplinario que era innatamente diferente del tipo de interdisciplinario caracterizado por especialistas que colaboran en equipos [Sorensen, 1996].

La ciencia, las matemáticas y las artes liberales se han utilizado para fortalecer el estatus social de los ingenieros, como se describió anteriormente. En la medida en que los sujetos de ciencias sociales fueron hechos parte de los planes de estudio de ingeniería, el razonamiento subyacente parece haber

divergido. Se creía que los ingenieros necesitaban saber algo sobre la gestión y los negocios. Por lo tanto, en muchas, si no la mayoría de las instituciones de educación de ingeniería, se impartieron temas como la economía, el derecho y la administración de empresas. Sin embargo, estos campos de estudio fueron vistos como periféricos a pesar de que muchos, si no la mayoría, los ingenieros tendían a embarcarse en carreras de gestión, al menos hasta finales de la década de 1970 [Sorensen, 1998]. Un estudio reciente sobre los cambios en la ideología educativa con respecto a la formación de ingenieros de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU, anteriormente el Instituto Noruego de Tecnología) que tuvo lugar entre 1910 y 2006, ofrece información sobre estas consideraciones subyacentes [Amdahl y Sorensen, 2008]. La educación superior de los ingenieros en Noruega fue inicialmente particularmente moldeada por la tradición alemana adherida en la Technische Hochschulen, pero después de 1945 fue los Estados Unidos los que se convirtió en inspiración. El material de origen —que contiene los discursos de matriculación de los Presidentes del Instituto y los informes de los comités que participan en la reforma curricular— indica claramente que hubo un diálogo continuo con las instituciones dedicadas a la educación de ingenieros en otros países. Por lo tanto, las observaciones formuladas en este estudio deberían tener una validez más general, incluso teniendo en cuenta que Noruega es un país pequeño con empresas industriales bastante pequeñas. Esto explica sin duda por qué el ideal politécnico fue probablemente dominante aquí durante más tiempo que en la mayoría de las otras economías avanzadas. Las grandes empresas hacen un mejor uso de ingenieros especializados que las pequeñas empresas. Sin embargo, en Noruega al igual que en la mayoría de los otros países, el ideal politécnico está en declive. La perspectiva tradicional de la especialización entre los responsables de educar a los ingenieros en Noruega fue bien descrita por el presidente del Instituto, Olav Heggstad, en su discurso de matriculación de 1932: Aquí, ustedes [los estudiantes de ingeniería] no serán educados como especialistas, pero recibirán una educación integral en un campo profesional más amplio. Durante un tiempo, hubo un fuerte estado de ánimo para la especialización en los institutos de tecnología. Pero esta idea se ha apartado cada vez más entre otras cosas porque, una vez finalizada la educación, no es seguro que los ingenieros de posgrado encuentren empleo en su campo de especialización [Amdahl y Sorensen 2008, p. 55]. Los presidentes posteriores y los exámenes curriculares hicieron hincapié en que la industria noruega consistía en gran medida en pequeñas empresas que necesitaban ingenieros con amplias áreas de competencia —politécnicas como se definió anteriormente— en lugar de especializadas. No fue hasta la década de 1970 que la importancia

del conocimiento especializado entre los ingenieros fue plenamente reconocida. La noción del ingeniero como un tipo general de practicante era una indicación de que la interdisciplinaria politécnica basada individualmente era el modo dominante de la educación. Si las humanidades o las ciencias sociales se integraran en la práctica de ingeniería, esto tendría que implicar agregar tales temas al plan de estudios de ingeniería. En el Instituto Noruego de Tecnología había algunos temas de ciencias sociales en el plan de estudios cuando el Instituto se estableció en 1910, pero el alcance era modesto y el enfoque principal se centró en ciertos aspectos de la economía y un poco de derecho. Durante mucho tiempo, los presidentes del Instituto mencionaron la necesidad de más temas de este tipo en sus discursos de matriculación. Por lo general, llegaban a la conclusión —ocasionalmente con remordimiento— de que tales necesidades no podían ser atendidas. La necesidad de temas relacionados con las ciencias sociales no se consideró lo suficientemente grande como para merecer un espacio curricular. Obviamente, los distintos presidentes presentaron sus consideraciones de diferentes maneras. En primer lugar, hubo un conjunto de respuestas que descartaban la necesidad de más ciencias sociales en el currículo de ingeniería y enfatizaban que la tecnología representaba un elemento cultural prominente en sí misma. El presidente Alfred Getz formuló el tema de vista en su discurso de matriculación de 1916: Y sin embargo, la tecnología es realmente un medio de educación. Es puro e ideal. Al igual que el artista, el poder creativo de la realización de los ingenieros reside en la visión interior y, como el artista; el ingeniero también tiene que lidiar con la tela con el fin de cumplir con la realidad espiritualmente prevista. Desde esta perspectiva, los ingenieros podían fácilmente hacer frente por su cuenta sin la contribución profesional de las ciencias sociales. Su propia capacidad cultural sería suficiente para responder a la necesidad de comprender las cuestiones y preocupaciones sociales. Ideas similares han resurgido de vez en cuando como contraargumentos a las acusaciones de que los ingenieros son duplas culturales de mente estrecha (véase, por ejemplo, [Florman, 1976]).

En segundo lugar, muchos presidentes enfatizaron que más adelante en sus carreras, a menudo como gerentes, los ingenieros necesitarían habilidades adicionales como un conocimiento de idiomas extranjeros, psicología, teoría de organizaciones, etc. Por lo tanto, los estudiantes deben procurar adquirir tales habilidades, pero, por desgracia, tendrían que hacerlo en su tiempo libre. No había lugar para tal ampliación del plan de estudios de ingeniería. Esto también era indicativo del bajo estatus percibido de las ciencias sociales. Un tercer

conjunto de preocupaciones relacionadas con el impacto de la ingeniería en la sociedad y con las responsabilidades sociales de los ingenieros. Estas cuestiones se expresaban de vez en cuando a partir de 1910, pero la súplica se volvió más persistente después de 1970, claramente en respuesta al discurso que veía la tecnología como una amenaza social y ambiental potencial. En su discurso de matriculación de 1991, el presidente Karsten Jacobsen llegó a argumentar que el futuro de la ingeniería estaría moldeado por la tensión entre la tecnología y las preocupaciones humanas: Ya no es suficiente conocer la propia disciplina; el tecnólogo del futuro tiene que entrar en el campo de juego con una base de valor y perspectiva sin un valor más diferente y general que antes, con una capacidad, voluntad y capacitación para enfrentar las consecuencias de esto en la práctica — para ver las acciones desde una visión más amplia — lo que podríamos llamar una perspectiva holística: tecnológica-ecológica-humana-estética-económica. [Amdahl y Sorensen, 2008, p. 61] Sin embargo, en este momento, la especialización se había convertido en el tema dominante subyacente a la educación de los ingenieros. En realidad no se creía que los estudiantes de ingeniería noruegos deberían recibir una formación mucho más amplia e integral en las ciencias sociales y las humanidades para poder actuar sobre los desafíos descritos por Jacobsen. En lugar de pedir nuevos tipos de conocimiento, Jacobsen y de hecho presidentes posteriores, hablaron sobre el tema en términos de colaboración interdisciplinaria. Los estudiantes necesitaban una reforma educativa, pero esta reforma tenía que centrarse en inculcar nuevas virtudes en lugar de adquirir nuevos conocimientos. Las nuevas virtudes exigían, por supuesto, una perspectiva más amplia de la ingeniería y una mayor sensibilidad a los impactos sociales y ambientales del trabajo de los ingenieros. Sin embargo, aún más prominente en los discursos de los presidentes era el ideal de que los estudiantes de ingeniería se animaran a ser calificados y dispuestos a participar en actividades interdisciplinarias que también involucraran a graduados de las humanidades y las ciencias, y viceversa. Como lo propuso el Presidente Eivind Hiis- Hauge en su discurso de matriculación de 2004: Ninguna persona es capaz, con suficiente profundidad, de ser interdisciplinaria sola: es la capacidad de actuar constructivamente y de comprometerse a trabajar junto con otros en equipos que da resultados. Fue un llamamiento para que los estudiantes de todos los ámbitos académicos estuvieran preparados para la colaboración interdisciplinaria. Si volvemos a los dos modos de apropiación de la ciencia social en ingeniería propuestos en la introducción, podemos ver que ambos se enfatizan en la cita anterior. Durante mucho tiempo, los discursos de los presidentes junto con todas las revisiones curriculares expresaron la opinión de

que los ingenieros deberían ser capaces de hacer frente a un amplio espectro de desafíos, incluyendo ciertas preocupaciones de ciencias sociales por su cuenta. De este modo, estaban haciendo hincapié en lo que he llamado el modo de apropiación basado en la profesión. Los aportes en ciencias sociales fueron vistos como potencialmente importantes por algunos, pero finalmente se le dio poco espacio curricular y se asimiló en la amplia educación politécnica del ingeniero individual. El cambio a un tipo más colectivo y heterogéneo de interdisciplinario observado en la última década ha acentuado el modo trans disciplinario de apropiación de las ciencias sociales. Al final, puede allanar el camino para un mayor número de científicos sociales que trabajan junto con los ingenieros —y por lo tanto para las ciencias sociales en una forma distinta y visible— en el marco del desarrollo tecnológico. La pregunta crítica es, por supuesto, si esta última alternativa se ha realizado? ¿Qué modos de apropiación son más importantes para la educación en ingeniería y el desarrollo profesional de los ingenieros?

La Junta de Acreditación para ingeniería y tecnología (ABET, por sus vistas al mismo tiempo en Estados Unidos) es importante cuando se trata del establecimiento mundial de estándares para la educación en ingeniería. Sus listas de criterios hacen hincapié en el trabajo en equipo —con o sin el prefijo "multidisciplinar" — las ciencias sociales, aunque tienden a ser referidas de una manera indirecta e imprecisa, como en la mención de la necesidad de que los estudiantes adquieran "una perspectiva más amplia" y comprensión de las limitaciones sociales, económicas y políticas en el trabajo de ingeniería, junto con una conciencia de la importancia de las responsabilidades sociales.¹ Tanto las ciencias sociales como las humanidades se ven principalmente para aportar información sobre lo ético, aspectos jurídicos y sociales de la ingeniería — todas las preocupaciones llamadas ELSA también están presentes en la situación noruega. Por lo tanto, los criterios ABET invitan a ambos modos de apropiación de las ciencias sociales sin poner gran énfasis en ninguno de los dos modos. Los debates recientes sobre la educación en ingeniería incluyen contribuciones que argumentan a favor de la importancia de la apropiación basada en la profesión. Por ejemplo, Vesilind [2001] afirma que la visión tradicional del ingeniero enciclopédico debe mantenerse pero cambiarse: la ingeniería no sólo debe verse como "ciencia natural aplicada", sino también como "ciencia social aplicada". Las facetas de este punto de vista parecen bastante extendidas en la literatura internacional sobre las habilidades que son esenciales para la práctica de ingenieros e ideas sobre cómo se podría cambiar la educación en ingeniería.

[2006] sugieren, por ejemplo, la necesidad de que los ingenieros sean más comunicativos. Nguyen [1998] lobbies para habilidades de comunicación en combinación con muchas otras competencias relacionadas con las diversas demandas empresariales. [2005] y Robinson [2005] enfatizan que los ingenieros necesitan poseer un conjunto más amplio de habilidades no técnicas. En línea con esto, Jones [2003] argumenta que la imagen del ingeniero renacentista podría ser en realidad un objetivo apropiado de reforma educativa; pero la cuestión principal es esta: ¿cuáles deberían ser los componentes del conocimiento enciclopédico adecuado? Por otro lado, Russell y Stouffer [2005] muestran cómo la educación en ingeniería civil de pregrado de los Estados Unidos está abrumadoramente dominada por temas técnicos, con pocos indicios de que se están produciendo cambios profundos. Esto respalda la impresión dada por la lista ABET de criterios para la acreditación de dichos programadores. La Academia Nacional de Ingeniería de los Estados Unidos ha llevado a cabo extensas revisiones sobre la situación de los ingenieros en 2020. Estas discusiones sólo se refieren vagamente al papel potencial de las ciencias sociales con respecto a la educación y el trabajo de ingeniería. La interdisciplinaria se señala como importante y se afirma que las habilidades sociales son importantes, lo que significa que ambos modos de apropiación del conocimiento de las ciencias sociales están inherentemente presentes. Sin embargo, la impresión primordial que sintiendo los informes es la suposición de que la profesión de ingeniería seguirá siendo en gran medida autosuficiente, lo que demuestra que el modo de apropiación basado en la profesión se da prioridad [Academia Nacional de Ingeniería, 2004; 2005].

Williams [2002; 2003] proporciona una perspectiva diferente. Ella argumenta que durante las últimas décadas, el antiguo estrecho vínculo entre la tecnología y la ingeniería se ha roto. La tecnología ya no es exclusivamente el dominio de los ingenieros; el compromiso con la tecnología ha superado con creces a cualquier profesión. La afirmación de Williams tiene implicaciones importantes, no sólo para los ingenieros, sino también para los científicos sociales que necesitan reflexionar mucho más sobre las implicaciones de este cambio en relación con sus propias prácticas. Probablemente ninguno de los dos grupos todavía comprende completamente a dónde llevará esto; puede que ni siquiera hayan descubierto el cambio en curso. Si Williams es correcto, el desarrollo futuro de la tecnología incluirá encuentros interdisciplinarios de muchos tipos, pero los desarrollos actuales, como se enumera anteriormente, no son prometedores a este respecto. La educación de los ingenieros y de los

científicos sociales parece estar bien arraigada en la percepción establecida de que los aspectos técnicos y sociales de la sociedad moderna son mundos separados. Williams identifica como un serio desafío lo que ella percibe como la forma en que la profesión de ingeniería se está desarrollando actualmente a lo largo de dos líneas principales. Un campamento se ocupa de hacer ingeniería real diseñando y construyendo cosas útiles que realmente funcionan. El otro campo, señala, aboga por un nuevo énfasis en los grandes sistemas tecnológicos y la gestión: tanto el movimiento de diseño como el movimiento de ingeniería de sistemas buscan recuperar una identidad distintiva para la ingeniería: proclamar que aquí hay algo que los ingenieros hacen que los científicos y los hombres de negocios no lo hacen. Al final, sin embargo, los esfuerzos de recuperación sólo subrayan la pérdida de identidad de la ingeniería. Tanto en el diseño como en el trabajo de los sistemas, muchas personas que no sean ingenieros están en el acto. En el diseño de hoy en día, la ingeniería, la programación, la ciencia, el lenguaje y el arte convergen. Al tratar con los sistemas tecnológicos, es aún más obvio que los ingenieros tienen que colaborar con politólogos, economistas, abogados y gerentes [Williams, 2003. p. B12]. Por un lado, parece que Williams tiene razón al señalar que la tecnología moderna tardía está adoptando un cuerpo cada vez más amplio de disciplinas y profesiones. En consecuencia, la ingeniería se dedicará cada vez más a una amplia colaboración trans disciplinaria, también con los científicos sociales y, para el caso, también con los académicos de humanidades. Los ingenieros parecen esforzarse considerablemente en preservar los límites de su profesión y su influencia profesional, por ejemplo dando prioridad a la profesión y no a la apropiación trans disciplinaria de las ciencias sociales. ¿Cómo puede lograrse esa priorización de la apropiación basada en la profesión y cuántas configuran la ingesta de conocimientos y habilidades en ciencias sociales?

3 ¿HACER QUE LA CIENCIA SOCIAL SEA PROPIA? EL EJEMPLO DEL DISEÑO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

El área de la computación, en particular los sub-campos que implican el diseño de sistemas de información, puede proporcionar una visión interesante de la forma en que el conocimiento de las ciencias sociales puede ser apropiado en ingeniería. Para empezar, debemos tener en cuenta que la computación, en particular con respecto a áreas como el diseño de sistemas de información, el análisis de sistemas de información y la ingeniería de software, se basa en métodos, así como en los resultados de la investigación de las ciencias sociales. Se reconoce comúnmente que los profesionales en estas áreas necesitan poseer

conocimientos basados en más amplios. Los primeros ejemplos son Vitalari [1985] y White and Leifer [1986] quienes sostienen que la base de conocimientos del análisis de sistemas debe ser amplia y debe incluir una variedad de habilidades técnicas y no técnicas. Por tales razones, algunos argumentan que la ingeniería de software o sistemas de información no es realmente ingeniería en absoluto, sino algo muy diferente (véase, por ejemplo, [Davis, 1998, págs. 31-40]). Dada la diversidad existente dentro de la profesión de ingeniería poco definida, este trabajo de límites parece menos fructífero. Sin embargo, la ingeniería de software o sistemas de información probablemente lucha más explícitamente que la mayoría de los otros campos de la ingeniería con problemas similares a los que conciernen a los científicos sociales. En este sentido, los ingenieros que trabajan con software y sistemas de información probablemente encontrarán que están particularmente comprometidos en la apropiación de los conocimientos y habilidades adquiridas a partir de las ciencias sociales, lo que nos permite una mejor comprensión de los procesos y el contenido de dicha ingesta. Investigaciones recientes confirman los primeros argumentos en el sentido de que los ingenieros de software y sistemas de información necesitan habilidades amplias, tanto técnicas como no técnicas. [2004] Sostienen que la competencia distintiva de los expertos en sistemas de información radica

(1) en su experiencia de alinear los artefactos de TI con el contexto organizativo y social en el que se utilizará el artefacto en cuestión,

(2) para identificar y especificar las necesidades de las personas que se supone que deben utilizar el sistema,

(3) en la implementación de la organización y

(4) en la evaluación/evaluación de estos artefactos y cambios conexo.

Si bien el énfasis en muchos varía, tales observaciones de la necesidad de combinar habilidades técnicas y no técnicas parecen comunes [Goles et al., 2008; Lee, 2005; Litecky et al., 2004; Turley y Bieman, 1995]. De hecho, los requisitos se consideran bastante completos. Lee [2005, p. 90] resume esto sucintamente cuando comenta que las organizaciones "esperan que su analista de sistemas se convierta en atletas que juegan en todos los rincones del campo". Estas ideas también se utilizan para argumentar que se requiere una amplia educación si los especialistas en TI deben estar debidamente preparados para combinar desafíos técnicos y no técnicos en su práctica profesional [Brookshire

et al. 2007, Dahlbom y Mathiassen 1997]. Sin embargo, Brookshire y otros terminan proponiendo un plan de estudios bastante conservador que comprende cursos predominantemente técnicos. Dahlbom y Mathiassen, por otro lado, sugieren dar un paso mucho más radical. Argumentan que los estudiantes de computación deben desarrollar la capacidad de hacer preguntas serias sobre el impacto social de la computación y evaluar las respuestas propuestas a esas preguntas, y deben ser capaces de anticipar el impacto de introducir un producto determinado en un entorno determinado. [1997, p. 84] Lo que observamos en esta literatura es que hay una clara tendencia a querer promover la interdisciplinaria politécnica individualizada, que es similar a lo que observamos en la Sección 2. Incluso si estos autores presentan sus argumentos de diferentes maneras, su objetivo principal es que los profesionales de la informática deben ser autosuficientes en términos de las competencias necesarias para llevar a cabo el trabajo de TI. La ciencia social puede ser un recurso, pero debe presentarse como algo que está integrado en el diseño de sistemas o la ingeniería de software. En última instancia, el origen de las aportaciones en ciencias sociales no se deja claro a través de la insistencia en la apropiación basada en la profesión. Esto no es, por supuesto, un problema en sí mismo. Si es realmente alcanzable, la interdisciplinaria politécnica individualizada de este alcance global es extremadamente exigente y, por lo tanto, también arriesgada con respecto a la calidad del resultado.

Las áreas de investigación como la Interacción con la Computación Humana (HCI) y el Trabajo Colaborativo Con Apoyo informático (CSCW) son lugares de reunión definitivamente para científicos con diversos antecedentes disciplinarios, incluidas las ciencias sociales. La preocupación compartida por desarrollar sistemas informáticos más útiles también produce un interés compartido en las formas en que los seres humanos interactúan con las computadoras, qué estrategias evolucionan a partir de dicha interacción y cómo se pueden lograr mayores beneficios de las computadoras. En los primeros esfuerzos participativos de diseño de sistemas informáticos y la participación sindical, los científicos sociales colaboraron con científicos informáticos para organizar la participación y establecer métodos útiles para que los trabajadores articularan sus necesidades y solicitudes [Ehn, 1988]. Sin embargo, una contribución principal que los científicos sociales han hecho a HCI y CSCW ha sido subrayar las complejidades de las acciones humanas y los problemas profundamente arraigados que entraña predecir y estabilizar la interacción humana con las máquinas [Suchman, 1987; 2007]. Estas intervenciones críticas

parecen haberse observado, pero su apropiación real es menos clara, probablemente porque este tipo de ideas son difíciles de integrar en la metodología de ciencias de la computación que, en cierta medida, depende de alcanzar algún nivel de predicción y estabilidad. La literatura revisada sobre ingeniería de software y sistemas de información muestra la presencia de ambos modos de apropiación en el caso de las ciencias sociales. Sin embargo, es particularmente el debate sobre la formación de estos ingenieros y el énfasis puesto en una amplia base de conocimientos lo que también incluye fuertes componentes no técnicos que demuestran que incluso en este caso donde las preocupaciones por cuestiones sociales son tan prominentes, la apropiación basada en la profesión domina. Además, lo que se apropia de los científicos sociales es, por encima de todo, la metodología. Algunos ingenieros de software y sistemas de información parecen querer realizar su propio tipo de investigaciones de ciencias sociales, pero los enfoques convencionales para el diseño de sistemas informáticos parecen menos conscientes de que partes de su trabajo, por ejemplo, las prácticas de trabajo de modelado de clientes — tan bien podría ser interpretado como un trabajo para los científicos sociales. Cuando se pregunta a los profesionales sobre las competencias que necesitan para llevar a cabo su trabajo, tienden a enfatizar habilidades como la comunicación y la comprensión de las necesidades de las personas. Cuando se les pregunta cómo pueden adquirir tales habilidades, tienden a señalar su experiencia, no a ninguna forma de aporte de ciencias sociales [Sorensen et al., 2007]. La complejidad potencial del diseño del sistema de información necesario para facilitar la toma de decisiones y el acceso a los conocimientos necesarios para tomar las decisiones adecuadas es considerable. A largo plazo, esto puede hacer que la apropiación profesional de las ciencias sociales sea inadecuada. Sin embargo, los desafíos que entraña el establecimiento de buenas prácticas basadas en la apropiación trans disciplinaria pueden ser sustanciales, sobre todo debido a la colaboración profesional bastante estrecha necesaria para lograr formas precisas de integración de conocimientos. Como demuestran Lagesen y Sorensen [2008], es común suponer que las prácticas de comunicación pueden separarse de las prácticas relacionadas con la informática, como la programación, haciendo de la primera una tarea para los científicos sociales y la segunda un trabajo para especialistas en software. Sin embargo, Lagesen y Sorensen encontraron que la afirmación hecha por especialistas en software en el sentido de que el conocimiento de las computadoras y la programación es necesario para comunicarse correctamente con los clientes o usuarios de productos era convincente. Para que los científicos sociales formen parte de un proceso de este

tipo, ellos, como los especialistas en software, tendrán que participar en la apropiación recíproca basada en la profesión. Por lo tanto, la cuestión no es quizás tanto la de sustituir una estrategia de apropiación por otra como la de combinarlas. Sin embargo, en la actualidad, no cabe duda de que la asunción de la empresa predomina gracias a la posición prevaleciente de la interpretación de los conocimientos politécnicos individualizados. ¿Esta situación es más generalmente característica de los ingenieros? Nuestro análisis de la educación en ingeniería apunta en esa dirección, pero ¿qué se puede observar de los ingenieros que trabajan para desarrollar la tecnología?

4 LO QUE LOS ESTUDIOS SOCIALES DE LOS INGENIEROS Y EL DISEÑO NOS DICEN SOBRE LA RELACIÓN CON LAS CIENCIAS SOCIALES

Probablemente los estudios más completos de ingenieros y trabajos de ingeniería son los que han surgido de la historia y la sociología de las profesiones. Un hallazgo principal fue que el comportamiento profesional de los ingenieros se caracteriza por una menor autonomía y un mayor grado de cultura colectivista que el que se aplica, por ejemplo, a los médicos o abogados [Gerstl y Hutton, 1966; Perruci y Gerstl, 1969; Ritti, 1971; Hutton y Lawrence, 1981; Zussman, 1985; Whalley1986]. Aun así, los ingenieros tienen una considerable autonomía como «trabajadores de confianza» [Whalley, 1986], aunque trabajen bajo control gerencial, en particular con respecto a los recursos y plazos [Meiksins y Watson, 1989]. Según estos estudios, los ingenieros se dedican principalmente a una diversidad de trabajos técnicos y no técnicos, a menos que se trasladen a la administración, que solía ser un movimiento de carrera común [Sorensen, 1998]. Dado que el enfoque de estos estudios es el comportamiento profesional, hay poca discusión sustantiva del contenido real de los conocimientos de ingeniería y, por lo tanto, de los modos de apropiación de, por ejemplo, las ciencias sociales. Esto incluso se aplica a la mayoría de los estudios etnográficos sobre trabajos de ingeniería (ver [Bucciarelli, 1994; Downey, 1998; Forsythe, 2001; Vinck, 2003]). Vincenti [1990], cuya principal preocupación es el conocimiento de la ingeniería, tampoco proporciona información sobre estos procesos de apropiación (véase también [Downey y Lucena, 1995]). Como ya se ha mencionado, la gestión, la administración de empresas y la economía son intereses profesionales de los ingenieros de larga data. Algunos de estos conocimientos son una parte estándar de los planes de estudio de ingeniería y muchos ingenieros se educan aún más en estos campos. Una combinación de conocimientos de ingeniería, habilidades informáticas y conocimientos sobre finanzas o gestión se ha convertido en la base de las carreras en consultoría

[Williams, 2002]. Sin embargo, esta trayectoria extiende sustancialmente la idea de lo que constituye ingeniería y más al punto, lo que normalmente se toma para constituir ciencia social. En lugar de ser un buen ejemplo de cómo las ciencias sociales afectan el trabajo de los ingenieros, apunta al desarrollo de un conjunto de prácticas centradas en la construcción de modelos matemáticos o informáticos en los que la tecnología y los problemas sociales tienden a estar representados sólo de una manera muy abstracta y sobre simplificada. A los efectos de este capítulo, el diseño sigue siendo un tema más interesante y en el que se podría esperar que las ciencias sociales sean un recurso potencialmente útil. En la sección anterior, observamos cómo algunas de esas influencias podrían rastrearse en el diseño del sistema de información. Sin embargo, también vimos que esta influencia era en gran medida atribuible a la apropiación de conocimientos y métodos científicos sociales por parte de los científicos informáticos. Esto plantea preguntas interesantes sobre la naturaleza de estos procesos de apropiación en el diseño de ingeniería, así como sobre el tipo de conocimiento que los diseñadores desean.

Es tentador afirmar que los científicos sociales podrían presentar ingenieros con criterios de diseño claramente definidos relacionados con las necesidades de los usuarios, las condiciones culturales de domesticación de nuevos productos, etc. Para contrarrestar tales ideas, Williams y otros [2005, p. 102] nos advierten sobre lo que llaman la falacia del diseño, "la presunción de que la solución principal para satisfacer las necesidades de los usuarios es construir un conocimiento cada vez más amplio sobre el contexto específico y los propósitos de un número y variedad creciente de usuarios en el diseño de tecnología". Basan esta advertencia en los problemas encontrados con el pensamiento lineal, tal como se describe en la Sección 2 de este capítulo. Aún así, los diseñadores tienden a basar sus nociones en ciertas ideas sobre el uso futuro y los usuarios [Akrich, 1992]. ¿De dónde vienen esas ideas? Hay muchas fuentes que pueden proporcionar a los diseñadores información sobre los usuarios y ideas sobre cómo se pueden dar forma a los productos [Walsh et al., 1992; Williams et al., 2005]. Podría decirse que los científicos sociales son expertos en analizar el uso y los usuarios que podrían producir información que sería propicia para el desarrollo de nuevos productos. Cada vez más, las empresas utilizan la investigación de mercado para informar sus esfuerzos con respecto al diseño y la innovación. Sin embargo, esta investigación parece utilizarse sobre todo para identificar grupos potenciales de usuarios/clientes, por ejemplo, según el género, la edad, etc., lo que significa que su impacto en el trabajo de los

ingenieros tiende a ser un punto de partida en términos de diseño y no en términos de informar esfuerzos concretos de resolución de problemas [Cockburn y Ormrod, 1993; Chabaud-Rychter, 1994]. Los ingenieros tienen que utilizar otros recursos para interpretar lo que se necesita para diseñar tecnología que pueda considerarse apropiada para grupos específicos de usuarios, como electrodomésticos de cocina para mujeres o hornos microondas para hombres jóvenes. Si bien hay maneras de traducir los requisitos del usuario en especificaciones de diseño (ver la contribución de De Vries anteriormente), estos métodos tienden a ser vagos a la hora de definir lo que los usuarios quieren. El recurso más común utilizado para interpretar los requisitos de los usuarios no es la ciencia social, sino la experiencia personal, el conocimiento y el gusto de los ingenieros de diseño. Por ejemplo, con frecuencia se observa que los ingenieros involucrados en el diseño modelan implícitamente al usuario previsto después de sí mismos o que invocan estereotipos [Berg, 1994; Oudshoorn et al., 2004; Williams et al., 2005]. Los ensayos de usabilidad se pueden emplear para probar cómo un diseño determinado se ajusta a las necesidades y gustos del usuario, pero la mayoría de las tecnologías se desarrollan sin tales pruebas. Además, las pruebas de usabilidad son generalmente realizadas por ingenieros. Podría decirse que el estudio de los usuarios podría equivaler a un área de interacción entre las ciencias sociales y el conocimiento de la ingeniería. Los experimentos en diseño participativo han demostrado el potencial de proporcionar mejores sistemas informáticos [Ehn, 1988], pero tales enfoques son costosos y los resultados no han sido convincentes. Un inconveniente líder es la percepción generalizada entre los diseñadores de que los usuarios son conservadores, la implicación es que la participación debe limitarse a la configuración del usuario: la interfaz tecnológica, mientras que las decisiones sobre la elección de la tecnología y las nuevas prácticas emergentes se consideran la prerrogativa de los diseñadores [Hatling y Sorensen, 1998]. [2005] identifican una serie de otras dificultades, por ejemplo, el hecho de que los grupos de usuarios pueden cambiar durante el ciclo de vida de un producto. Un desafío importante es la inestabilidad inherente de las necesidades y los gustos, lo que los usuarios quieren, puede cambiar a medida que se desarrolla la tecnología en cuestión. Por lo tanto, puede parecer más tentador emplear una especie de enfoque de prueba y error que llevar a cabo un estudio exhaustivo de los usuarios como columna vertebral del diseño. A su vez, esto puede hacer que sea menos interesante para los ingenieros colaborar con los científicos sociales, en parte porque no pueden proporcionar las respuestas bien definidas que los ingenieros están buscando y en parte porque los experimentos con usuarios

potenciales que podrían llevarse a cabo para obtener alguna información relevante sobre el proceso de diseño parecen ser demasiado caros. La prueba y el error pueden ser más baratos, al menos si se pueden organizar a pequeña escala.

Es evidente que hay enormes atributos y desafíos a traducir los conocimientos, ya existentes o especialmente producidos — obtenidos de las ciencias sociales en criterios, formas y funciones de diseño. ¿Qué significa realmente el hecho de que un artefacto es fácil de usar, que un sistema es eficiente o que una máquina es flexible? El desafío está bien ilustrado por Cockburn y Ormrod [1993]: ¿cómo se puede hacer atractivo un horno microondas para los hombres jóvenes? Por ejemplo, ¿por qué se supone, al igual que la empresa, que el color marrón es más "auténtico de género" para los hombres jóvenes que el color blanco? Estos desafíos podrían considerarse las tareas apropiadas de los equipos interdisciplinarios, combinando las habilidades y competencias necesarias para cumplir con la resolución de problemas pertinentes. Sin embargo, estas prácticas interdisciplinarias que combinan las ciencias sociales y de ingeniería [Sorensen et al., 2008] no están muy extendidas. En cambio, como se observó con los diseñadores de sistemas informáticos en la sección anterior, los ingenieros parecen preferir un modo de operación profesional que les permite optar de forma independiente a la información y el conocimiento sobre aspectos sociales y culturales principalmente por y sólo ocasionalmente ahondando en material relacionado con las ciencias sociales. Por ejemplo, es evidente que libros como los escritos por Suchman [1987; 2007] o Norman [1988] están siendo discutidos en varias comunidades de diseño. Probablemente esto ha sido el resultado más de que los ingenieros se adhieren a una apropiación basada en la profesión del trabajo en lugar de a ellos participar en la colaboración interdisciplinaria para combinar ideas. ¿Eso es un problema? Los científicos sociales podrían estar inclinados a pensar lo mismo, pero si tratamos de favorecer una interpretación sobre la otra nos encontraremos con dificultades. En primer lugar, a menudo hay disidencia entre los propios científicos sociales acerca de cómo debe interpretarse la investigación científica social. En segundo lugar, y lo que es más importante, lo que realmente está en juego aquí es: la corrección de la interpretación o la calidad del diseño resultante? ¿En qué premisas basamos nuestras decisiones, las de los científicos sociales o las de los ingenieros? ¿Importa si los científicos sociales afirman que los ingenieros han hecho una interpretación incorrecta? Desde el punto de vista de los ingenieros, y probablemente de la mayoría de las personas, lo que está en

el corazón del asunto es la calidad del diseño resultante. Para demostrar que la interpretación de un científico social es "mejor" que la de un ingeniero, necesitamos demostrar que una mejor interpretación conduce a un mejor diseño. O, para decirlo de manera más general, que la apropiación trans disciplinaria es un modo más fructífero que el modo profesional. No hay ninguna investigación disponible para ayudarnos a resolver este punto, por lo que en cierto sentido los científicos sociales se quedan para demostrar su propio valor. ¿Quizás esa prueba es más fácil en ámbitos como la economía y la contabilidad? Las limitaciones financieras y los motivos económicos subyacen definitivamente al diseño tecnológico, pero no es fácil traducir inequívocamente la tecnología en potencial económico. En cierta medida, se pueden predecir los costos y se ha realizado mucha investigación en la gestión de proyectos, control de costes, etc. dentro y fuera del campo de la ingeniería, pero este aspecto del desarrollo tecnológico también implica un riesgo considerable como lo demuestran los gastos excesivos frecuentes en muchos proyectos. Según Thomas [1994], hacer cálculos de costos que la administración percibe como realistas es un requisito previo para iniciar proyectos sobre el diseño de tecnología nueva o mejorada. Sin embargo, si estos cálculos resultan correctos o no es un asunto diferente; a menudo no lo hacen, pero para entonces los ingenieros que iniciaron el proyecto, tienden a haber pasado a otros proyectos. Thomas concluye, por lo tanto, que la creación de nuevos proyectos es más fundamentalmente un asunto político retórico, exigiendo habilidades para proporcionar los argumentos correctos y hacer cálculos económicos convincentes, en lugar de algo moldeado por lo que podría denominarse la aplicación estricta del conocimiento económico. Si bien no está bien descrito en la literatura revisada en este capítulo, no hay duda de que muchas empresas y laboratorios ponen un esfuerzo considerable para lograr el control de costos en lo que respecta a los proyectos tecnológicos. Hay muchos métodos y herramientas diferentes disponibles para apoyar tales esfuerzos. La mayoría de los ingenieros están sin duda preocupados por cuestiones económicas, pero en última instancia prefieren una versión apropiada basada en la profesión, una economía de ingeniería, a las habilidades y conocimientos representados por economistas y MBAs. En las historias de ingeniería, los economistas y los MBAs son alborotadores en lugar de partes útiles. Por lo tanto, la influencia real en el diseño tecnológico y en el trabajo de ingeniería de la economía profesional puede no ser tan fuerte. Los costos son importantes, los economistas no lo son.

Cuando muchos ingenieros perciben que los economistas y los MBA son demasiado conservadores y están demasiado orientados al control, esto probablemente refleja las diferentes percepciones de la dinámica económica del desarrollo tecnológico. En su estudio sobre el desarrollo de turbinas eólicas en Noruega, Solli [2007] muestra cómo los economistas evaluaron las perspectivas económicas de la energía eólica sobre la base de la idea de que los costos de producción eran conocidos y serían similares a los costos medidos en un momento dado. Por lo tanto, el consejo de los economistas era decir no a los proyectos de energía eólica. Los ingenieros involucrados en esta tecnología favorecieron un enfoque más dinámico, argumentando a partir de los llamados efectos de la curva de aprendizaje que se produciría una caída considerable en los costos de producción porque la experiencia de ingeniería acumulada llevaría a instalaciones. El hecho de que haya habido una gran caída en el costo de producción de energía sugeriría que, al menos en este caso, los ingenieros tenían una mejor comprensión de la dinámica económica que los economistas. Sin embargo, el asunto es más complicado que eso, dadas las restricciones de los recursos económicos nacionales disponibles. El caso demuestra que también con respecto a la economía, los ingenieros prefieren la apropiación basada en la profesión, donde algunos argumentos van a su favor, pero no necesariamente ganan el día. Para una evaluación exhaustiva de la decisión inicial de no apoyar la tecnología de la energía eólica, probablemente necesitaríamos el tipo de apropiación disciplinaria trans que resulta de los ingenieros y economistas que debaten juntos sobre el tema y apreciando los argumentos, aunque tal vez también tome en cuenta otros cuerpos de conocimiento.

5 CONFIGURACIÓN SOCIAL FRENTE A LA CIENCIA SOCIAL PARA FORMAR EN TECNOLOGIA

La tecnología es siempre un logro social, una representación material o mental de la actividad humana. En principio, esto hace que el desarrollo de la tecnología sea tanto un desafío para las ciencias sociales como para la ingeniería. En todo caso, la investigación en ciencias sociales constituye un esfuerzo para proporcionar representaciones de las actividades humanas. Sin embargo, no hay garantía de que tales representaciones sean útiles o sean utilizadas por los ingenieros cuando se dedican al diseño y al desarrollo tecnológico. Como hemos visto en este capítulo, es más bien el caso de que la relación entre las ciencias sociales y la ingeniería es problemática y poco clara. La mayoría de los estudios de trabajo de ingeniería revelan poco acerca de cómo los ingenieros se apropian y utilizan las ciencias sociales. Los ingenieros probablemente no están muy

preocupados por esto porque el uso de tales conocimientos es normalmente implícito y mediado. La ciencia social es más comúnmente apropiada de una manera basada en la profesión, proporcionando autosuficiencia profesional y dando como resultado lo que he llamado individualizado, interdisciplinario politécnico. El reconocimiento de que la tecnología tiene forma social plantea preguntas interesantes sobre cómo se representan y median las dimensiones sociales en los procesos de ingeniería y diseño. A partir de las cuentas encontradas en los estudios de tecnología e ingeniería, parece claro que la forma dominante de tal mediación está en la experiencia, conocimiento, perspectiva, etc. de los ingenieros involucrados. En cierto sentido, es el organismo de ingeniería que es el principal instrumento de observación, aprendizaje y mediación de aspectos sociales relevantes para el trabajo de ingeniería. Las ciencias sociales tienen un papel tenue y mucho menos visible que es difícil de evaluar. Algunas de las características que producen esta situación algo paradójica ya han sido revisadas. En primer lugar, cabe señalar que la mayoría de los ingenieros muestran bastante poco interés en las ciencias sociales, con la excepción de las áreas de gestión y economía que se perciben como tipos de conocimiento que mejoran la carrera. En comparación con las ciencias naturales, con las que los ingenieros se involucran fuertemente, las ciencias sociales tienen menos prestigio y, probablemente, son más difíciles de traducir en criterios de diseño útiles. En segundo lugar, hoy en día, los ingenieros y científicos naturales tienden a dominar profesionalmente el desarrollo de la tecnología. Como consecuencia, los ingenieros (y probablemente también los científicos naturales) tienden a preferir acatar su propia apropiación profesional de las ciencias sociales, incluida la economía, en lugar de participar en la colaboración interdisciplinaria con Científicos. Como se señaló anteriormente, este proceso de apropiación parece ser en gran medida sobre la acumulación de experiencia, a menudo de interactuar con clientes y comunidades de usuarios durante un período de tiempo bastante largo [Sorensen et al., 2007]. Presumiblemente, también hay una especie de "efecto ciudadano" en el sentido de que algunos conocimientos de ciencias sociales se filtran por medios de comunicación y fuentes similares, pero este fenómeno también es difícil de acceder y evaluar de manera empírica. En tercer lugar, como se ha sugerido varias veces a lo largo del capítulo, las ciencias sociales no han establecido particularmente que sean relevantes y útiles para los ingenieros. Enseñar ciencias sociales a estudiantes de ingeniería nunca tuvo mucho estatus; además, esa enseñanza ha tendido a centrarse en preocupaciones éticas y otras cuestiones sociales relacionadas con los posibles efectos negativos de las nuevas tecnologías. De esta manera, la

participación de las ciencias sociales con la tecnología y los ingenieros ha sido doblemente marginada. Se ha mantenido fuera de las principales preocupaciones de las ciencias sociales mientras que posee una especie de papel policial que no es particularmente apreciado por la mayoría de los ingenieros. Sin embargo, también debe reconocerse que grupos de científicos sociales han realizado esfuerzos sustanciales para participar activamente en la colaboración con los ingenieros y producir conocimientos potencialmente relevantes sobre muchos aspectos de la tecnología. Sin embargo, sigue siendo un problema que haya poca o ninguna investigación empírica que realmente examine tales esfuerzos e investigue el papel de la ciencia social con respecto a la ingeniería y el diseño y desarrollo de la tecnología en general. Incluso existe el peligro de que las interpretaciones hechas en este capítulo puedan subestimar o juzgar erróneamente la influencia de las ciencias sociales. En cierta medida, se trata de un problema metodológico atribuible a la posición dominante del modo de apropiación basado en la profesión en la promulgación del conocimiento de las ciencias sociales entre los ingenieros. Esta forma de apropiación tiende a reducir el impacto de las ciencias sociales.

Otro desafío es el argumento de que para los ingenieros (y probablemente también para los científicos sociales) la visión obtenida de las ciencias sociales puede parecer difícil de aplicar al diseño y desarrollo de nuevas tecnologías. Cuando los científicos sociales acentúan la complejidad y la inestabilidad de las culturas humanas, que es lo que tienden a hacer (y con razón), proporcionan explicaciones que los ingenieros no suelen encontrar útiles porque en sus actividades están más preocupados reducir la complejidad y construir estándares tecnológicos estables que instiguen el desarrollo y la resolución de problemas. Obviamente, hay desafíos y oportunidades detrás de encontrar mejores maneras de co-producir nuevas ciencias sociales y ciencias de ingeniería que pueden integrarse. Mi propia experiencia indica que hay un interés creciente entre los ingenieros por colaborar con los científicos sociales para encontrar maneras de manejar los desafíos que los ingenieros experimentan como problemáticos y fuera de su área profesional de especialización. Las nuevas tecnologías pueden ser rechazadas o pueden encontrar resistencia, mientras que sus efectos reales pueden ser muy diferentes de lo que se pretendía originalmente. Cuando los científicos sociales entran en dicha colaboración, probablemente descubrirán una serie de formas de interactuar con el conocimiento de la ingeniería. Algunos problemas, como las condiciones políticas o las opiniones públicas sobre las nuevas tecnologías,

pueden tratarse de manera bastante aislada, mientras que otros, como la necesidad de analizar los requisitos de los usuarios, pueden requerir formas de trabajo más integradas. No se deben subestimar las dificultades que entraña. Por ejemplo, la tendencia entre los ingenieros a encontrar hacer más importante que la reflexión y exigir una opinión constructiva en lugar de una oposición crítica, puede significar que los científicos sociales tienen que ajustar su modo de operación normal o viceversa. Para comunicarse y colaborar, uno necesita una idea del conocimiento de la otra parte para adquirir lo que Collins y Evans [2007] llaman experiencia de interacción — la capacidad de interactuar constructivamente con los expertos con los que se supone que debe Colaborar. Por lo tanto, puede resultar fructífera —al menos durante algún período— que los ingenieros persigan una apropiación profesional de las ciencias sociales pertinentes, mientras que los científicos sociales se concentran en una apropiación basada en la profesión de la ciencia de la ingeniería pertinente, lo que allana el camino para una apropiación trans disciplinaria productiva de ambos tipos de conocimiento.

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y RELACIÓN CIENCIA-TECNOLOGÍA

Hans Radder

1.- INTRODUCCION

En este capítulo, se analizan las principales cuestiones filosóficas relativas a la relación entre la ciencia y la tecnología. Como para la ciencia, la discusión está destinada a cubrir una variedad de disciplinas, incluso si los ejemplos muestran cierto énfasis en las ciencias naturales. En cuanto a la tecnología, en el presente capítulo esta noción se utilizará en un sentido amplio. Es decir, la tecnología se toma para abrazar las ciencias tecnológicas, mientras que las ciencias tecnológicas incluyen varias disciplinas, además de las ciencias de la ingeniería, como las ciencias de la información, las ciencias médicas y las ciencias agrícolas. Más ampliamente, hacer un vínculo tan directo entre la tecnología, y las ciencias tecnológicas tiene sentido en vista del hecho de que estas ciencias tienen como objetivo contribuir a la realización de tecnologías contemporáneas o futuras. En consecuencia, el capítulo incluye discusiones e ilustraciones de una amplia gama de actividades tecnológicas, como la investigación, el diseño, la producción, el uso y el mantenimiento. El tema principal de este capítulo es la relación entre la ciencia y la tecnología. Estas, ciencia y tecnología, han sido, todavía son y se puede esperar que permanezcan, difícilmente discutidos sus "relaciones". Más bien, las cuestiones importantes se refieren, en primer lugar, a las características empíricas de esta relación (incluido su desarrollo histórico) y, en segundo lugar, a su conceptualización teórica en relación con nuestra comprensión filosófica tanto de la ciencia como de la tecnología. Como se demostrará en este y los otros capítulos, estas dos preguntas pueden recibir respuestas muy diferentes. El diseño del capítulo es el siguiente. En la sección 2 se examinan algunas cuestiones metodológicas importantes, que naturalmente se presentan a un enfoque filosófico reflexivo. Dado que cualquier relato de la relación ciencia-tecnología presupone alguna caracterización de la ciencia y la tecnología, la cuestión es cómo adquirir una caracterización plausible. En cuanto a la relación entre ciencia y tecnología, nos enfrentamos a la cuestión metodológica relacionada de cómo estudiar esta relación. Las secciones que siguen luego, examinan varias opiniones importantes de la tecnología científica y su relación: la idea de la tecnología como ciencia aplicada (Sección 3); la concepción de la finalización tecnológica de la ciencia (Sección 4); la afirmación de que la experimentación constituye el vínculo central entre la ciencia y la tecnología (sección 5); y el relato de la ciencia como

tecnología (Sección 6). La sección 7 resume las principales conclusiones sobre la relación ciencia-tecnología y, en particular, sobre los usos de la ciencia en la tecnología. En general, sigo la práctica filosófica común de presentar una exposición y una evaluación crítica de las opiniones discutidas. Cuando proceda, se proporcionan referencias a otros capítulos, tanto en esta y en las demás partes.

2 PROBLEMAS METODOLÓGICOS PRELIMINARES

Un estudio filosófico reflexivo de la relación entre ciencia y tecnología debe enfrentarse a algunas cuestiones metodológicas preliminares. Dado que hacer afirmaciones sobre la naturaleza de esta relación presupone cierta caracterización de la ciencia y la tecnología en sí, existe la cuestión de cómo adquirir una especificación plausible de las nociones. A continuación, está la cuestión estrechamente relacionada de cómo investigar la propia relación ciencia-tecnología y cómo obtener un relato adecuado de la misma. La cuestión de cómo caracterizar la ciencia y la tecnología a menudo se aborda a través de una especificación de sus respectivos objetivos. Muchos autores afirman que el objetivo de la ciencia es epistémico, y en particular, la adquisición de conocimiento. El objetivo de la tecnología, en cambio, se dice que es la construcción de cosas o procesos con alguna función socialmente útil. Sin embargo, muchos otros autores, afirman que tal especificación conceptual-teórica de la ciencia y la tecnología no le hace justicia a la riqueza y variedad de las prácticas científicas y tecnológicas reales. A modo de alternativa, abogan por un enfoque nominalista-empírico: ir y ver, y definir la ciencia (respectivamente la tecnología) como la actividad práctica que se llama ciencia (respectivamente tecnología). Estos dos puntos de partida —ya sea una definición conceptual-teórica o un relato nominal-empírico de la ciencia y la tecnología— difieren en gran medida. Ambos conducen a varias preguntas más. Considere primero la visión de la ciencia como la búsqueda del conocimiento. Dado que tampoco hay conocimiento científico, algunos autores añaden que la ciencia es la actividad que sistemáticamente se esfuerza por obtener conocimientos teóricos y explicativos. Sin embargo, una aplicación estricta de esta definición excluiría muchas actividades que normalmente se ven, y con razón, son parte de la ciencia. Algunos científicos apuntan a los conocimientos observacionales o experimentales y el conocimiento científico también puede ser no explicativo, por ejemplo en el caso del conocimiento taxonómico. Una posible solución podría ser, distinguir entre objetivos primarios y subsidiarios. En consecuencia, la búsqueda de conocimientos teóricos y explicativos sería el objetivo principal

de la ciencia, mientras que otros tipos de conocimientos son siempre subsidiarios a este objetivo. Sin embargo, esta solución es bastante cuestionable. Por ejemplo, es difícil conciliar con los numerosos estudios que han demostrado convincentemente que la práctica experimental tiene una vida extensa y valiosa. Además, definir la ciencia como la búsqueda de conocimientos teóricos y explicativos presupone una interpretación filosófica específica de la ciencia, que no será generalmente aceptable. Así, Bas van Fraassen [1980] ve la explicación como un aspecto meramente pragmático de la ciencia y presenta la adecuación empírica de las teorías, en lugar de su verdad, como el objetivo de la ciencia. Patrick Heelan [1983] también enfatiza la primacía de la percepción, aunque su noción de percepción difiere significativamente del relato de van Fraassen. Claramente, para estos filósofos y sus seguidores una caracterización plausible de la ciencia, y a fortiori del contraste entre la ciencia y la tecnología, no puede basarse en la naturaleza explicativa de la ciencia teórica. ¿Qué pasa con la definición del objetivo de la tecnología como la construcción de cosas o procesos que tienen alguna función socialmente útil? Aunque esta definición parece ser intuitivamente plausible, dos cualificaciones están en orden. En primer lugar, muchos autores afirman que es demasiado estrecha porque la tecnología no se limita a la fabricación de cosas o procesos materiales útiles. La tecnología, como sugiere la etimología de este término, también implica la generación y utilización del conocimiento ([Layton, 1974]; véanse temas asociados a la epistemología de artefactos). Más específicamente, es el conocimiento del diseño que se afirma que tiene un lugar prominente en la tecnología. Además, en las ciencias de la ingeniería o de la tecnología, este conocimiento de diseño es a menudo de una naturaleza bastante general [Kroes, 2009].

En segundo lugar, esta definición de tecnología (con o sin la adición de conocimientos de diseño) no es de mucha ayuda para aclarar la relación ciencia-tecnología. Después de todo, diseñar y construir cosas o procesos materiales, incluida la generación y utilización de conocimientos de diseño, es un negocio común en las prácticas de la ciencia observacional y experimental. Tanto la observación general como la experimental y sus componentes, aparatos o instrumentos, a menudo requieren un amplio proceso de diseño y construcción (véase, por ejemplo, [Rothbart, 2007]). Estas prácticas observacionales y experimentales constituyen una parte importante de las disciplinas científicas. Por lo tanto, en contraste con lo que Layton [1974], Kroes [1992] y muchos otros afirman, el diseño (conocimiento) y la construcción no demarcan la tecnología y la ingeniería de la ciencia. ¿Qué concluir de esta discusión sobre el enfoque

conceptual-teórico? La única distinción intuitiva sostenible parece ser la relación con la utilidad social. A diferencia de la ciencia, la tecnología estaría orientada hacia una utilidad potencial para la sociedad en general. Sin embargo, incluso esta sugerencia debe ser calificada. En primer lugar, ¿debe esta utilidad social ser explícita e inmediatamente visible justo al inicio de un proyecto tecnológico? En este caso, es posible que algunas de las investigaciones realizadas en laboratorios industriales no califiquen como tecnológicas. Por ejemplo, la investigación realizada entre 1947 y 1972 en los laboratorios electrónicos de Philips no siempre apuntaba a aplicaciones tecnológicas inmediatas [De Vries, 2005]. Pero si se permite que surja la utilidad social en el curso de un proyecto, entonces bastantes proyectos en la investigación científica *prima facie* también contarán como tecnológicos. Después de todo, la investigación básica es a menudo apoyada por agencias de financiación debido a su contribución a la "base de conocimientos" de una sociedad, y por lo tanto esta investigación puede considerarse prácticamente útil a largo plazo (cf. [Tiles y Oberdiek, 1995, cap. 4]). Para ello, las aplicaciones actuales para proyectos de investigación básica deben justificarse rutinariamente también en términos de su posible beneficio tecnológico y social. Echemos ahora un vistazo más de cerca a la estrategia nominalista-empírica. Esto implica la investigación empírica de cualquier actividad que se presente como científica o tecnológica. Como se desprende de los comentarios anteriores sobre el enfoque conceptual-teórico, esta estrategia nominalista-empírica ciertamente tiene su lugar. En particular, constituye un antídoto saludable contra aquellos filósofos que simplemente proclaman un objetivo específico para la ciencia o la tecnología, sin más pruebas ni reflejos. Sin embargo, aunque esta estrategia puede parecer inicialmente sencilla, al inspeccionar más detenidamente parece tener sus problemas también. En primer lugar, cualquier identificación empírica de la ciencia o la tecnología requiere cierta pre-comprensión. Supongamos que visitamos un sitio llamado 'Instituto de Ciencias Biomédicas'. Entonces podemos concluir con seguridad que se trata de un sitio de actividad científica. Pero muchas actividades diferentes tienen lugar en este instituto: los baños se limpian, la junta directiva celebra reuniones, el servicio de catering ofrece almuerzos y los doctores escriben artículos. Cuando nos centramos en la escritura de artículos en el estudio de la ciencia, aparentemente aplicamos una cierta pre-comprensión de lo que cuenta como (las actividades principales de) la ciencia. Así, [Latour y Woolgar, 1979] caracterizan la ciencia de laboratorio a través de su producción de «inscripciones» (y no, por mencionar otra opción, a través de sus procedimientos de restauración). Más precisamente, se centran en un

subconjunto específico de las inscripciones producidas en el laboratorio y no tienen en cuenta otras inscripciones, como los recibos generados por los doctores a través de su almuerzo en la cantina de laboratorio. Por lo tanto, el enfoque nominalista-empírico presupone alguna interpretación conceptual-teórica de lo que constituye la ciencia y la tecnología, y la cuestión de si podemos hacer que esta pre-comprensión sea más explícita, o incluso definirla, todavía está con nosotros. Un segundo problema del enfoque nominalista-empírico es que los diferentes idiomas y culturas utilizan nombres diferentes para actividades que podrían ser bastante similares. Los anglosajones distinguen las ciencias y las humanidades, que en Alemania se llaman Wissenschaft. En siglos anteriores, la filosofía natural denotaba lo que ahora se llama ciencia física. Y hoy en día hablamos de informática y tecnología de la información como más o menos equivalente. Para ver si este tipo de actividades pueden ser esencialmente, básicamente o en gran medida similares, necesitamos una aclaración conceptual-teórica de esas actividades.

Mi conclusión de este debate preliminar es que necesitamos tanto el enfoque teórico como el empírico. Tenemos que partir desde una perspectiva interpretativa sobre lo que tomamos para ser aspectos básicos de la ciencia y la tecnología. A continuación, articulamos y probamos esta interpretación sobre la base del estudio empírico de las actividades así definidas. Y tratamos de determinar su alcance, examinando su posible aplicabilidad a la filosofía natural, las humanidades, la tecnología de la información y similares. Una vez que hayamos establecido una interpretación plausible de la ciencia y la tecnología, esta interpretación adquirirá cierta fuerza normativa. Las actividades que no se ajusten a la caracterización establecida de la ciencia o la tecnología no deben ser nombradas científicas o tecnológicas. Nos atenemos a una interpretación particular siempre y cuando nos permita cubrir (lo que consideramos) los casos y dimensiones interesantes e importantes tanto de la ciencia como de la tecnología. Por lo tanto, el enfoque teórico y empírico no debe separarse. Por un lado, un modelo conceptual plausible debe estar respaldado por estudios empíricos de la práctica de la ciencia y la tecnología. Por otro lado, una investigación empírica presupone una pre-comprensión interpretativa de la ciencia y la tecnología, y un modelo empírico apropiado de la relación ciencia-tecnología debe basarse en una pre-comprensión interpretativa plausible. En este capítulo, se hace hincapié en los relatos conceptual-teóricos de la relación entre ciencia y tecnología, pero también se prestará atención al apoyo empírico de esos relatos y me referiré a los estudios empíricos de esta relación. La

contribución de David Channell proporciona discusiones más detalladas de varios aspectos importantes de la relación empírica entre la ciencia y la tecnología.

3 TECNOLOGÍA COMO CIENCIA APLICADA

Una visión todavía actual de la relación entre ciencia y tecnología se expresa mediante la fórmula «la tecnología es ciencia aplicada». Mario Bunge ha presentado un relato clásico de esta vista. Hace la siguiente distinción entre la tecnología como ciencia aplicada y la ciencia pura. El método y las teorías de la ciencia se pueden aplicar ya sea para aumentar nuestro conocimiento de la realidad externa e interna o para mejorar nuestro bienestar y poder. Si el objetivo es puramente cognitivo, se obtiene ciencia pura; si es principalmente práctica, la ciencia aplicada. Por lo tanto, mientras que la citología es una rama de la ciencia pura, la investigación del cáncer es una de la investigación aplicada. [Bunge, 1966, p. 329] Por lo tanto, son los objetivos distintos los que diferencian la ciencia (pura) de la tecnología. En opinión de Bunge, estos objetivos se refieren a la perspectiva y motivación de los investigadores científicos y tecnológicos. Bunge desarrolla este punto de vista de la siguiente manera. Los científicos se esfuerzan para que las leyes teóricas, describan con precisión la realidad (externa o interna) y que nos permitan predecir el curso de los acontecimientos. El tecnólogo, en cambio, utiliza las leyes científicas como base de reglas que prescriben intervenciones efectivas y control de esta realidad, con el propósito de resolver problemas prácticos y realizar objetivos sociales. En conjunto, la ciencia y la tecnología (esta última en el sentido de la ciencia aplicada) deben distinguirse de las técnicas y acciones prácticas que no se basan en teorías o métodos científicos. Así, en este punto de vista, la ingeniería romana y la agricultura medieval son artes y artesanías prácticas en lugar de tecnologías. Dado que la experimentación es un método básico para probar teorías científicas, Bunge distingue la acción experimental de la acción tecnológica y puramente práctica. Bunge [1966, p. 330] afirma que los diferentes objetivos de la ciencia y la tecnología se infieren de supuestas diferencias en la perspectiva y motivación de sus practicantes. Si esto se significara en un sentido literal, debería habernos proporcionado los resultados de investigaciones empíricas, tales como encuestas, entrevistas u otras pruebas sobre las actitudes o autoimágenes de científicos y tecnólogos. Aparentemente, esta no es la intención de Bunge. En cambio, su discusión sugiere que piensa que estas perspectivas y motivaciones pueden de alguna manera ser "derivadas" o "reconstruidas" sobre la base de las actividades de científicos y tecnólogos. Por lo tanto, el debate de

esta sección se centra en estas (supuestas) diferencias en las actividades científicas y tecnológicas. Otra característica de este relato de la relación ciencia-tecnología es su naturaleza jerárquica. En particular, Bunge postula una jerarquía epistemológica entre la ciencia y la tecnología. Si es cierto, las leyes científicas pueden justificar las normas tecnológicas. Lo contrario no es posible, sin embargo: una norma tecnológica de trabajo, que es meramente prácticamente eficaz, nunca puede justificar una ley científica. A modo de ejemplo, se analiza la tecnología de hacer un instrumento óptico, como el telescopio. En el diseño y construcción de un dispositivo de este tipo no empleamos exclusivamente óptica de onda, la teoría más veraz de la luz en este contexto, sino que hacemos un amplio uso de la falsa teoría de la óptica geométrica, que concibe la luz como propagación en líneas rectas. Además, por lo general, este tipo de trabajo de construcción requiere habilidades artesanales específicas (como la molienda de las lentes o espejos) que no emplean teorías científicas, pero se basan en conocimientos prácticos y procedimientos eficaces. Bunge concluye que un artefacto que funciona de manera práctica, como el telescopio, no puede justificar las leyes científicas empleadas en su construcción. Además, de la primacía epistemológica de la ciencia sobre la tecnología, la opinión de Bunge implica un orden temporal. Si la tecnología es el resultado de la aplicación de la ciencia, se deduce que la investigación científica temporalmente previa constituye el motor del desarrollo tecnológico y la innovación. Esta idea de "la ciencia encuentra — la industria se aplica" a menudo se llama el modelo lineal de la relación ciencia-tecnología. Las opiniones jerárquicas más o menos similares del canal de relaciones ciencia-tecnología se encuentran fuera de la filosofía, por ejemplo entre los científicos, los responsables políticos y el público en general. A veces tales puntos de vista incluyen una evaluación jerárquica aún más fuerte en el que la ciencia es vista como una búsqueda emocionante y creativa de la verdad, mientras que la tecnología simplemente implicaría la aplicación y explotación rutinaria de los frutos de esta búsqueda.

En el resto de esta sección, se analizó y evaluó esta visión de la tecnología como ciencia aplicada. En primer lugar, varios eruditos han criticado el enfoque de Bunge por razones históricas. Afirman que los estudios históricos muestran que, muchas invenciones e innovaciones tecnológicas importantes se produjeron independientemente de la investigación científica y la teorización científica. Las ilustraciones conocidas incluyen motores de vapor, dispositivos de energía de agua, relojes mecánicos, técnicas metalúrgicas y similares (por

ejemplo, [Laudan, 1984];). Aunque estas críticas parecen básicamente correctas, dependen de la interpretación precisa de la versión de Bunge del modelo lineal de la relación ciencia-tecnología. Una interpretación flexible del modelo de Bunge permitiría las siguientes respuestas. En primer lugar, muchos de los contraejemplos históricos se remontan hace mucho tiempo, a menudo al siglo XVIII y antes. Por lo tanto, no es necesario que se tomen como una refutación de la cuenta de la tecnología como ciencia aplicada, pero podría considerarse que limita el alcance de esta cuenta. Dicho de otra manera, la cuenta de Bunge podría interpretarse como una definición de tecnología y como tal sería inmune a los contraejemplos empíricos. Si un caso determinado no se ajusta a la cuenta de la tecnología como ciencia aplicada, entonces no es, por definición, una tecnología. El tema restante, entonces, se refiere a la utilidad y relevancia de la definición de Bunge. En vista de la gran importancia de la tecnología moderna basada en la ciencia, la utilidad y la relevancia de su definición parece bastante obvia. En segundo lugar, cabe señalar que, a juicio de Bunge, la tecnología también puede resultar de la aplicación del método de la ciencia (véase la cita anterior) y que se podría argumentar la alegación de que (algunos de) los contraejemplos aplicaron métodos científicos, aunque no lo fueran sobre la base de las teorías científicas disponibles. Por mucho que sea esto, no seguiré adelante con este debate aquí, sino que desarrollaré una evaluación diferente de la cuenta de ciencia aplicada de la tecnología de Bunge. Para ello, es importante tener en cuenta que esta cuenta implica dos reclamaciones distintas. La primera es que hay un claro "parentesco" entre la ciencia y la tecnología, en el sentido de que la tecnología se basa en teorías y métodos científicos. Las críticas históricas están dirigidas a esta afirmación. Parecen aceptar la caracterización de Bunge de la ciencia como una búsqueda del verdadero conocimiento de las leyes y teorías (por ejemplo, [Layton, 1974]), pero se oponen a que la tecnología a menudo se ha desarrollado independientemente de estas leyes y teorías. Es decir, afirman que las diferencias entre la ciencia y la tecnología son mayores de lo que Bunge asume. En segundo lugar, sin embargo, Bunge defiende la afirmación de que la ciencia y la tecnología también muestran diferencias esenciales, en el sentido de que los científicos apuntan a la verdad y a los tecnólogos a la eficacia práctica y la utilidad. Evaluaré esta segunda afirmación analizando, como Bunge, la tecnología basada en la ciencia y demostrando que su contraste con la ciencia es mucho más pequeño de lo que Bunge asume.

Considere la afirmación de que los científicos apuntan a la verdad mediante la construcción de teorías fundacionales y fundamentales y aceptando

o rechazando estas teorías de acuerdo con su coincidencia con los datos empíricos. Este relato sugiere que las teorías separadas y fundamentales pueden enfrentarse más o menos directamente con los datos empíricos. De hecho, sin embargo, la práctica científica es mucho más compleja. Las teorías fundamentales como tales, por ejemplo la mecánica cuántica o la teoría de la evolución, no nos dicen mucho sobre la realidad empírica. Para ser empíricamente aplicables, primero tienen que ser desarrollados y especificados con miras a dominios particulares de fenómenos empíricos. El punto puede ser ilustrado por el caso de la mecánica cuántica no relativista. La estructura básica de esta teoría se desarrolló entre 1925 y 1927. Desde aquellos días, esta teoría ha sido, y está siendo, "probada" en muchos dominios diferentes, incluyendo la física atómica y nuclear, la química cuántica, la física de estado sólido, y así sucesivamente. Dentro de cada uno de estos dominios encontramos una diversidad de sub campos, como el estudio de la conductividad eléctrica en cristales dentro de la física de estado sólido. Además, hay áreas de investigación superpuestas, como la física láser, que combina información de la física atómica y molecular y de la electrodinámica cuántica. Por lo tanto, no nos enfrentamos a dos tipos de actividades (teóricas y experimentales) sino a tres: la construcción de teorías fundamentales; su desarrollo y especificación para permitir pruebas empíricas reales; y el diseño y el rendimiento de los experimentos para probar las teorías. El segundo tipo de actividad requiere la articulación de las teorías fundamentales, generalmente a través de un cálculo extenso y la construcción de modelos sustanciales. Dos aspectos de estos procesos de desarrollo y articulación son particularmente relevantes para la comparación actual entre ciencia y tecnología. En primer lugar, incluso dentro de un sub campo a menudo se encuentra una gran variedad de diferentes modelos y métodos de cálculo, cada uno de ellos específico y apropiado para determinados tipos de experimento. Nancy Cartwright [1983, págs. 78-81] analiza el ejemplo de la física láser y documenta el uso de al menos, seis modelos diferentes de la ampliación natural de las líneas espectrales. Subraya que el alcance de cada uno de estos modelos es a menudo bastante pequeño, a saber, limitado a unos pocos tipos de fenómenos experimentales. Además, los científicos no ven estos diferentes modelos como competidores, sino como que se complementan entre sí, ya que cada uno tiene un propósito específico. En segundo lugar, una función importante de la construcción de modelos es cerrar la gran distancia entre las teorías fundamentales relativamente esquemáticas y simples y el mundo experimental mayormente complejo [Morgan y Morrison, 1999]. Debido a esta

distancia, el puente no puede tener éxito sobre la base de las teorías fundamentales por sí solo.

Por lo tanto, lo que vemos en la práctica, es el uso de una diversidad de métodos y enfoques que no pueden justificarse rigurosamente desde una perspectiva teórica. El uso frecuente se hace de reglas de control convenientes, modelos intuitivamente atractivos, aproximaciones matemáticamente factibles y simulaciones computacionalmente manejables por computadora. A menudo, la prueba también depende de otros experimentos, por ejemplo, cuando el valor de los parámetros que no se pueden calcular teóricamente, se determina a través de ajustarlos a los resultados de otros experimentos. Por lo tanto, la variedad de dominios experimentales y la gran distancia entre teorías fundamentales y fenómenos experimentales requieren el uso indispensable de "métodos viables" en las pruebas de las teorías. La práctica científica incluye la aplicación regular de una variedad de reglas de pulgar convenientes y modelos intuitivos para resolver diferentes problemas, la realización de aproximaciones basadas en la viabilidad matemática o computacional y el ajuste empírico de (parte de) uno, a través de la sintonización de parámetros determinados experimentalmente. El punto crucial es que estos son exactamente los tipos de procedimientos que son típicos de la tecnología, también de acuerdo con Bunge. Por lo tanto, sobre la base de un análisis de sus actividades de prueba, no hay razón para asumir un contraste fundamental en la perspectiva y la motivación entre los científicos y los tecnólogos. Una prueba de mecánica cuántica por un físico láser no es esencialmente diferente de la prueba de un diseño de un amplificador acústico específico por un ingeniero [Cartwright, 1983, pp. 107-112]. Hasta ahora, me he centrado en el relato de Bunge de la relación entre la ciencia y la tecnología como ciencia aplicada. Aparte de esto, existe su afirmación de que tanto la ciencia como la tecnología deben distinguirse claramente de una acción hábil y práctica. Esta afirmación sugiere que las habilidades artesanales prácticas desempeñan o no un papel significativo en la ciencia y en la tecnología basada en la ciencia. Sin embargo, si nosotros, a diferencia de Bunge, tenemos plenamente en cuenta, la práctica de la observación y experimentación científica y tecnológica, queda inmediatamente claro que esta sugerencia no tiene sentido. Después de todo, como todo observador o experimentalista sabe, la acción hábil es un aspecto esencial de la ciencia y la tecnología observacionales y experimentales (sólo piense en la molienda de las lentes en el caso de la construcción de un telescopio). La razón de la importancia de una acción hábil es sencilla. En contraste con lo que las generaciones de empiristas han reclamado,

la forma típica de obtener experiencia científica no es a través de la sensación pasiva, sino a través de la observación activa y la experimentación. La estabilidad y reproducibilidad que los observadores científicos y los experimentadores tratan de establecer casi nunca es dada por la naturaleza, sino que tiene que realizarse a través de un difícil y laborioso proceso de intervención y control. Para ello, es indispensable una acción práctica hábil (véanse, por ejemplo, [Ravetz, 1973; Collins, 1985; Gooding, 1990; Radder, 1996]). El debate de esta sección no pretende proporcionar una evaluación exhaustiva de la visión de la tecnología como ciencia aplicada. Sin embargo, basta con demostrar que el enfoque jerárquico de Bunge es cuestionable. Una reconstrucción de sus actividades cognitivas no apoya la atribución de objetivos esencialmente diferentes a científicos y tecnólogos. En consecuencia, esta forma de delimitar la ciencia de la tecnología resulta difícil, si no imposible, y lo mismo se aplica a la substanciación de la subordinación epistemológica de la tecnología a la ciencia. Para evitar malentendidos, quisiera subrayar que el argumento de esta sección no es que no haya diferencias en absoluto entre la ciencia y la tecnología. Pero sí implica que, en términos generales, estas diferencias serán una cuestión de grado y que no suman un contraste inequívoco entre la ciencia y la tecnología en términos de objetivos singulares y esencialmente diferentes. En la sección final de este capítulo volveré a tratar esta cuestión y abordaré la cuestión de cómo la ciencia y la tecnología pueden distinguirse y estar relacionadas sobre la base de sus similitudes y diferencias.

4 TECNOLOGÍA COMO CIENCIA FINALIZADA

Durante la década de 1970, un grupo de eruditos alemanes, también llamado grupo Starnberg, publicó una impresionante serie de artículos y libros sobre la finalización de la ciencia (véase [Schéfer, 1983], y otras referencias en ella). La "ciencia finalizada" denota una etapa particular del desarrollo científico que está, más o menos conscientemente, orientada hacia objetivos e intereses sociales externos. Los propios autores ven su teoría de la finalización como una mejora de la teoría de la tecnología como ciencia aplicada. Por lo tanto, en su relato de la química agrícola Wolfgang Krohn y Wolf Schéfer afirman: Nuestro objetivo aquí no es introducir una distinción entre la química agrícola como ciencia finalizada y la ciencia aplicada, sino ofrecer un significado más preciso para la vaga noción de "ciencia aplicada". El término "ciencia aplicada" da la impresión engañosa de que la ciencia orientada a objetivos, simplemente implica la aplicación de una ciencia existente, en lugar de la creación de un nuevo desarrollo teórico. Esto a su vez alimenta la idea errónea de que la ciencia pura

es superior a la ciencia aplicada. [Krohn y Schéfer, 1983, p. 46] Uno de los principales objetivos de la teoría de la finalización es establecer en qué etapas de la finalización del desarrollo científico es posible y fructífera. Para este propósito, incluye un relato del desarrollo científico que hace uso del modelo de desarrollo científico de Thomas Kuhn, pero también amplía sustancialmente. Aunque generalmente no se realiza, Kuhn aboga por una visión fuertemente internalista. Para un científico, la solución de un rompecabezas conceptual o instrumental difícil es un objetivo principal. Su éxito en ese esfuerzo es recompensado a través del reconocimiento por otros miembros de su grupo profesional y por ellos solos. El mérito práctico de su solución es en el mejor de los casos un valor secundario, y la aprobación fuera del grupo de especialistas es un valor negativo o ninguno en absoluto. [Kuhn, 1970, p. 21] La teoría de la finalización también parte de una distinción interno-externa bastante estricta, pero luego va más allá de un internalismo kuhniés argumentando que una interacción entre objetivos e intereses externos o sociales y objetivos e intereses internos o cognitivos es posible, e incluso hasta cierto punto necesario, en una determinada etapa del desarrollo de disciplinas científicas. La teoría se centra en las disciplinas de las ciencias naturales y afirma que estas ciencias pasan por tres etapas sucesivas. En primer lugar, está la etapa exploratoria, que guarda cierta semejanza con la etapa pre paradigmática de Kuhn. En esta etapa, una teoría bien desarrollada de estructuración de dominios no está (todavía) disponible, y los métodos de investigación son principalmente empíricos y clasificatorios en lugar de teóricos y explicativos. A continuación, la etapa paradigmática se guía por una teoría general que estructura el campo de los fenómenos y dirige la forma en que deben ser investigados. Como en la ciencia normal de Kuhn, el objetivo es la articulación empírica y conceptual y la validación de las ideas teóricas centrales. Estos desarrollos de la segunda etapa pueden dar lugar a "teorías cerradas", una noción adaptada del físico Werner Heisenberg y explicada de la siguiente manera: En general, se pueden decir tres cosas de una teoría cerrada ...: en primer lugar, poseerá suficiente material conceptual para capturar un campo particular de fenómenos; en segundo lugar, su validez se demostrará al menos para una serie de casos; y en tercer lugar, hay buenas razones para esperar que su validez se extienda a toda la categoría de fenómenos en cuestión. [Böhme et al., 1983, p. 148]

Debido a que se trata de criterios bastante exigentes, que no siempre se cumplirán en la práctica científica real, los autores introducen la noción más débil de madurez teórica para los casos en que las teorías no están estrictamente

cerradas, pero todavía poseen una medida sustancial de integralidad y estabilidad. Por lo tanto, la afirmación de la teoría de la finalización es que, desde una perspectiva interno-científica, las disciplinas teóricamente maduras son más o menos completas. Sin embargo, pueden desarrollarse más en una tercera etapa, o post paradigmática, en la que se orientan hacia objetivos e intereses externos a través del desarrollo de "teorías especiales" (a veces también llamadas "modelos teóricos") con el fin de de la realización de ciertas aplicaciones tecnológicas. Es en esta etapa que la ciencia se ultima. A diferencia de Kuhn, en esta etapa el "mérito práctico" y la "aprobación fuera del grupo especializado" son valores primarios, y sin embargo, la realización de este mérito requiere el desarrollo de conocimientos teóricos genuinamente nuevos. La teoría de la finalización se ha desarrollado en estrecha interacción con estudios de casos de episodios importantes en varias disciplinas (véase la Parte I de [Schéfer, 1983]). En física, se ha estudiado la articulación de la hidrodinámica clásica en una variedad de teorías especiales de dinámica de fluidos para el desarrollo de aviones. En química, se han investigado las relaciones entre la química orgánica del siglo XIX, el área especial de la química agrícola y la producción de fertilizantes artificiales. Y en la ciencia biomédica, se ha examinado el desarrollo de la bioquímica molecular en teorías especiales de procesos cancerígenos con miras a la producción de fármacos adecuados. Los propios autores concluyen que su teoría se aplica mejor a la disciplina de la física. Su adecuación para las otras disciplinas se considera mucho menos directa, siendo el principal problema, la aplicabilidad de la noción de madurez teórica. La teoría de la finalización se propuso más o menos simultáneamente con, aunque independientemente de, el programa fuerte en la sociología del conocimiento científico. Aunque ambos enfoques comparten un énfasis en la importancia de los factores externos, también hay diferencias importantes entre la teoría de la finalización y la sociología del conocimiento científico. En primer lugar, el primero, a diferencia de este último, no afirma que la verdad científica dependa de objetivos e intereses externos. Además, la teoría de la finalización se centra en influencias externas conscientes o intencionales en un contexto de política científica. Por lo tanto, la teoría incluye un componente evaluativo y normativo explícito: aunque la orientación hacia los objetivos e intereses externos es factible en la exploración y, en cierta medida, incluso en la etapa paradigmática, la mejor y más fructífera manera de explotar el potencial tecnológico de las ciencias es a través de la finalización de teorías científicas maduras en su etapa post paradigmática. Durante la década de 1970 y principios de 1980, la teoría de la finalización desencadenó un debate extenso y a veces

acrítico (véase la bibliografía en [Schéfer, 1983, págs. 301- 306]). Este debate fue de naturaleza tanto filosófica como política, pero se limitó principalmente a Alemania. Hasta ahora, en la filosofía anglosajona de la ciencia, la relación entre ciencia y tecnología ha sido una cuestión descuidada de todos modos (cf. [Ihde, 1991; 2004]). Sin embargo, dentro de la filosofía recientemente creciente de las ciencias tecnológicas, la teoría de la finalización constituye un tema que vale la pena para estudiar las intersecciones entre la ciencia, la ciencia tecnológica y la tecnología.

En el resto de esta sección, discutiré los méritos y problemas de esta teoría. Un primer mérito de la teoría es que proporciona una extensión significativa del relato de Kuhn sobre el desarrollo de la ciencia. Muestra que los paradigmas más antiguos no son, o no necesariamente, descartados después de la llegada de un sucesor, ya que pueden desarrollarse aún más a través de procesos de finalización. Además, la teoría tiene en cuenta la importancia obvia de los objetivos e intereses externos, especialmente desde la segunda mitad del siglo XIX, y por lo tanto va más allá del enfoque internalista inadecuado de Kuhn. Lo que es particularmente perspicaz, es la manera sutil en que se ha demostrado que estos factores internos y externos están entrelazados. Aunque la ciencia finalizada no sea autónoma, los objetivos e intereses externos no funcionan como imposiciones puramente extrínsecas. En su lugar, se transforman e internalizan como restricciones cognitivas o especificaciones de las teorías tecnológicas especiales que deben desarrollarse sobre la base de una teoría científica madura. Por ejemplo, en la investigación de fusión nuclear los científicos tratan de desarrollar una teoría especial de la física plasmática que, en última instancia, permitirá la construcción de un reactor de fusión nuclear estable y reproducible (véase [Böhme et al., 1983, págs. 154-156]). Técnicamente, esto significa que sólo se tienen en cuenta estos procesos para los que el producto del tiempo τ de contención y la temperatura del plasma, supera un cierto valor mínimo τ_0 . Así, el objetivo tecnológico externo de proporcionar energía de fusión nuclear de una manera controlada, segura y económicamente eficiente se ha transformado e interiorizado como una guía específica para la teoría científica. Les dice a los investigadores que centren su trabajo teórico sólo en tales constelaciones de plasma y contenedor, para las que $\tau > \tau_0$

Además, la teoría de la finalización demuestra convincentemente que la ciencia tecnológica desarrolla conocimientos genuinamente originales, un punto que también se enfatiza en muchas contribuciones recientes a la filosofía de las ciencias tecnológicas (véase, por ejemplo, [Boon, 2006]). El conocimiento

tecnológico no es, como parece estar, implícito en la visión de Bunge de la tecnología como ciencia aplicada, una mera aplicación del conocimiento científico existente. Otro aspecto importante de la teoría de la finalización es el intento de proporcionar un relato diferenciado de la relación entre los factores cognitivos externos-sociales e internos en el desarrollo de las ciencias. Ya sea plenamente exitoso o no, la teoría al menos intenta hacer explícitas las condiciones específicas bajo las cuales la dirección externa de la ciencia es posible y fructífera. A este respecto, contrasta favorablemente con algunos enfoques más recientes, en particular con la idea ahora de moda, de una sucesión histórica lineal de una ciencia del "modo 1", que es en gran medida autónoma y disciplinaria, seguida de una ciencia del "modo 2", que se centra principalmente en los contextos tecnológicos, económicos y sociopolíticos de uso. Por último, al menos algunos de los defensores de la teoría de la finalización fomentan un compromiso con una ciencia "de interés público". Según afirman, la ciencia finalizada no debe evolucionar de manera darwinista impulsada por el poder, sino guiarse por procedimientos de deliberación explícita y democrática sobre la aceptabilidad racional de los medios y fines de los desarrollos tecnológicos propuestos. Una vez más en contraste con los enfoques del Modo 1/Modo 2 mencionados anteriormente, este reconocimiento de las cuestiones normativas es importante, incluso para aquellos que no comparten la posición específica de los defensores de la teoría de la finalización. Además, dadas las consecuencias problemáticas de la rápida comercialización de la ciencia en los últimos veinticinco años, la noción de una ciencia de interés público sigue siendo tan oportuna como siempre (véase, por ejemplo, [Krimsky, 2003]). Sin embargo, junto a estos méritos, la teoría de la finalización tiene varias características e implicaciones problemáticas. Como hemos visto, los propios autores ya se enfrentaron al problema de la definición de una teoría cerrada y especialmente a su aplicación a la historia de la ciencia. Llegaron a la conclusión de que la aplicabilidad de la teoría a disciplinas distintas de la física no está clara. Así, en el caso de la química agrícola del siglo XIX, no había una teoría cerrada disponible y los autores del estudio de caso recurren a nociones diluidas como la "madurez teórica relativa" y la "madurez metodológica" [Krohn y Schéfer, 1983]. Pero incluso los casos de la física no son sencillos. Un caso interesante sería investigar la reciente "finalización" de la ciencia climática frente al efecto invernadero inducido por el hombre. No es evidente que esta investigación se base en una teoría cerrada o madura de la dinámica de todo el sistema climático (véase [Petersen, 2006, Capítulos 5 y 6]).

La teoría de la finalización afirma con razón que la ciencia tecnológica desarrolla conocimientos genuinamente nuevos. Pero si su caracterización de este conocimiento agota el conocimiento generado en las ciencias tecnológicas es otra cuestión. Según la teoría de la finalización, el conocimiento tecnológico se desarrolla sobre la base de teorías científicas cerradas o maduras. Sin embargo, en general, esos conocimientos sólo formarán parte de los conocimientos necesarios para el diseño, la producción, el uso o el mantenimiento de artefactos o sistemas tecnológicos. Por ejemplo, un modelo dinámico fluido de la capa límite y los conceptos de elevación y circulación —como se discutió en [Böhme, 1983]— todavía no permite el diseño y la fabricación de un avión real, y mucho menos la realización de todo el sistema tecnológico del aire transporte. Esto obviamente limita el valor de la teoría de la finalización para una filosofía de la tecnología y las ciencias tecnológicas. La sangría relacionada con esto es una visión dominante de la teoría de la ciencia (natural). Aunque la importancia de la experimentación se reconoce en principio, la visión de los teóricos de la finalización de las ciencias tecnológicas sigue siendo completamente sesgada por la teoría. Es la formación teórica la que se ve como el núcleo del desarrollo científico y como el camino real hacia la explotación fructífera de la ciencia con fines prácticos. Sin embargo, mientras tanto muchos autores en la filosofía de la experimentación científica, han demostrado que la experimentación tiene una vida propia y no se limita a las pruebas de teorías preexistentes. Por esta razón, también es incorrecto identificar la noción de un paradigma con la de una teoría (véase también [Rouse, 1987, Cap. 2]). Además, ver la ciencia observacional y experimental como meramente pre-paradigmática, sobreestima el papel de las teorías científicas explicativas, especialmente en las ciencias tecnológicas. Por último, la teoría de la finalización exhibe ciertas características modernistas cuestionables. Implica la creencia en la posibilidad de un modelo universalmente válido de desarrollo científico. Como tal, no puede hacer justicia a la diversidad y riqueza del desarrollo real de las ciencias (tecnológicas). Además, la teoría sugiere firmemente una creencia demasiado optimista en el progreso social a través del empleo de la ciencia. Como tal, no muestra una gran conciencia del hecho de que la ciencia (tecnológica) puede ser en sí misma una fuente de problemas sociales. Uno no necesita ser un postmodernista radical para ver el carácter problemático de estas dos creencias.

5 EXPERIMENTO Y LA RELACIÓN CIENCIA-TECNOLOGÍA

Como hemos visto, el enfoque de finalización representa una forma de filosofía de la ciencia dominante en la teoría. De hecho, sin embargo, un enfoque

en la experimentación proporciona un punto de partida bastante natural para estudiar la relación ciencia-tecnología. Por poner sólo un ejemplo: el método de variación sistemática de parámetros, pionero en el siglo XVIII por John Smeaton para examinar y probar el trabajo y la eficiencia de las ruedas de agua, juega un papel importante en ambas, ciencia experimental y en ingeniería e investigación tecnológica. Por lo tanto, en esta sección revisaré algunos relatos filosóficos de la experimentación como un vínculo crucial entre la ciencia y la tecnología. En su filosofía temprana, J. Habermas ha discutido la relación entre la tecnología y las ciencias naturales con cierto detalle (véase [Habermas, 1971; 1978]). Concibe estas ciencias como intrínsecamente relacionadas con la tecnología. Al igual que el positivismo lógico, Habermas ve la observación como la base de la ciencia, pero subraya que lo que cuenta en la ciencia nunca es la única observación aislada, sino sólo la observación que puede ser reproducida por otros científicos. Por lo tanto, su enfoque real se centra en observaciones reproducibles y, más generalmente, en las leyes empíricas predictivas. Según Habermas, tales leyes no pueden interpretarse en el sentido de que reflejan una realidad independiente del ser humano, ya que su validez universal depende de la posibilidad de intervención activa y control de la situación empírica por parte de los seres humanos. Dicho de otro modo, la orden epistémica de la ley empírica "siempre que x, entonces y", es proporcionada por el resultado práctico de que 'cada vez que hacemos x (bajo condiciones controladas c), entonces podemos producir y'. Esta intervención y control se habilita a través de la acción humana e instrumental. De este modo, un "interés técnico en la predicción y el control" guía la producción de conocimientos científicos naturales. La propia constitución de la experiencia sobre la base de la acción instrumental orienta a la ciencia hacia la aplicación tecnológica de los conocimientos adquiridos. La predicción y el control a través de la intervención, son las características esenciales de las leyes empíricas de la ciencia y, como tales, estas características presagian su aplicación tecnológica. En la ciencia, la acción instrumental toma la forma de acción experimental. Por lo tanto, el experimento constituye el vínculo básico entre la ciencia y la tecnología. Siguiendo a Charles Peirce, Habermas explica la noción de un experimento científico de la siguiente manera: En un experimento se produce, mediante una sucesión controlada de acontecimientos, una relación entre al menos dos variables empíricas. Esta relación cumple dos condiciones. Puede expresarse gramaticalmente en forma de predicción condicional que puede deducirse de una ley general como hipótesis, con la ayuda de las condiciones iniciales; al mismo tiempo puede exhibirse de hecho, en forma de una acción instrumental que manipule las condiciones iniciales de modo que el

éxito de la operación pueda controlarse mediante la ocurrencia del efecto. [Habermas, 1978, p. 126] Esta cita expresa claramente la relación intrínseca entre el conocimiento científico predictivo y la acción y producción tecnológica controlada que es característica de la filosofía temprana de Habermas. Sin embargo, en su desarrollo posterior, Habermas cambió sus puntos de vista sobre este tema, en particular mediante la incorporación de la “teoría a cargo” de la observación y más en general mediante el reconocimiento de la autonomía relativa de la argumentación teórica en la ciencia. Así, el enfoque de su filosofía se trasladó a los temas de argumentación y comunicación. Como consecuencia, no desarrolló su visión más bien esquemática de la experimentación como un vínculo significativo entre la ciencia y la tecnología. Por lo tanto, vale la pena examinar más de cerca este tema sobre la base de un relato más detallado de la experimentación científica. El propósito de esta discusión es emplear este relato para iluminar aspectos importantes de la relación entre la ciencia y la tecnología.

Una característica de la ciencia experimental es que, el acceso a sus objetos de estudio está mediado a través de aparatos (en forma de instrumentos y/u otros equipos o dispositivos). En un experimento, (intentamos) establecer una correlación entre un objeto de estudio y algún aparato, y sacar conclusiones sobre ese objeto sobre la base de una «lectura» de algunas características del aparato. Como Habermas argumenta correctamente, los experimentos científicos son significativos sólo en la medida en que nuestra intervención y control produce una correlación entre el objeto y el aparato que es estable y reproducible. Una condición necesaria e importante de estabilidad y reproducibilidad experimental es el control adecuado de las interacciones reales y posibles entre el sistema experimental (u objeto-aparato) y su entorno. Es útil distinguir tres tipos de tales interacciones: las interacciones requeridas, que permiten que el sistema objeto-aparato se comporte de acuerdo con su diseño; las interacciones prohibidas, que podrían perturbar los procesos experimentales previstos; y las interacciones permitidas, que son neutrales con respecto al curso previsto del sistema experimental y, por lo tanto, no permiten ni perturban. Para lograr un sistema experimental estable y reproducible, es necesario producir y mantener las interacciones necesarias, eliminar o impedir que se lleven a cabo las interacciones prohibidas, mientras que las interacciones permitidas no hacen daño y, por lo tanto, no es necesario controlarlas. Por ejemplo, si un diseño experimental en particular requiere una baja temperatura de, digamos, 100K, entonces necesitamos producir una temperatura inicial de 100K y necesitamos controlar el flujo de calor entre el sistema experimental y el medio ambiente, de

tal manera que el sistema permanezca a esta temperatura durante todo el curso del experimento. Además, si un impacto de las ondas electromagnéticas pudiera perturbar los procesos experimentales previstos, tenemos que evitar que dichas ondas interfieran con el sistema objeto-aparato durante todas las corridas experimentales. Por último, si la interacción gravitacional entre el sistema y el medio ambiente no hace daño, no tenemos que controlar para ello. La presencia de interacciones requeridas y permitidas implica que la experimentación exitosa no requiere un sistema completamente aislado, es decir, un sistema que no interactúa en absoluto con su entorno. Materialmente, darse cuenta de un sistema de este tipo sería muy difícil e incluso imposible, dada la ubicuidad de las interacciones gravitacionales y / o electromagnéticas. Por supuesto, en la práctica científica real no siempre podemos, o no todavía saber, qué interacciones son necesarias, prohibidas o permitidas; o podemos estar equivocados en nuestra evaluación de estas interacciones. De todos modos, una parte importante del objetivo de la experimentación es llegar a saber qué interacciones están permitiendo, perturbadoras o neutrales. Dos características de estos procesos de adquisición de conocimientos experimentales son directamente relevantes para la cuestión de la estabilidad y la reproducibilidad. En primer lugar, lo que se considera necesario, prohibido o neutral dependerá de la interpretación teórica del experimento en cuestión. Los tipos de interacción que se afirma que son teóricamente imposibles (por ejemplo, influencias telepáticas o señales que viajan más rápido que la luz) serán irrelevantes y no es necesario tener en cuenta. Lo mismo se aplica a las interacciones que son posibles (y pueden estar presentes) pero que se afirma que son intrascendentes al plan y al objetivo del experimento (por ejemplo, el "impacto" de la luz diurna en la medición de la temperatura de un fluido) y, por lo tanto, se clasifican como «permitidos». Sin embargo, debemos señalar que tales afirmaciones pueden ser impugnadas por otros experimentadores o derrocadas por acontecimientos posteriores. En segundo lugar, el control de las interacciones pertinentes es, en la práctica, no sólo una cuestión de ejercer el control material requerido, sino que también exige una disciplina social y un control de todas las personas que tienen, o podrían tener, un impacto en la realización material del experimento. Después de todo, son estas personas las que desempeñan, o podrían desempeñar, un papel crítico en los procesos de producción o aseguramiento de las condiciones de habilitación y eliminación o prevención de las condiciones perturbadoras. Además, de estas dos características, también puede haber razones sociales o éticas para la necesidad de controlar nuevas interacciones entre un sistema experimental y su entorno.

Por ejemplo, los impactos de un sistema experimental en el medio ambiente que podría poner en peligro la seguridad de los experimentadores o de otros seres humanos generalmente se consideran indeseables y por lo tanto deben prevenirse. Por lo tanto, el control necesario de las influencias y perturbaciones (deseables e indeseables) entre el sistema objeto-aparato y su entorno presenta importantes características teóricas, materiales y sociales de la experimentación científica. A continuación, este análisis se puede utilizar para discutir y evaluar la relación ciencia-tecnología de dos maneras diferentes. Al igual que los experimentos, las tecnologías de trabajo deben ser estables y reproducibles, mientras que el control de las interacciones relevantes entre el sistema tecnológico y su entorno constituye una condición necesaria para alcanzar este objetivo. Una vez más, podemos distinguir entre interacciones requeridas, prohibidas y permitidas. Así, en un sentido conceptual-teórico, la realización exitosa de un sistema tecnológico plantea requisitos similares a la realización exitosa de un sistema experimental. Las interacciones sistema-entorno que permiten que el sistema tecnológico se comporte de acuerdo con su diseño deben ser producidas y mantenidas, las interacciones que podrían perturbar los procesos tecnológicos previstos deben ser eliminadas, mientras que las interacciones que son intrascendentes para el funcionamiento estable y reproducible del sistema tecnológico pueden ser ignoradas. Además, en un sentido empírico, las sustancias, dispositivos o procesos experimentales materialmente realizados pueden ser explotados, y a menudo son, explotados como parte de los sistemas tecnológicos. Una pieza particular de circuitos eléctricos desarrollados experimentalmente puede utilizarse para cumplir una determinada función como parte de un sistema tecnológico más grande, por ejemplo, un ordenador. O un organismo que ha sido modificado genéticamente en un laboratorio de biología puede ser explotado en tecnologías agrícolas particulares. Al igual que en el caso de sus homólogos científicos, se supone que esas «tecnologías experimentales» presentan una cierta medida de estabilidad y reproducibilidad, por lo que es necesario controlar las interacciones entre el sistema y el medio ambiente pertinentes. Sin embargo, los sistemas experimentales y las tecnologías experimentales correspondientes material y socialmente, suelen ser muy diferentes por dos razones. En primer lugar, normalmente se requiere que las tecnologías se mantengan estables y reproducibles durante un período mucho más largo y en muchos más lugares. Es decir, se supone que la tecnología funciona correctamente a una escala espaciotemporal mucho mayor que su contraparte de laboratorio. En segundo lugar, y relacionados con la primera razón, los entornos en los que se espera que

funcionen las tecnologías experimentales pueden ser muy diferentes del entorno medio de laboratorio. Por estas razones, no podemos suponer que un experimento realizado con éxito garantice el éxito de la tecnología experimental correspondiente. Un dispositivo de fusión nuclear que funciona bien en el laboratorio de ninguna manera nos proporciona un reactor de fusión estable y reproducible que puede ser explotado eficazmente para la producción de energía controlada. Del mismo modo, una prueba in vitro exitosa de vacunas experimentales contra el SIDA no implica necesariamente una terapia in vivo exitosa para los pacientes con SIDA.

Sin embargo, científicos de todo tipo de orígenes disciplinarios, una y otra vez, han dado saltos tan injustificados, ya sea por su visión inadecuada de la relación entre la ciencia y la tecnología o simplemente para halagar a sus agencias de financiación con el propósito de adquisición de apoyo financiero adicional. En este sentido, es interesante mirar atrás brevemente a la teoría de la finalización. Según esta teoría, durante la etapa paradigmática es posible la llamada "investigación de transferencia". Esta investigación incluye el "escalado" sistemático de experimentos de laboratorio en procesos industriales. Aparentemente, esta ampliación se considera como la aplicación no problemática de los conocimientos existentes y como que no requiere investigaciones adicionales específicas. Por lo tanto, se afirma que, en la etapa paradigmática, la política científica sólo puede promover la investigación, pero no puede guiarla sustancialmente en direcciones novedosas [Böhme et al., 1983, págs. 152-153]. Sin embargo, como ha demostrado el examen más detallado de las relaciones entre la ciencia experimental y la tecnológica, estos procesos de "escalado" no son en absoluto sencillos. Requieren un estudio adicional sustancial de los procesos que ocurrirán, o pueden, ocurrir a escalas temporales y espaciales más grandes y de los nuevos entornos en los que se espera que las tecnologías funcionen. Un objetivo importante de estos estudios es generar nuevos conocimientos sobre el funcionamiento estable y reproducible de estas tecnologías a las escalas requeridas y en los entornos previstos. El relato de la relación ciencia-tecnología que se discute en esta sección genera dos cuestiones críticas, que son de vital importancia en relación con la gobernanza social y la evaluación normativa de proyectos científicos y tecnológicos. En primer lugar, está la cuestión fáctica de si una extensión prevista de un experimento exitoso a una tecnología experimental estable y reproducible puede, razonablemente creerse que es factible. Cuanto mayor sea la extensión espacial o temporal del sistema tecnológico previsto, más pertinente será esta pregunta. En segundo

lugar, está la cuestión normativa de si el mundo material y social controlado que se necesita para garantizar la estabilidad y reproducibilidad del sistema tecnológico es un mundo normativo. Si una o ambas de estas preguntas son respondidas en negativo, la única opción razonable es no realizar esta tecnología en particular.

6 CIENCIA COMO TECNOLOGÍA

Ver la fecundidad de la experimentación como un vínculo central entre la ciencia y la tecnología podría tentarnos a conceptualizar la ciencia y la tecnología como sustancialmente, básicamente, o incluso esencialmente, similar. Y, de hecho, los relatos filosóficos de la relación ciencia-tecnología abogan repetidamente por esa concepción de la "ciencia como la tecnología". Las ilustraciones se pueden encontrar en la obra de Martin Heidegger, (los primeros) Jürgen Habermas, Peter Janich y Srdan Lelas. Más recientemente, las opiniones comparables en términos de la noción de la tecno ciencia han sido desarrolladas por Donna Haraway, Bruno Latour, Don Ihde y Karl Rogers, entre otros. Se afirma que esta noción de tecno ciencia captura las similitudes cruciales entre la ciencia y la tecnología. En primer lugar, plantea la primacía de la práctica: tanto los científicos como los ingenieros o tecnólogos participan centralmente en los procesos prácticos de intervención, negociación y construcción. Además, a diferencia de los relatos más tradicionales de la relación ciencia-tecnología (como la cuenta de ciencia aplicada de Bunge), un enfoque científico tecno, destaca la importancia de la materialidad, es decir, los artefactos materiales, las interacciones y procedimientos — tanto para la ciencia como para la tecnología. Por último, este enfoque hace hincapié en el hecho de que, a lo largo del siglo XX, la ciencia se ha convertido cada vez más en "gran ciencia" y, como tal, ha adquirido —y sí requiere— el formato de una organización industrial. A modo de ejemplo, consideremos a Bruno Latour, quien rechaza cualquier distinción básica entre ciencia y tecnología, haciendo hincapié en el carácter constructivo y contradictorio de ambos. Ahora es comprensible por qué, desde el comienzo de este libro, no se ha hecho distinción entre lo que se llama un hecho "científico" y lo que se llama un objeto o artefacto 'técnico'. El problema del constructor de 'hechos' es el mismo que el problema del constructor de 'objetos': cómo convencer a los demás, cómo controlar su comportamiento, cómo reunir suficientes recursos en un solo lugar, cómo tener la reclamación o el objeto extendido en el tiempo y el espacio. En esta sección me dirijo a las opiniones de Srdan Lelas [1993; 2000], que ha desarrollado la cuenta de ciencia como tecnología con más detalle filosófico. Lelas se opone su relato a

las opiniones contemplativas, o teóricas, de la ciencia. Estos puntos de vista, afirma, separar la epistemología de la ontología y la semántica. Es decir, la observación y el experimento pueden ser necesarios para determinar la verdad de las teorías, pero como tales se consideran meros medios. Después de todo, se supone que las teorías son verdaderas o no son exclusivamente una cuestión de su correspondencia con una realidad independiente de las humanidades. Por lo tanto, cuando las teorías son verdaderas, todos los rastros de la forma en que las hemos encontrado, a través de interactuar e intervenir en el mundo, se vuelven irrelevantes y deben ser borradas. Es decir, en última instancia, la observación y el experimento son eliminables. Desde su perspectiva científica como tecnología, Lelas plantea dos tipos de objeciones a tales puntos de vista teóricos de la ciencia. En primer lugar, argumenta que la experimentación, como el diseño y la producción de artefactos, implica una interacción e interferencia con la naturaleza, y señala que la observación científica comparte una serie de características cruciales con el experimento [Lelas, 1993]. A través de procesos de experimentación y observación, que implican la fabricación de artefactos a través de la implementación de una idea, la ciencia descubre porque inventa. En la frase heideggeriana de Lelas, 'la naturaleza es revelada y producida a la vez'. Las dos caras de este proceso —que revela y produce la naturaleza— no se pueden separar, como se hace en el relato teórico. Lelas concluye que la actividad productiva de observar y experimentar, que es esencialmente de naturaleza tecnológica, constituye un elemento indispensable de la ontología de la ciencia. Por esta razón, la importancia de la observación y la experimentación va mucho más allá de su papel como instrumentos para probar la verdad de las teorías. La segunda objeción a los puntos de vista teóricos, tiene que ver con la función y el significado de las teorías. Al igual que Janich y Latour, Lelas afirma que el significado de las teorías no puede separarse de su función en procesos experimentales u observacionales. Las teorías deben ser comprobables experimentalmente y esto requiere que la ruta de la teoría al experimento debe ser mapeada por la propia teoría. La teoría no puede ser tratada como un mero instrumento para el cálculo y la predicción del resultado experimental. Es mucho más que eso.

Es un instrumento de diseño, y siendo eso, abarca tanto la ontología como la tecnología. Una teoría puede ser considerada como un conjunto condensado de instrucciones de cómo construir un aparato experimental, o, mejor, cómo guiar la producción de artefactos experimentales. [Lelas, 1993, p. 442] Por lo tanto, la esencia de las teorías científicas no se encuentra en sus

estructuras conceptuales o matemáticas abstractas como tales, sino más bien en las traducciones e interpretaciones que conectan conceptos teóricos o declaraciones con la práctica de la acción y producción observacional y experimental. En su libro *Science and Modernity*, Lelas desarrolla estos puntos de vista sobre la ciencia y la tecnología y los integra en una teoría integral y ampliamente naturalista de los procesos de la cognición humana, del auge de la ciencia moderna y de la naturaleza del conocimiento científico. Por ejemplo, desde una perspectiva evolutiva y biológica, los seres humanos demuestran ser "mamíferos prematuramente nacidos, retrasados y no especializados". Para sobrevivir necesitan ser capaces de adaptarse a una gran variedad de entornos de selección. Para ello, se considera que la tecnología es particularmente importante. La fabricación de artefactos no es el único componente de la existencia humana; sólo cubre un aspecto de la relación entre los seres humanos y la naturaleza. La mente/cerebro, el lenguaje y las instituciones son los demás. Juntos constituyen lo que solemos llamar cultura. Pero la tecnología es la parte esencial de ella; es la parte que completa el intercambio físico entre los seres humanos como sistemas vivos y sus entornos físicos. [Lelas, 2003, p. 112] Lelas continúa explicando que el auge de la ciencia ha sido habilitado por la "revolución urbana" en el antiguo Egipto, Oriente Medio, India, China y las Américas. Sin embargo, la ciencia moderna, que surgió de los siglos XVI y XVII en adelante, requirió dos importantes desarrollos adicionales: en primer lugar, la doctrina y la práctica económicamente motivadas del dominio humano de la naturaleza; y secundar una transferencia cada vez mayor de actividades y funciones humanas a artefactos tecnológicos. Esto le lleva a las afirmaciones antes mencionadas de que la experimentación constituye la innovación más importante de la ciencia moderna y, más específicamente, que incluso la teoría científica en última instancia, se trata de hacer. Al concluir esta sección, evaluaré brevemente la cuenta de ciencia como tecnología de Lelas. Su teoría general de la ciencia y la modernidad se ocupa principalmente de las condiciones y contextos naturales y culturales de la ciencia moderna. La teoría es reflexiva e intrigante, y el libro de Lelas contiene una gran cantidad de discusiones interesantes, pero una revisión más detallada está realmente fuera del alcance del presente capítulo (para ello, véase [Radder, 2002]). Por lo tanto, me limitaré a algunas observaciones más específicas sobre la relación entre la ciencia y la tecnología. Sobre la base del debate de las secciones anteriores, en particular en la sección 5, podemos concluir que, el énfasis de Lelas en la importancia de la acción y el carácter de producción de la experimentación está plenamente justificado. Además, extender este relato de la experimentación a la observación científica

tiene mucho que recomendar. Como hemos visto, Lelas respalda la afirmación más específica de que, la teoría juega un papel no sólo en la realización de predicciones de resultados experimentales, sino mucho más generalmente como un instrumento que guía todo el proceso de producción de artefactos experimentales.

Aunque algunos autores han afirmado que la experimentación libre de teoría es posible y ocurre regularmente en el desarrollo de la ciencia, una mirada más cercana a las prácticas científicas revela que la afirmación de Lelas puede mantenerse, si se interpreta más específicamente como una indicación que el rendimiento y la comprensión de los experimentos depende de una interpretación teórica de lo que sucede al realizar materialmente el proceso experimental [Radder, 2003]. A pesar de esto, la opinión reduccionista general de que la ciencia es, básicamente, la tecnología no puede ser defendida. Consideremos las afirmaciones de que existe una "plena continuidad entre la alta teoría científica y las habilidades del experimentador" y que «una teoría puede considerarse como un conjunto condensado de instrucciones sobre cómo construir un aparato experimental» [Lela's, 1993, pp. 441-442]. A este respecto, es importante hacer una distinción entre la «alta teoría» del objeto en estudio y la interpretación teórica de todo el proceso experimental. En términos generales, el primero le dice algo sobre el proceso experimental, pero de ninguna manera se puede decir que guía la producción de artefactos experimentales. Por ejemplo, como hemos visto en la Sección 3, las altas teorías de la física cuántica ni siquiera bastan para construir y utilizar modelos teóricos de fenómenos láser, y mucho menos decirnos cómo construir tales dispositivos. Otro problema del relato científico como tecnología de Lelas es el hecho de que las teorías científicas tienen un significado que trasciende el significado de los experimentos particulares, que hasta ahora se han utilizado para probar estas teorías. En la medida en que este relato se solapa con la teoría operacional del significado, es vulnerable a la crítica bien conocida de que esta teoría implica una proliferación infructuosa de conceptos teóricos y que descuida la importancia sistemática de la marcos [Hempel, 1966, págs. 88-100]. Esas teorías tienen un significado tan "superávit" también se puede ver analizando la noción de reproducibilidad experimental con más detalle. En la Sección 5 empleé la noción de reproducibilidad de manera indiferenciada. Sin embargo, de hecho, la reproducibilidad es una noción bastante compleja. En primer lugar, es importante distinguir entre las reproducciones reales y la reproducibilidad (reclamada) de un experimento; además, tenemos que preguntarnos qué se ha

reproducido, o es (se afirma que es) reproducible, y por quién? [Radder, 1996, Capítulos 2 y 4]. En el presente contexto, la distinción pertinente es la que existe entre la reproducibilidad (reclamada) de todo el proceso experimental y la reproducibilidad (reclamada) del resultado de este proceso. Un punto importante de esta distinción es que esta última noción, que también se llama replicabilidad, implica la reproducibilidad del resultado a través de una serie de procesos experimentales posiblemente radicalmente diferentes. Ambas nociones desempeñan un papel importante en la práctica científica. Por un lado, si todo un proceso experimental es reproducible, este hecho facilitará su uso tecnológico. Por ejemplo, los procedimientos reproducibles de los experimentos de Justus von Liebig en química orgánica definitivamente facilitaron la producción tecnológica de fertilizantes artificiales (incluso si la plena implementación de esta tecnología agrícola, en línea con la en la Sección 5, requirió más investigación y conocimientos adicionales). Por otro lado, si el resultado de un proceso experimental es replicable, puede considerarse en la abstracción del proceso experimental original, a través del cual se produjo hasta ahora. Este tipo de abstracción constituye un primer paso hacia un tratamiento teórico más amplio y una comprensión del significado y las implicaciones de este resultado. Supongamos, por ejemplo, que ciertos procesos experimentales reproducibles en un cristal de rubí dan como resultado la producción de un rayo láser. Si este resultado es replicable, tendrá sentido abstraerlo de los procesos específicos en cristales de rubí y estudiar el fenómeno de las talas desde una perspectiva más general y teórica. Este argumento puede resumirse diciendo que los conceptos teóricos poseen un significado no local, es decir, un significado que trasciende esencialmente el significado que tienen como interpretaciones de los procesos experimentales locales, a los que se han aplicado, por lo tanto, lejos. Concluyo que el significado y la función de las teorías no pueden reducirse a su función guía en la producción de artefactos experimentales particulares.

Esta conclusión socava el núcleo de la visión científica como tecnología de Lelas, así como las opiniones similares de otros filósofos, como Latour, los primeros Habermas, Heidegger y Janich.

7 CONCLUSIÓN

En este capítulo se ha abordado la relación entre la ciencia y la tecnología, principalmente desde una perspectiva conceptual-teórica pero con un gran ojo para sus prácticas reales. Como hemos visto en la Sección 2, son

difíciles obtener definiciones estrictas de los objetivos de la ciencia y la tecnología, en el sentido de una o dos características que constituyen condiciones necesarias y suficientes. Todos los intentos de proporcionar definiciones esencialistas de la ciencia y la tecnología demuestran ser cuestionables (cf. [Mitcham, 1994]). Lo que resulta de los debates anteriores, es un relato más diferenciado en el que la ciencia y la tecnología exhiben similitudes y diferencias. Partiendo de una pre-comprensión intuitiva que necesita ser calificada o modificada por estudios empíricos, ciencia, tecnología y su relación puede caracterizarse por estas similitudes y diferencias, o más precisamente por ciertos patrones que comparten y por otros patrones que son más típicos de uno que del otro. Así, como se explica en la Sección 2, la idea intuitiva de que el diseño de cosas y procesos materiales podría constituir un contraste esencial entre la ciencia y la tecnología, debe ajustarse a un patrón de similitud y disparidad: dado que el diseño es una característica de la ciencia observacional y experimental, el contraste se aplica simplemente a la ciencia teórica. La sección 5 muestra la importancia de controlar las interacciones de los sistemas experimentales y tecnológicos con su entorno. Al mismo tiempo, las diferencias típicas en la escala espaciotemporal y en la naturaleza del medio ambiente, implican una serie de importantes diferencias cognitivas, materiales y sociales entre la ciencia y la tecnología. Del mismo modo, la Sección 6 demuestra que la noción de reproducibilidad se aplica tanto a la ciencia como a la tecnología. Pero de nuevo, surge una diferencia importante, ya que la tecnología se centra principalmente en la reproducibilidad de todo el proceso tecnológico, mientras que la práctica científica exhibe un énfasis adicional en la replicabilidad y la abstracción. Por lo tanto, esta línea de razonamiento va en contra de la reducción de la ciencia a la tecnología y aboga por la legitimidad de una ciencia teórica que no es, o al menos no es inmediatamente, útil tecnológicamente.

La Sección 3 muestra que el relato de Mario Bunge sobre la tecnología como ciencia aplicada es fundamentalmente defectuoso. La supuesta subordinación epistemológica de la tecnología a la ciencia y la supuesta insignificancia del trabajo artesanal práctico no encajan en episodios ejemplares de desarrollo científico y tecnológico. Una disparidad restante es un mayor énfasis (en la tecnología), en la realización de objetivos externos y sociales. Sin embargo, incluso esta afirmación necesita una doble calificación. En primer lugar, tales objetivos son, por así decirlo, los objetivos colectivos y distales que no necesitan tener un impacto inmediato en los objetivos aproximados y por lo tanto en la "perspectiva y motivación" de los tecnólogos individuales. Además, la

ciencia básica, en particular la ciencia básica contemporánea, puede orientarse igualmente hacia esos objetivos distales. En términos más generales, de acuerdo con la teoría de la finalización discutida en la Sección 4, la noción de "aplicación" se ha vinculado estrechamente a puntos de vista similares a los de Bunge. Por lo tanto, seguir usando esta noción parece ser desaconsejable. En cambio, sugiero la locución "los usos de la ciencia". Por supuesto, simplemente reemplazar "aplicar la ciencia" por "usar la ciencia" tampoco es muy útil. Necesitamos especificar esta frase de una manera cuádruple. Es decir, tenemos que plantear y responder a las siguientes preguntas: ¿qué aspectos de la ciencia se utilizan, con qué medios adicionales, con qué resultados tecnológicos y para qué fines? En cuanto a los diferentes "aspectos de la ciencia", hemos visto que no sólo se pueden utilizar leyes fundamentales, sino también modelos más locales, y no sólo herramientas teóricas, sino también resultados y técnicas experimentales u observacionales. Lo que también hemos visto, especialmente en las Secciones 4 y 5, es que el uso de la ciencia requiere "medios adicionales" en forma de trabajo adicional sustancial para salvar las brechas entre los problemas científicos y tecnológicos, los resultados y los contextos. Los principales ejemplos de estos medios son el desarrollo de conocimientos tecnológicos realmente nuevos y la investigación sustancial necesaria para transponer los resultados de experimentos de laboratorio exitosos a sistemas tecnológicos estables y reproducibles. Esto implica inmediatamente una diferenciación en los "resultados tecnológicos", que pueden ser conocimientos tecnológicos, métodos y procedimientos tecnológicos, o artefactos y sistemas tecnológicos, incluidos los conocimientos sociales y las condiciones sociales necesarias para su realización estable y reproducible. Por último, están los "propósitos de utilizar la ciencia" en los proyectos tecnológicos. Estos propósitos pueden ser objetivos amplios y sociales, pero también puede haber fines científicos más limitados. Dado que el avance de la ciencia a menudo depende de la disponibilidad de instrumentación tecnológica de vanguardia, el final de la fabricación de nuevos instrumentos puede ser para alimentarlo inmediatamente de nuevo en el desarrollo de la ciencia en sí. Por supuesto, la ciencia también se utiliza a menudo con vistas a «objetivos sociales más amplios». Un relato satisfactorio de la naturaleza y la legitimidad de tales objetivos requeriría una diferenciación mucho mayor. Después de todo, hay una gran diferencia entre el caso de una sola empresa que desea producir un artefacto específico para mejorar sus propios beneficios o el caso de la Organización Mundial de la Salud instando a los científicos biomédicos a desarrollar más conocimientos y tecnología médica para el propósito de una lucha mundial contra el paludismo. Por lo tanto, los relatos filosóficos de la

relación entre ciencia y tecnología, como se explica en este capítulo, deben complementarse con relatos igualmente diferenciados de las cuestiones sociales y normativas que son intrínsecas a los usos de la ciencia en la tecnología.

LA INGENIERÍA COMO LA CIENCIA EMERGENTE

David F. Channell

1 INTRODUCCION

Las ciencias de la ingeniería, que proporcionan una base de conocimiento para la comprensión y el diseño de artefactos construidos humanamente, surgieron durante los siglos XVIII y XIX, cuando nuevas fuerzas económicas, políticas, sociales e intelectuales estaban creando nuevas relaciones entre la ciencia y la tecnología [Channell, 1989]. A lo largo de la historia, tres modelos principales han desempeñado un papel en la comprensión de la relación entre la ciencia y la tecnología: el modelo independiente, el modelo dependiente y el modelo interdependiente. Según el modelo independiente, la ciencia y la tecnología son reinos independientes del conocimiento con poca interacción entre ellos. El modelo dependiente considera que la tecnología depende de las aplicaciones de la ciencia o de la ciencia depende de las aplicaciones de la tecnología. Por último, el modelo interdependiente argumenta que las dos áreas forman una relación simbiótica para que las características distintivas de las dos áreas se difuminen. Aunque los ejemplos de los tres modelos de la relación entre la ciencia y la tecnología a menudo se pueden encontrar en un período histórico dado, el modelo independiente tendía a ser dominante en los períodos antiguo y medieval, el modelo dependiente era más dominante en los principios del período moderno a lo largo del siglo XIX, y el modelo interdependiente entró en dominio durante el siglo XX. Las relaciones cambiantes entre la ciencia y la tecnología se basaron en las definiciones cambiantes de las dos áreas de actividad y en el surgimiento de una noción más o menos moderna de lo que hoy etiquetamos como ciencia y tecnología [Oldenziel, 2006]. Como tal, la historia de las ciencias de la ingeniería refleja el desarrollo de los conceptos más o menos modernos de la ciencia y la tecnología y sus interacciones [Laudan, 1984; Kline, 1995]. A lo largo de gran parte de la

historia, las actividades que ahora etiquetamos como ciencia y tecnología siguieron diferentes tradiciones sociales e intelectuales y, a excepción de algunos casos, tuvieron poco impacto el uno en el otro [Layton, 1974] (para argumentar que la ciencia y la tecnología están vinculadas de manera conceptual-teórica, véase [Radder, 2009]). Comenzando en tiempos antiguos la actividad que vemos hoy en día como la ciencia, fue más correctamente etiquetada filosofía natural. Como rama de la filosofía, se centró en hacer y responder preguntas sobre la naturaleza última del mundo físico y el universo. La filosofía tradicionalmente natural, puso poco énfasis en resolver problemas individuales o prácticos. Más bien, la filosofía natural utilizaba métodos matemáticos, geométricos y otros métodos racionales con el fin de idealizar los problemas para que sus soluciones pudieran aplicarse universalmente a las descripciones de la naturaleza en su conjunto. Dado que la filosofía natural dependía principalmente de la contemplación, se asoció estrechamente con las élites y después de la fundación de las universidades durante la Edad Media, la mayoría de los filósofos naturales tuvieron educación universitaria. Finalmente, debido a la estrecha asociación de la filosofía natural con la educación formal, el conocimiento de la ciencia se obtuvo y difundió a través de una tradición escrita de tratados, libros de texto y revistas. Desde tiempos antiguos, la actividad que vemos hoy en día como tecnología fue más a menudo etiquetada como las artes manuales, mecánicas o técnicas. Como actividad práctica, se trata de problemas prácticos que se producen en situaciones específicas. Los mecánicos y artesanos tradicionalmente usaban técnicas de empirismo o regla de silencio que eran aplicables a situaciones individuales, pero que por lo general no podían generalizarse a una clase más amplia de problemas. Las artes mecánicas eran la provincia de una clase artesanal y antes del siglo XVIII pocos mecánicos tenían cualquier educación formalizada o formación universitaria. Dado que la mayor parte del conocimiento de las artes mecánicas fue el resultado de la observación y la experiencia, se obtuvo principalmente a través de un sistema de aprendizaje

y se difundió a través del contacto directo entre el maestro y el alumno. Se registraba muy poco conocimiento técnico y cuando era por lo general en una forma visual en lugar de una forma escrita.

Durante los últimos períodos medievales y principios modernos, algunas de las diferencias intelectuales y sociales que dividen la filosofía natural de las artes mecánicas comenzaron a ser superadas, y en los siglos XVIII y XIX, cambios sociales, económicos, políticos y filosóficos llevó al surgimiento de los conceptos más o menos modernos de la ciencia y la tecnología [Kuhn, 1977, págs. 31-65]. Con el desarrollo de una concepción de la ciencia que se basaba tanto en una filosofía mecánica y experimental como en el desarrollo de un concepto de tecnología, o ingeniería, que se basaba en una ciencia de las artes prácticas, la puerta se abrió a un nuevo conjunto de interacciones entre la ciencia y la tecnología [Layton, 1971]. Esta posibilidad se materializó durante los siglos XVIII y XIX por las nuevas demandas resultantes de la industrialización y con ella el establecimiento de nuevas instituciones, como escuelas de ingeniería, institutos técnicos, investigación industrial laboratorios y sociedades profesionales de ingeniería. Estas nuevas instituciones crearon nuevas investigaciones y metodologías que dieron lugar a una nueva armonía entre la teoría y la práctica, lo que condujo al surgimiento de las ciencias de la ingeniería, que sirvieron como un modo de conocimiento intermediario que unía la ciencia y la práctica de Tecnología. Como modo intermedio de conocimiento, las ciencias de la ingeniería facilitaron la transferencia y transformación de conocimientos y metodologías entre ciencia y tecnología. Como tal, las ciencias de la ingeniería surgieron no sólo como aplicaciones de la ciencia a la tecnología, sino también como aplicaciones de la tecnología a la ciencia. A finales del siglo XIX, el auge de las industrias basadas en la ciencia, en particular las industrias químicas y eléctricas, hizo que las ciencias de la ingeniería tomaran el carácter de lo que algunos han llamado ciencias basadas en la industria [König, 1996, p. 100]. Finalmente, durante el siglo XX el auge del complejo militar-industrial comenzó

a desdibujar por completo las distinciones entre ciencia y tecnología y ayudó a transformar las ciencias de la ingeniería en ciencias del techno.

2 LOS PERIODOS ANTIGUOS, MEDIEVALES Y MODERNOS ANTERIORES

2.1 El período antiguo

Aunque las ciencias de la ingeniería no surgieron hasta los siglos XVIII y XIX, los desarrollos anteriores prepararon el camino para el establecimiento de las ciencias de la ingeniería [Landels, 1978]. Las filosofías dominantes y los sistemas sociales que influyeron en la antigua Grecia y Roma crearon una ideología que dificultó que hubiera algo más que interacciones muy limitadas entre la filosofía natural y las artes mecánicas. La filosofía platónica generalizada en la antigua Grecia, puso el valor intelectual más alto en un mundo ideal que podía ser captado con la mente y no con los sentidos. Debido a la influencia de tal sistema era mucho más importante aplicar la filosofía natural y las matemáticas a una comprensión del mundo ideal de las formas, en lugar de aplicar ese conocimiento al mundo material que se consideraba una mera sombra de la realidad definitiva. Algunas de las limitaciones de la filosofía de Platón fueron superadas por la filosofía de Aristóteles, que le daba más valor al mundo material y el papel de los sentidos, pero la influencia de Aristóteles en una interacción entre la filosofía natural y las artes técnicas fue limitada por las barreras sociales entre las dos áreas. La antigua Grecia era una sociedad construida sobre la esclavitud. Como tal, las actividades asociadas con el trabajo manual o las artes mecánicas fueron vistas como vulgares e innobles, mientras que las actividades asociadas con la filosofía fueron vistas como liberales e iluminadores. Aunque las interacciones entre la filosofía natural y las artes mecánicas fueron limitadas durante el período antiguo, hubo algunos ejemplos de algunas interacciones que desempeñarían un papel en el desarrollo futuro de

las ciencias de la ingeniería [Clagett, 1963]. Muchas de estas interacciones tuvieron lugar en el período helenístico durante el cual, el estado de Alejandría comenzó a apoyar activamente el estudio de la filosofía natural a través del establecimiento de instituciones como el Museo de Alejandría. Con apoyo estatal, los filósofos naturales comenzaron a abordar algunos problemas que eran más prácticos y que reflejaban las necesidades del estado. Algunos contemporáneos afirmaron que una de las razones para establecer el Museo era para que los filósofos naturales pudieran ayudar a mejorar las armas de guerra [Hacker, 1997]. A partir del siglo IV a.C., los griegos estaban llevando a cabo un estudio para reducir la mecánica a los principios matemáticos. Una de las primeras obras de esta tradición fue el Tratado sobre el Equilibrio (c. 300 a.C.), atribuido a Euclides que estaba asociado con el Museo de Alejandría. En este trabajo Euclides presentó un análisis geométrico de la palanca, pero el estudio matemático más extenso de la mecánica durante el período helenístico se encontró en las obras de Arquímedes, que pudo haber visitado Alejandría cuando era un joven [Drachmann, 1962]. En su trabajo, Sobre el equilibrio de planos, Arquímedes proporcionó una prueba matemática formal de la ley de la palanca, utilizando un marco de postulados y proposiciones similares al enfoque utilizado por Euclides en geometría. Un elemento importante del enfoque de Arquímedes fue su idealización de todos los elementos de la palanca para que los pesos en cada extremo se convirtieran en fuerzas que actúan en puntos individuales y la palanca se convirtiera en una línea geométrica que descansaba en un fulcro idealizado. Aunque el enfoque de Arquímedes desempeñaría un papel importante en el desarrollo posterior de la aplicación de la ciencia al estudio de la mecánica, hay evidencia de que el propósito del trabajo de Euclides y Arquímedes era obtener información sobre los principios matemáticos y propuestas a través del uso de ejemplos físicos, y puede ser más correcto ver su enfoque como una aplicación de las artes técnicas a la filosofía natural en lugar de al revés. Otra figura importante en la mecánica helenística fue Héroe de

Alejandro (siglo I d.C.), que siguió la tradición de Arquímedes y probablemente tuvo alguna conexión con el Museo de Alejandría [Drachmann, 1948]. En su tratado el Mecánico, proporcionó un análisis geométrico de las llamadas cinco máquinas simples, en términos de cómo podían mover un peso usando una fuerza dada. Al analizar cada una de las máquinas simples en términos de un solo principio, Héroe proporcionó la base para la comprensión de máquinas mucho más complejas, que podían ser vistos como compuestos por combinaciones de máquinas simples. En su libro más famoso, el Héroe Neumático, utilizó el principio aristotélico de la imposibilidad de un vacío para describir un gran número de máquinas y dispositivos que operaban con agua, aire o vapor [Hall, 1973]. Una vez más, el Mecánico y la Neumática parecen ser ejemplos de la aplicación de la ciencia a la tecnología, e influirían en ingenieros posteriores que ayudaron a establecer las ciencias de la ingeniería, pero varios eruditos han argumentado que el trabajo de Héroe, como el de Arquímedes, estaba destinado a mostrar ejemplos físicos diseñados para proporcionar una comprensión concreta de algunas leyes científicas, como el principio de que la naturaleza aborrece el vacío. Como tal, el desarrollo de la mecánica del Héroe puede ser más representativo de la aplicación de la tecnología a la ciencia.

2.2 El periodo medieval

El desarrollo de la filosofía natural y las artes técnicas durante la Edad Media fue casi una imagen espejo de la del período de los griegos. Durante el período de los antiguos griegos, la filosofía natural y las matemáticas florecieron y las artes mecánicas fueron descuidadas, pero durante el período medieval las artes técnicas comenzaron a florecer mientras que la filosofía natural se convirtió en la "sierva de la teología" [Clagett, 1959; Lindberg, 1992]. Aunque la filosofía natural y las artes mecánicas se consideraban, en su mayor parte, actividades independientes distintas, los cambios que tuvieron lugar durante el período, comenzaron a romper algunas de las barreras intelectuales y sociales que dividían las dos áreas. El auge del cristianismo, que dominó la vida social y

cultural de la Edad Media, produjo cambios significativos en las actitudes hacia la filosofía natural y las artes técnicas. La disminución de la población durante el caos que resultó de la caída de Roma y el desaliento de la Iglesia cristiana, llevaron a una disminución de la esclavitud. Junto con esto, el ascenso y la propagación del sistema monástico ayudaron a superar algunas de las barreras sociales que había separado la filosofía natural de las artes mecánicas. El hecho de que los monjes fueran eruditos alfabetizados con alto nivel social y, sin embargo, se dedicaran activamente al trabajo manual estableció la idea de la dignidad del trabajo. El auge del cristianismo medieval también proporcionó un nuevo marco filosófico que ayudó a superar las barreras intelectuales que dividían la filosofía natural de las artes mecánicas [Blanco, 1978]. Un número de eruditos comenzó a tratar las artes técnicas más como las artes liberales. Durante el siglo XII Domingo Gundisalvo, en su *De divisione philosophiae* (c. 1150), introdujo una interpretación árabe de Aristóteles que argumentaba que las artes mecánicas eran simplemente la parte operativa de los conocimientos teóricos. Al mismo tiempo Hugh de San Víctor, maestro de la abadía de San Víctor cerca de París, escribió el *Didascalicon*, en el que argumentaba que había siete artes mecánicas -tejido, fundición de armas, navegación, agricultura, caza, medicina y drama- que eran paralelas a la siete artes liberales [Taylor, 1991]. Para Hugh las siete artes mecánicas podrían ayudar a restaurar a los seres humanos a las condiciones físicas que existían antes de la Caída. El hecho de que las artes mecánicas estuvieran asociadas con la restauración de un estado físico prelapsario y que fueran esencialmente imitativas, significaba que las artes mecánicas tenían que tener alguna conexión con el mundo de la naturaleza y, por lo tanto, con la filosofía natural. Señaló que a los seres humanos se les dio la capacidad de la razón para que pudieran estudiar la naturaleza y crear lo que necesitaban a través del acto de invención. En el siglo XIII Robert Kilwardby, en su *De ortu scientiarum*, sintetizó las ideas de Gundisalvo y Hugh de San Víctor y cuestionó la distinción todavía ampliamente celebrada entre los conocimientos

teóricos y prácticos. Argumentó que los conocimientos teóricos a menudo podían ser prácticos y los conocimientos prácticos podían ser teóricos. Esto significaba que cada una de las artes mecánicas tenía alguna relación con alguna forma específica de conocimientos teóricos, como la relación entre la navegación y la astronomía. Al mismo tiempo, que algunos eruditos medievales argumentaban que las artes mecánicas podían ser vistas como más teóricas, otros eruditos argumentaron que la filosofía natural podía ser vista como más práctica. La escasez de Biblias y literas para leerlas llevó a muchos en la Iglesia a recurrir a otro libro— el libro de la naturaleza [Blanco, 1978]. Tal libro podría ser "leído", usando una teología natural, para señales o firmas que indicaban el plan divino de Dios. Con el tiempo, la gente llegó a creer que la naturaleza no sólo contenía señales que apuntaban hacia la salvación, sino que la naturaleza contenía los elementos necesarios para lograr la salvación. Esto condujo a una re-conceptualización de la naturaleza que la hizo mucho más práctica y abierta a las artes mecánicas. La naturaleza, que había sido el foco de la filosofía natural ya no era vista como un ideal matemático abstracto; más bien ahora era visto como un almacén de potenciales que no sólo podían ser estudiados por su propio bien, sino que podían ser explotados con el fin de reproducir algún drama de salvación. En lugar de un enfoque puramente contemplativo de la naturaleza, la Edad Media adoptó un enfoque más activista.

La re-conceptualización de la filosofía natural también fue influenciada por la batalla por la fe versus la razón. Irónicamente, el intento de la Iglesia medieval de poner la fe por encima de la razón ayudó a introducir una nueva visión más empírica de la filosofía natural [McEvoy, 1982, p. 206]. Durante el siglo XIII, el Obispo de París emitió una condena de una serie de proposiciones filosóficas aristotélicas, como el argumento de que Dios no podía crear un vacío, o múltiples mundos. Si bien las condenas han sido vistas como un ataque a la filosofía natural, varios eruditos han argumentado que abrieron nuevas posibilidades para la filosofía natural. Un resultado importante de las

condenaciones fue un nuevo enfoque en la omnipotencia de Dios. Pero si Dios pudiera crear el mundo de la manera que quisiera, el mundo que los humanos experimentaron era contingente más que necesario. Para algunos eruditos medievales esto significaba que la filosofía natural era inútil, ya que la naturaleza era impredecible, pero otros argumentaron que la filosofía natural debe examinar el mundo, directa y empíricamente, para descubrir qué tipo de mundo Dios había creado realmente. Uno de los filósofos naturales más influyentes de finales de la Edad Media fue Robert Grosseteste, quien introdujo el concepto de lo experimental en la filosofía natural [McEvoy, 1982, pp. 207-208]. El concepto de Grosseteste no incluía la noción moderna de experimentos sistemáticos y controlados, pero sí argumentó que un estudio del mundo natural debería basarse en la experiencia, ya que el conocimiento del mundo real nunca podría alcanzar la certeza que uno podría obtener a través del estudio matemático de objetos ideales. Esta nueva visión empírica de la filosofía natural la acercó a las artes mecánicas como se puede ver en la obra de Roger Bacon, que era un gran admirador de Grosseteste [Easton, 1952; Lindberg, 1983]. Pero Bacon fue más allá de Grosseteste y argumentó que los experimentos no sólo podían confirmar el conocimiento adquirido a través de la razón, sino que podían ser utilizados para descubrir algunos usos prácticos para ese conocimiento [Lindberg, 1983, p. 226]. En sus *Operaciones Secretas de la Naturaleza*, Bacon presentó algunas maneras en las que la filosofía natural podría haber sido de utilidad práctica, como carruajes autopropulsados y máquinas voladoras. Si bien el período medieval comenzó a superar algunas de las barreras sociales e intelectuales que separaban la filosofía natural de las artes mecánicas, todavía había otras barreras que había que superar. Muchos de los eruditos medievales que se ocupaban de las artes mecánicas se centraban sólo en los aspectos intelectuales o teóricos de esas artes e ignoraban las habilidades y el trabajo reales que se les introducen. Al hacerlo, a menudo continuaban las distinciones entre la actividad intelectual y la artesanía manual. Más importante fue la barrera creada por la

filosofía aristotélica. Si bien había algunos desafíos para Aristóteles a finales de la Edad Media, su filosofía, y particularmente su ontología orgánica, todavía dominaban el período medieval. Mientras la filosofía aristotélica dominara la filosofía natural, era difícil crear una filosofía natural basada en principios mecánicos que proporcionara un marco ontológico común que pudiera incorporar tanto la ciencia como la tecnología.

2.3 El período moderno temprano

Durante el período moderno temprano, que incluyó lo que algunos han etiquetado la Revolución Científica, las barreras sociales e intelectuales que dividieron las artes mecánicas de lo que a veces se estaba etiquetando ciencia, continuaron siendo superadas. Basándose en invenciones, como la imprenta, la pólvora y las nuevas técnicas de navegación que se habían originado a finales de la Edad Media, el período moderno temprano vio una expansión dramática del comercio mundial y la actividad comercial que algunos han etiquetado como Revolución. Esta actividad comercial, junto con una guerra casi constante, llevó a muchos de la nobleza europea a patrocinar a los ingenieros debido a sus posibles contribuciones a las fuerzas armadas, al sistema mercantil, y porque muchos de los ingenieros también tenían habilidades en pintura, escultura y arquitectura. El surgimiento del artista-ingeniero renacentista, como Leonardo Da Vinci, Leon Battista Alberti, Filippo Brunelleschi y Francesco di Giorgio Martini ayudó a salvar la división social e intelectual que a menudo separaba las artes mecánicas de las filosofías naturales [Prager y Scaglia, 1970]. La mayoría de los artistas-ingenieros tenían experiencia en las artes manuales, pero por lo general no eran analfabetos, y debido a sus conexiones con la nobleza como mecenas tenían acceso a las clases altas de la sociedad. Los artistas-ingenieros del Renacimiento ayudaron a transformar las artes mecánicas en una forma sistemática de conocimiento que podría ser estudiada y compartida abstractamente. Durante el Renacimiento, los artistas descubrieron la idea de la perspectiva de punto fijo. Si bien las técnicas proporcionaron a los artistas un

nuevo estilo en el que pintar, proporcionó a los ingenieros una nueva y poderosa herramienta con la que podían pensar en dispositivos técnicos y una nueva forma eficiente de compartir información técnica con otros ingenieros [Ferguson, 1977]. La perspectiva de punto fijo proporcionaba un método para representar una máquina o estructura tridimensional en dos dimensiones. Al hacerlo, la técnica proporcionó a los ingenieros una manera de visualizar y analizar máquinas y estructuras sin pasar por el tiempo y los gastos de la construcción de la máquina o estructura. Al dibujar y analizar una amplia variedad de máquinas, Leonardo Da Vinci fue capaz de descubrir el concepto de un mecanismo [Reti, 1974]. Antes de Leonardo la mayoría de los ingenieros pensaban en cada máquina como única y algo que tenía que ser diseñado como un todo. Pero al analizar dibujos de una amplia gama de máquinas, Leonardo parecía entender que diferentes tipos de máquinas tienen una serie de elementos, o mecanismos, en común, y que las máquinas y estructuras podrían reducirse fundamentalmente a componentes universales, como mecanismos o marcos. Esto abrió la posibilidad de un estudio sistemático de máquinas y estructuras. Al mismo tiempo que las artes mecánicas se estaban acercando a una ciencia, la filosofía natural experimentó algunas transformaciones significativas que la acercaron a las artes mecánicas [Jacob, 1988]. Muchos de los desarrollos significativos de los antiguos griegos en filosofía natural y matemáticas no habían estado disponibles para el Occidente latino durante la Edad Media, pero durante los siglos XV y XVI nuevas traducciones de las obras de Platón, Euclides, Arquímedes y los atomistas griegos comenzaron a aparecer en Europa y condujeron a lo que algunos han llamado la Revolución Científica [Lindberg y Westman, 1990]. Durante este período se combinaron tres enfoques de la filosofía natural para transformarla en algo que podríamos etiquetar ciencia. En primer lugar, en algunas universidades, como Padua, la facultad de medicina llegó a dominar la facultad de la divinidad. Como resultado, se prestó más atención a la filosofía natural de Aristóteles que a sus obras

lógicas. Esto a su vez condujo a nuevos intereses en la observación y experimentación. En segundo lugar, las nuevas traducciones de Platón y Arquímedes condujeron a un nuevo interés en el desarrollo de teorías matemáticas de la filosofía natural. En tercer lugar, estos dos enfoques diferentes fueron unidos por el surgimiento de un enfoque mágico, o hermético, de la naturaleza [Yates, 1979]. Las ideas herméticas influyeron fuertemente en una serie de destacados filósofos naturales y llevaron a la opinión de que una combinación de conocimientos teóricos y experimentales podría ser utilizada para manipular las fuerzas de la naturaleza para algunos propósitos prácticos [Newman, 2004].

John Dee, un posible modelo para el Próspero de Shakespeare, argumentó que tanto la filosofía natural como las artes mecánicas como la hidráulica, la mecánica y la navegación, estaban gobernadas por la geometría, que él veía como una forma de magia matemática [Dee, 1975]. Los cambios religiosos en el período moderno temprano, especialmente los asociados con la Reforma Protestante, también desempeñaron un papel importante en el establecimiento de una visión más práctica de la filosofía natural. El énfasis de los puritanos y anglicanos latitudinarios en las buenas obras y la creencia milenaria en perfeccionar el mundo, llevó a la idea de que el conocimiento, particularmente la filosofía natural, tenía que ser visto como útil. La idea de una nueva visión práctica de la filosofía natural fue popularizada en el siglo XVII por Francis Bacon, quien sostuvo que el objetivo de la filosofía natural no debe ser simplemente el conocimiento, sino más bien una forma de conocimiento que permita a los seres humanos ejercer poder y control sobre la naturaleza [Rossi, 1970; Stewart, 1992]. Bacon presentó su idea de una nueva filosofía natural práctica en su *Nueva Atlántida* (1628), donde describió una sociedad utópica que tenía una institución, llamada Casa de Salomón, en la que grupos de investigadores utilizaban el conocimiento de la filosofía natural para mejorar los motores, máquinas, cañones, relojes y barcos [Farrington, 1951; Martin, 1992].

Aunque el objetivo de Bacon de una filosofía natural basada en las artes mecánicas no se cumplió en su vida, sus ideas influyeron en la fundación de la Royal Society de Londres en 1662 y presagiaron el surgimiento del laboratorio de investigación industrial en el siglo XX. Mientras Bacon presentó la idea de que la filosofía natural podía aplicarse a las artes mecánicas, otros comenzaron a argumentar que las artes mecánicas podrían ser utilizadas para explicar la filosofía natural. A partir del siglo XVI con René Descartes, y continuando con Pierre Gassendi, Thomas Hobbes, Robert Boyle, G.W. Leibniz e Isaac Newton, los filósofos naturales comenzaron a desarrollar una filosofía mecánica en la que toda la naturaleza era vista como un máquina gigantesca o mecanismo de relojería. El hecho de que gran parte de la filosofía natural, que surgió de la Revolución Científica fue concebida en términos de analogías mecánicas con máquinas o relojes, hizo que la filosofía natural parecía estar mucho más cerca de las artes mecánicas [Dijksterhuis, 1961]. El estudio sistemático de las artes mecánicas llevado a cabo por los ingenieros de artistas y el desarrollo de una nueva visión práctica de la filosofía natural provocada por las filosofías baconianas y mecánicas, dio lugar a una serie de desarrollos que contribuirían al establecimiento posterior de las ciencias de la ingeniería [Drake y Drabkin, 1969]. Uno de los acontecimientos más importantes fue el trabajo de Galileo. Aunque es más conocido por su apoyo al sistema copernicano, que resultó en su posterior ensayo, Galileo había adquirido experiencia práctica trabajando en el Arsenal veneciano, lo que llevó a un análisis revolucionario de las máquinas que presentó en su, *Sobre Mecánica* (1600) [Cardwell, 1995, págs. 83-89]. Antes de Galileo la mayoría de las máquinas eran juzgadas por estándares cualitativos, como la calidad de la construcción, y las máquinas eran a menudo vistas como dispositivos ingeniosos que de alguna manera funcionaban por naturaleza tramposa, pero Galileo argumentó que las máquinas simplemente tomaban alguna fuerza natural y lo transformó para un propósito útil. Utilizando el principio de Arquímedes de la palanca, Galileo demostró que en una máquina

perfecta y sin fricción, las fuerzas que pusieron la máquina en movimiento eran las mismas que las fuerzas necesarias para mantenerla en un estado de equilibrio. Este enfoque geométrico permitió a Galileo calcular cómo una máquina ideal transformó las fuerzas y movimientos aplicados a ella, y al comparar una máquina real con esta máquina ideal, fue capaz de evaluar cuantitativamente esa máquina real en términos de algo que más tarde se llamaría eficiencia.

Después de su juicio, Galileo regresó al estudio de la mecánica y ayudó a establecer algunos de los principios básicos de lo que se convertiría en las ciencias de la ingeniería a través de su trabajo, Discurso sobre las Dos Nuevas Ciencias. En el Discurso, que estableció en el Arsenal veneciano, Galileo abordó una serie de problemas prácticos. En primer lugar, analizó el efecto de escala y mostró por qué no era posible construir una máquina o estructura dos veces más grande que una máquina o estructura dada, simplemente duplicando todas las dimensiones del original. El estudio de Galileo del efecto de la escala lo llevó a la primera de sus nuevas ciencias: la fuerza de los materiales. Usando el enfoque geométrico de Arquímedes, calculó la cantidad de peso que una viga fijada en un extremo a una pared podría soportar si se carga en el otro extremo. También fue capaz de analizar cómo la forma de la viga afectaría su fuerza. Galileo también utilizó un enfoque arquímideo en su segunda nueva ciencia: el estudio del movimiento. Usando principios geométricos fue capaz de mostrar que un proyectil disparado desde un cañón seguiría un camino parabólico, y calculó el rango comparativo de un proyectil disparado en diferentes ángulos de elevación.

3.- LOS ORIGENES DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERIA EN LOS SIGLOS XVIII Y XIX.

En el siglo XVIII una serie de cosas se estaban uniendo que permitirían el surgimiento de las ciencias de la ingeniería. Las barreras sociales e intelectuales que habían dividido la filosofía natural de las artes mecánicas

continuaron siendo superadas. Durante el comienzo de este período hubo avances significativos en la tecnología, especialmente en Gran Bretaña, que muchos han llamado la Revolución Industrial. La producción de hierro con coque en lugar de carbón vegetal, la invención de la máquina de vapor, la mecanización de la industria textil, la centralización de la producción en el sistema de fábrica y el desarrollo de los ferrocarriles cambiaron la sociedad del siglo XVIII y principios del XIX . Con el desarrollo de motores de vapor, ferrocarriles, barcos con casco de hierro oceánicos y puentes de hierro a gran escala, se volvió poco práctico y poco económico para los ingenieros utilizar técnicas tradicionales de regla de control o de prueba y error. Al mismo tiempo, los científicos que estaban interesados en la aplicación práctica de la ciencia estaban aprendiendo lo que los ingenieros ya sabían, que muchas de las leyes de la ciencia recién descubiertas no eran directamente aplicables a la tecnología. La mecánica newtoniana podría explicar las fuerzas que actúan entre dos átomos, pero no ayudó a determinar cómo un haz de hierro podría actuar bajo una carga compleja. La ley de Boyle explicaba la relación entre presión y volumen en un gas ideal, pero era de poca utilidad para describir cómo el vapor actuaba en una máquina de vapor en funcionamiento. La ecuación de Bernoulli de la mecánica clásica de fluidos tuvo una aplicación limitada en la descripción de fluidos reales bajo flujo no laminar. En respuesta a las necesidades de la Revolución Industrial surgieron una serie de instituciones cuyo objetivo principal era desarrollar ciencias más tecnológicas. A menudo estas instituciones reflejaban los valores intelectuales y sociales de las culturas en las que surgieron, lo que condujo a diferentes enfoques para la creación de las ciencias de la ingeniería. En Inglaterra, las nuevas clases empresariales e industriales alentaron el establecimiento de una serie de instituciones inspiradas en la ideología baconiana de una aplicación práctica de la ciencia. A través de logias masónicas, conferencias de cafeterías, Academias Disidentes, Institutos de Mecánica y sociedades provinciales locales, como la Sociedad Lunar de Birmingham y la

Sociedad Literaria y Filosófica de Manchester, ideas científicas, Filosofía natural newtoniana, se difundieron y popularizaron a las nuevas clases empresariales e industriales [Schofield, 1963]. El enfoque más democrático de Inglaterra para el desarrollo de una ciencia práctica llevó a un énfasis en el empirismo y la experimentación que se vieron menos elitistas que las matemáticas. La ideología de Bacon de una aplicación práctica de la ciencia también influyó en Francia, pero las diferencias sociales y políticas entre Inglaterra y Francia llevaron a las instituciones francesas a ser más fuertemente formadas y más estrechamente alineadas con el Estado [Artz, 1966; Weiss, 1982]. Ya en el siglo XVII Jean-Baptiste Colbert, ministro jefe de finanzas de Luis XIV, sostuvo que los fabricantes y mercantilistas franceses se beneficiarían de la reforma educativa y propuso establecer una serie de academias para enseñar lo científico y base práctica de temas tales como la navegación, la construcción de puentes y la fabricación. En el siglo XVIII, la participación del gobierno francés en proyectos militares y mercantiles condujo a la creación del Cuerpo de Ponts et Chaussées en 1716 y a la creación de la Ecole des Ponts et Chaussées en 1747 [Brunot y Coquand, 1982]. Poco después, se establecieron escuelas militares en La Fère y en Mézières junto con la Ecole des Mines [Alder, 1997]. Fue en la escuela de artillería de La Fère donde Bernard Forest de Bélidor utilizó por primera vez el término ciencia de la ingeniería en su libro titulado La ciencia del diseño en ingeniería [1729]. Una de las contribuciones más importantes al surgimiento de las ciencias de la ingeniería fue el establecimiento en París de la Escuela Politécnica en 1794-1795 [Fourcy, 1987; Shinn, 1980]. La escuela, creada por Napoleón para formar ingenieros militares y civiles, representaba el nuevo reconocimiento de que estas dos ramas de la ingeniería se basaban en los mismos principios.

Dado que en Francia, la ciencia había estado estrechamente asociada con la élite, la Escuela Politécnica adoptó un enfoque muy teórico y matemático para el desarrollo de la aplicación de la ciencia a la tecnología. La escuela

también ayudó a difundir el nuevo enfoque científico de la ingeniería a otros países. La organización y el currículo de la escuela influyeron en la politécnica austriaca en Viena y Praga, la Tecnología Alemana Hochschulen en Karlsruhe, Múnich, Dresde, Stuttgart y Hannover, y la Academia Militar en West Point y el Instituto Politécnico Rensselaer en América. Aunque influido por la Escuela Politécnica, la Politécnica Austriaca y la Technische Hochschulen alemana desarrollaron su propio modelo de interacción de la ciencia y la tecnología [Gispén, 1989]. Prechtel, el fundador del Instituto Politécnico de Viena, que sirvió como modelo para el Technische Hochschulen alemán, combinó la idea francesa de que la ciencia y las matemáticas sirvieran como base común para el estudio de la tecnología, con el ideal universitario alemán de que la educación debe basarse en algún principio interno o unidad de conocimiento llamado Bildung [Fox y Guagnini, 1998-1999, pp. 100-107; Gispén, 1989, p.42]. El resultado fue ir más allá de la idea francesa de las ciencias de la ingeniería como la ciencia aplicada simplemente y desarrollar una ciencia de ingeniería verdadera y autónoma que pudiera sintetizar la teoría científica con prácticas tecnológicas [Manegold, 1992, p. 142]. Escocia desempeñó uno de los papeles más significativos en el surgimiento de las ciencias de la ingeniería [Marsden, 1992]. Escocia compartió valores culturales con Inglaterra y Francia y fue capaz de reunir las tradiciones empíricas/experimentales de los ingleses con las tradiciones teóricas/matemáticas de los franceses. La figura principal en el desarrollo de lo que se llamaría ciencias de la ingeniería fue W.J.M. Rankine en la Universidad de Glasgow [Channell, 1982]. Como uno de los primeros profesores de ingeniería en una universidad británica, se enfrentó al desafío de no duplicar lo que se enseñaba por las facultades de ciencias, pero no interferir con la educación práctica dada a través del sistema de aprendizaje. La solución de Rankine fue crear una rama autónoma del conocimiento, que él etiquetó como ciencia de la ingeniería, que sería un intermediario entre la teoría pura y la práctica pura. La creación de una nueva "armonía de la teoría y la práctica" sería

el resultado de reunir las observaciones prácticas y experiencias de las propiedades de los materiales con las leyes teóricas que rigen la acción de las máquinas y estructuras, y tratarlas como una ciencia. Al hacerlo, la armonía de la teoría y la práctica no duplicaría las ciencias existentes, sino que establecería nuevas ciencias de ingeniería. Rankine difundió su idea de la ciencia de la ingeniería a través de la publicación de una serie de manuales que se convirtieron en los libros de texto estándar para ingenieros formados en la universidad en Europa, América e incluso Japón. En el continente, Ferdinand Redtenbacher en la Technische Hochschule de Karlsruhe desempeñó un papel similar al de Rankine al utilizar la práctica para informar a la teoría con el fin de crear ciencias de ingeniería autónomas, que difundió a través de una serie de libros de texto [Böhme, Van den Daele y Krohn, 1978, pp. 237-238].

Durante el siglo XIX hubo una lucha en Estados Unidos entre la "cultura de las tiendas" y la "cultura escolar" que quería enfatizar los vínculos entre la ingeniería y la ciencia que se podían enseñar a través de la educación formal [Calvert, 1967]. A finales de siglo la "cultura escolar" entró en dominio, y se reflejó en el trabajo del principal exponente estadounidense de la ciencia de la ingeniería, Robert Henry Thurston que enseñó en la Academia Naval de los Estados Unidos, el Instituto de Tecnología Stevens y Cornell Universidad. Aunque influenciado por Rankine, Thurston desarrolló su propia filosofía de la ciencia de la ingeniería mientras estaba en Stevens y en Cornell. En lugar de aplicar las leyes de la ciencia a la tecnología, Thurston argumentó que la metodología de la ciencia, que él consideraba esencialmente baconiana, debería aplicarse a la tecnología. Al recopilar hechos a través de la observación y luego desarrollar leyes inductivamente, Thurston creía que se podrían desarrollar nuevas leyes de tecnología que fueran independientes de las leyes científicas. Aunque como Rankine y Redtenbacher, Thurston también produjo una serie de libros de texto; su contribución más significativa fue el establecimiento en

Stevens del primer laboratorio de ingeniería mecánica en América [Durand, 1929, págs. 68-71].

3.1 La resistencia de los materiales

Durante los siglos XVIII y XIX el surgimiento de las ciencias de la ingeniería se puede ver en el desarrollo de una serie de campos. Con la demanda de máquinas más grandes y complejas, se necesitaban buques y estructuras provocados por la industrialización y la demanda de los militares de fortificaciones más grandes y fuertes, se necesitaban nuevos enfoques para la fortaleza de los materiales y la teoría de la elasticidad [Timoshenko, 1953; Todhunter, 1886-1893]. Algunos de los primeros trabajos sobre pruebas experimentales de una variedad de materiales fueron llevados a cabo por el filósofo natural holandés Pieter van Musschenbroek y reportados en 1729. Usando una serie de máquinas llevó a cabo pruebas en muestras a pequeña escala para determinar cuándo varios materiales fallarían bajo tensión, compresión y flexión. Varios ingenieros franceses argumentaron que las pruebas a pequeña escala serían de poca utilidad en proyectos de construcción a gran escala. En respuesta, Emiland Gauthey, del Cuerpo de Ponts et Chaussées y Jean Rodolphe Perronet, de la Ecole de Ponts et Chaussées, construyeron cada uno, una máquina que probó muestras a gran escala de piedra utilizadas en la construcción de puentes [Kranakis, 1997, pp. 106-107]. En la última parte del siglo XVIII Charles Coulomb, mientras servía como ingeniero en Martinica, llevó a cabo una serie de estudios experimentales que le permitieron relacionar la fuerza de la tracción con la fuerza de cizallamiento y desarrollar un análisis matemático de flexión [Gillmor, 1971; Heyman, 1972]. Durante el siglo XIX Peter Barlow en Inglaterra construyó una serie de máquinas en el Royal Dockyard con el fin de probar madera para barcos. La introducción del hierro como material de construcción estimuló una serie de estudios experimentales adicionales sobre la resistencia de los materiales. En Inglaterra Barlow, William Fairbairn y Eaton

Hodgkinson llevaron a cabo extensas pruebas de fundición y hierro forjado. En el continente, Johann Bauschinger estableció uno de los primeros laboratorios académicos de pruebas de materiales en el Instituto Politécnico de Múnich, mientras que en América, Robert Thurston estableció laboratorios de pruebas de materiales en Stevens y Cornell. Este trabajo ayudó a establecer lo que Edward Constant ha llamado una "tradicción de la capacidad de prueba" [Constante, 1980, p. 20]. Mientras que una serie de estudios experimentales se estaban llevando a cabo sobre la fuerza de los materiales, importantes avances estaban teniendo lugar en la teoría de la elasticidad. A finales del siglo XVII y principios del XVIII Jacob y John Bernoulli aplicaron el cálculo de Leibniz al estudio de la desviación elástica de las vigas, y poco después el hijo de Jacob, Daniel, desarrolló ecuaciones diferenciales que describían el movimiento vibratorio en materiales elásticos. Este trabajo fue ampliado por Leonhard Euler, uno de los estudiantes de Daniel. Durante el siglo XIX Augustin Cauchy, Gabriel Lamé, C.L.M.H. Navier, Siméon Poisson y Adhemar Barré de Saint-Venant hicieron contribuciones significativas a la teoría de la elasticidad. Particularmente importante fue la formulación de Cauchy en 1822 del concepto de estrés, que incorporó elementos de la ciencia y la tecnología. En Alemania Johann Bauschinger y Hermann Zimmermann aplicaron la técnica del análisis gráfico al análisis de tensiones. El desarrollo de pruebas sistemáticas, la creación de nuevos conceptos y el uso del análisis gráfico se convertirían en señas de identidad del surgimiento de una ciencia de la ingeniería.

3.2 El estudio de las estructuras

Estrechamente conectado, y a menudo superpuesto con el estudio de la fuerza de los materiales y la teoría de la elasticidad, fue el desarrollo de nuevos enfoques experimentales y teóricos para el estudio de las estructuras. Una vez más, el aumento de la escala de las estructuras, como los puentes, y la introducción de nuevos materiales de construcción, como el hierro, llevaron a

nuevas demandas de formas de analizar dichas estructuras [Billington, 1983]. Durante el siglo XVIII Charles Coulomb utilizó tanto teorías matemáticas como datos prácticos para desarrollar teorías de muros de contención y arcos [Gillmor, 1971; Heyman, 1972]. A principios del siglo XIX el estadounidense James Finley llevó a cabo una serie de experimentos con el fin de adquirir el conocimiento que necesitaba para desarrollar principios de diseño para la construcción de algunos de los primeros puentes colgantes [Kranakis, 1997]. El trabajo de Finley influyó en los ingenieros británicos, como Thomas Telford, que utilizó técnicas experimentales similares para diseñar algunos de los primeros puentes colgantes en Gran Bretaña. Alrededor de mediados de siglo, William Fairbairn, Eaton Hodgkinson y Robert Stephenson llevaron a cabo estudios experimentales que contribuyeron al diseño de los puentes ferroviarios tubulares de Conway y Britannia [Vincenti y Rosenberg, 1978]. Mientras que los estadounidenses y los británicos estaban adoptando un enfoque más experimental para el diseño de estructuras, los franceses estaban desarrollando un enfoque más teórico. C.L.M.H. Navier, que estudió en la Escuela Politécnica y en la Ecole de Ponts et Chaussées, desarrolló una teoría matemática de los puentes colgantes [Kranakis, 1997]. Esta teoría llevó a los ingenieros a ver que existía una conexión entre el papel de la fuerza de los materiales y la teoría de la elasticidad y que ambos eran esenciales para entender la estabilidad de las estructuras. A mediados del siglo XIX, algunos ingenieros estadounidenses, británicos y alemanes comenzaron a desarrollar un enfoque para el estudio de las estructuras que estaba en medio de un enfoque puramente empírico y puramente teórico. En Gran Bretaña W.J.M. Rankine y James Clerk Maxwell desarrollaron la idea de la proyección paralela y las figuras recíprocas que establecieron una manera gráfica en la que las estructuras complejas estaban relacionadas con estructuras simples y proporcionaban nuevas formas de estudiar las fuerzas que actuaban en estas complejas estructuras. En Estados Unidos, Squire Whipple desarrolló un enfoque gráfico para el análisis de puentes

de celosía, mientras que en Alemania Karl Culmann, graduado de la Technische Hochschule en Karlsruhe, desarrolló otro método gráfico para el análisis de puentes de celosía [Timoshenko, 1953 , pp. 190-197]. Una vez más, al crear un punto medio entre el enfoque altamente matemático de los filósofos naturales y el enfoque puramente empírico de muchas mecánicas, los enfoques gráficos se convirtieron en una de las características de las ciencias de la ingeniería.

3.3 El estudio de las máquinas

Durante los siglos XVIII y XIX, los desarrollos en el estudio de las máquinas contribuyeron al surgimiento de las ciencias de la ingeniería. Con las nuevas demandas de fabricación provocadas por el mercantilismo y la industrialización, científicos e ingenieros comenzaron a centrar su atención en la comprensión y la mejora de las máquinas [Reynolds, 1983]. A lo largo de gran parte del siglo XVIII, el estudio de las máquinas se centró en la rueda de agua. Basándose en la idea de Galileo de que las máquinas deben ser analizadas en términos de su capacidad para aplicar las fuerzas de la naturaleza de la manera más eficiente, el francés Antoine Parent utilizó el cálculo diferencial para calcular la máxima eficiencia de las ruedas de agua de bajo disparo en 1704. Unos años más tarde Henri Pitot calculó el número óptimo de cuchillas que una rueda de agua inferior de un tamaño determinado debería tener y presentó sus cálculos en forma tabular. A mediados de siglo surgió un debate si la rueda de agua de disparo bajo o sobre disparo, era la más eficiente. Antoine de Parcieux, miembro de la Academia Francesa de Ciencias, llevó a cabo una serie de pruebas experimentales utilizando modelos a escala y concluyó que la rueda de sobre golpe era más eficiente. Casi al mismo tiempo, John Smeaton en Gran Bretaña comenzó a llevar a cabo una extensa serie de experimentos en los que variaba sistemáticamente el tipo de rueda, la cantidad de agua que fluye, la cabeza de agua y la carga en la rueda, y llegó a la conclusión de que la rueda de sobre golpe era más eficiente. Sus experimentos ayudarían a establecer una nueva "tradición

de la capacidad de las pruebas" [Constant, 1980, p. 20]. La técnica de Smeaton más tarde se llamaría "variación de parámetros", y se convertiría en una metodología importante de las ciencias de la ingeniería [Vincenti, 1990, págs. 146-151]. La investigación experimental sobre ruedas de agua alentó un nuevo trabajo teórico. En Francia, Jean Charles Borda, miembro de la Academia de Ciencias, analizó las ruedas de agua en términos de vis viva (mv^2 — que está relacionado con el concepto moderno de energía cinética) y concluyó que las ineficiencias de la rueda de tiro inferior eran el resultado de vis viva pérdidas por turbulencias. En 1783 Lazare Carnot, en su *Essai sur les machines*, en general amplió el análisis de Borda de las ruedas de agua y desarrolló una teoría que era aplicable a todas las máquinas [Gillispie, 1971]. Al aplicar la idea de vis viva a las máquinas, Carnot concluyó que todos los impactos y choques debían evitarse. En el siglo XIX la combinación de estudios experimentales y teóricos de máquinas dio lugar a nuevos principios de diseño. En 1824 Jean Victor Poncelet diseñó una nueva rueda de agua basada en el trabajo de Borda y Carnot. En América, a mediados del siglo XIX James B. Francis comenzó una serie de extensos experimentos en una turbina de agua diseñada por Benoit Fourneyron [Layton, 1979]. Combinando tanto los experimentos como el trabajo teórico basado en la mecánica newtoniana, Francis desarrolló una serie de principios de diseño para turbinas. Casi al mismo tiempo, G.G. Coriolis en Francia y William Whewell y Henry Moseley en Gran Bretaña emplearon la idea de trabajar para analizar máquinas. Al comparar el trabajo transmitido con el trabajo desperdiciado, analizaron las máquinas en términos de eficiencia que se convertirían en otro concepto fundamental de las ciencias de la ingeniería.

Máquinas como ruedas de agua y turbinas podrían ser vistas como dispositivos que transmitían y modificaban la fuerza o el trabajo, pero las máquinas también podían ser vistas como dispositivos que transmitían y modificaban el movimiento. Si uno descuida la acción de las fuerzas dinámicas, una máquina podría ser analizada en términos de lo que se conoció como la

teoría de los mecanismos [Ferguson, 1962; Hartenberg y Denavit, 1964], una idea que nos trajo Leonardo Da Vinci. A principios del siglo XVIII, el filósofo natural sueco Christopher Polhem creó un laboratorio mecánico mediante la recopilación de mecanismos de toda Suecia. Avanzó a la idea de que todas las máquinas podrían ser creadas a partir de un "alfabeto mecánico" con las cinco máquinas antiguas que sirven como vocales y otros mecanismos que sirven como consonantes. A lo largo de los siglos XVIII y XIX varias instituciones, como el Conservatorio de Artes y Oficios de París, la Royal Institution de Londres y el Instituto Franklin de Filadelfia, establecieron grandes colecciones de mecanismos para proporcionar una base para la comprensión y mejora de la maquinaria. A finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, Gaspard Monge en la Escuela Politécnica, argumentó que las máquinas podían entenderse mejor analizando los elementos de una máquina que convertía un tipo de movimiento en otro. Para ello, Monge y sus seguidores, Agustín de Betancourt, Pierre Héchette y Phillipe Lanz, desarrollaron un sistema para clasificar mecanismos similares al sistema de clasificación binomial de Carl Linnaeus para plantas. Este trabajo fue extendido por André-Marie Ampère, quien acuñó el término cinématique, más tarde llamado cinemática. A mediados del siglo XIX Robert Willis en Cambridge comenzó a estudiar mecanismos en términos de la relación de movimientos creados por el mecanismo, viendo que la acción de un mecanismo era independiente del movimiento dado que se aplicaba al mecanismo. En la segunda mitad del siglo, Franz Reuleaux, en Charlottenberg, amplió aún más la teoría de los mecanismos al alejarse del estudio de los mecanismos individuales e ir hacia el análisis de los mecanismos como parte de un sistema integrado. El trabajo particularmente importante también fue realizado por James Clerk Maxwell en Gran Bretaña en 1868 con su análisis de gobernadores mecánicos que condujo a una de las primeras teorías del control de retroalimentación [Mayr, 1970].

3.4 Termodinámica

Uno de los avances más significativos en el surgimiento de las ciencias de la ingeniería fue el establecimiento de la termodinámica [Cardwell, 1971]. Con la demanda de nuevas fuentes de energía provocada por la Revolución Industrial, y con la invención de los motores Newcomen, Watt y de alta presión, para satisfacer algunas de esas nuevas demandas, hubo un mayor interés en mejorar la eficiencia de estos motores adquiriendo una mejor comprensión de los principios científicos que se esconden detrás de los motores de calor. A partir de 1768 John Smeaton llevó a cabo una serie de estudios experimentales sobre un motor de vapor modelo, utilizando el mismo método de variación de parámetros que utilizó en su estudio de las ruedas de agua. A finales del siglo XVIII James Watt llevó a cabo una serie de experimentos con el fin de mejorar su comprensión de sus motores. El hecho de que Watt permitiera que el vapor se expandiera en sus motores hizo difícil calcular el trabajo realizado por un motor sin saber cómo la presión en el cilindro cambió a lo largo de la carrera. En 1796 uno de los asistentes de Watt desarrolló un dispositivo simple que haría un "diagrama de indicadores" que registraría la caída de la presión marcando en un pedazo de papel a lo largo de la carrera. Durante el siglo XIX el diagrama de volumen de presión (PV) se convertiría en un elemento fundamental de la termodinámica. La invención en Inglaterra de la máquina de vapor de alta presión a principios del siglo XIX estimuló aún más el desarrollo de la termodinámica. Cuando los ingenieros franceses vieron por primera vez el nuevo motor de vapor de alta presión, comenzaron un programa para entender las razones detrás de su mayor eficiencia. La figura principal en este esfuerzo fue Nicholas Léonard Sadi Carnot, quien se formó en la Escuela Politécnica. Todavía creyendo en una teoría de materiales del calor, Carnot utilizó el trabajo realizado en la energía del agua por los ingenieros franceses del siglo XVIII para desarrollar un conjunto análogo de condiciones para la máxima eficiencia de un motor de calor. Los resultados, publicados en sus *Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu* (1824), esbozaron lo que se conoció como el ciclo de Carnot que

Emile Clapeyron más tarde mostró que podía representarse como un diagrama fotovoltáico. Carnot demostró que su ciclo representaba el motor de calor más eficiente y que el ciclo era independiente de cualquier teoría particular en cuanto a la naturaleza del calor, haciendo de su teoría una teoría completamente general que pudiera aplicarse a cualquier tipo de motor de calor. El desarrollo en las décadas de 1840 y 1850 de la teoría mecánica del calor por J.P. Joule y otros, llevó a los intentos de William Thomson (más tarde Lord Kelvin) y W.J.M. Rankine en Gran Bretaña y Rudolf Clausius en Alemania para conciliar la teoría de Carnot, que sostenía que el trabajo era producido por la transferencia de calor de una temperatura más alta a una más baja, con la teoría de Joule de que el calor se convirtió en trabajo [Smith, 1998]. Clausius argumentó que las dos teorías podrían conciliarse si durante un ciclo de Carnot parte del calor se convirtiera en trabajo y otra proporción simplemente se transfiriera a una temperatura más baja. A mediados de siglo Thomson y Rankine comenzaron a reformular la termodinámica en términos del nuevo concepto de energía. Casi al mismo tiempo Clausius y Rankine desarrollaron de forma independiente, una fórmula para el calor disipado en un ciclo de Carnot. Clausius más tarde introduciría el término entropía para describir el "valor de equivalencia" de este calor disipado. Usando los nuevos conceptos de energía y entropía, Clausius fue capaz de formular dos leyes de la termodinámica: la primera ley es que la energía en el universo, o en cualquier subsistema cerrado, era constante y la segunda ley es que la entropía del universo, o cualquier subsistema cerrado, siempre tiende hacia un máximo. Aunque la teoría de la termodinámica surgió de un estudio de la máquina de vapor, pronto se dio cuenta de que los conceptos de energía y entropía no se limitaban a los fenómenos del calor, sino que eran conceptos universales que podían aplicarse a una amplia gama de conceptos científicos y fenómenos tecnológicos, haciendo de la termodinámica una verdadera ciencia de la ingeniería.

3.5 Mecánica de fluidos

Durante los siglos XVIII y XIX, los desarrollos en la mecánica de fluidos también contribuyeron al surgimiento de las ciencias de la ingeniería [Anderson, 1997; Rouce e Ince, 1957]. Las nuevas demandas para mejorar la potencia del agua, para diseñar mejores barcos y comprender mejor la balística, llevaron a nuevos estudios teóricos y experimentales del comportamiento de los fluidos y objetos que se mueven a través de ellos. Ya en 1673, en respuesta al intento de Colbert de racionalizar la construcción naval, Ignace-Gaston Paridies desarrolló un estudio teórico de cuerpos que se mueven a través de fluidos a diferentes velocidades, y en 1697 Paul Hoste publicó un análisis de cómo la forma de un barco influyó en su velocidad y estabilidad. En 1738 Daniel Bernoulli publicó su libro *Hydrodynamica* en el que aplicó la mecánica newtoniana y el concepto leibniziano de *vis viva* al estudio de fluidos. El libro contenía, aunque algo oscura, lo que se ha llegado a conocer como el principio de Bernoulli, que afirma que un aumento en la velocidad de un fluido resultará en una disminución en la presión de ese fluido. El trabajo teórico realizado por Bernoulli fue continuado por Jean d'Alembert, quien derivó una ecuación diferencial que gobernó el movimiento de un elemento fluido de masa fija. Esta obra teórica en el siglo XVIII alcanzó su punto cumbre con la obra de Leonhard Euler, quien colocó el trabajo de Bernoulli y d'Alembert en un marco matemático consistente. En tres artículos publicados entre 1752 y 1755 Euler formuló las ecuaciones básicas que explicaban gran parte del comportamiento de los fluidos. Bernoulli, d'Alembert y Euler utilizaron cada uno sus estudios teóricos para analizar la relación entre la mecánica de fluidos y el diseño de buques [Pritchard, 1987]. Mientras se realizaban estudios teóricos de la mecánica de fluidos en el continente, los británicos estaban realizando algunos estudios experimentales importantes, particularmente sobre los movimientos de los cuerpos a través del aire. Durante mediados del siglo XVIII Benjamin Robins utilizó un dispositivo similar al péndulo y un mecanismo de brazo giratorio para medir cómo la resistencia al aire afectaba a las bolas de cañón [Steele, 1997, págs. 145-180]. Euler más tarde

usaría los datos de Robins para desarrollar una teoría matemática de la balística. Poco después del trabajo de Robins, John Smeaton llevó a cabo una serie de experimentos sobre molinos de viento. Sus experimentos lo llevaron a concluir que el aire que se movía sobre una superficie curva creaba más fuerza que el aire que se movía sobre una superficie plana. A principios del siglo XIX George Caley amplió el trabajo de Smeaton y demostró cómo un ala que se movía por el aire podía dar lugar a una elevación aerodinámica. Durante el siglo XIX, los ingenieros y científicos ampliaron el trabajo que se había realizado en el siglo XVIII [Anderson, 1997]. El trabajo de Euler había llevado a un avance significativo en la comprensión del movimiento de los fluidos, pero su trabajo descuidó los efectos de la fricción, que fue un efecto particularmente importante cuando los fluidos se movían cerca de una superficie sólida, como un casco o un ala. Entre 1822 y 1845 el francés C.L.M.H. Navier y el irlandés George Gabriel Stokes derivaron independientemente ecuaciones, conocidas como las ecuaciones Navier-Stokes, que tuvieron en cuenta el papel de la fricción en el flujo de fluidos. Al igual que en otras áreas de las ciencias de la ingeniería, algunos ingenieros del siglo XIX, especialmente en Gran Bretaña, comenzaron a desarrollar un enfoque más gráfico del problema de la mecánica de fluidos que proporcionaría un puente entre las teorías matemáticas y los datos de la práctica experimental. Un área en la que este enfoque desempeñó un papel importante fue en la arquitectura naval. Tradicionalmente los cascos de los barcos fueron diseñados con superficies lisas, pero esto se basó en la experiencia más que en la teoría. Con barcos más grandes y rápidos, los arquitectos navales necesitaban relacionar la forma del casco de un barco con algunas leyes del movimiento de fluidos para poder diseñar racionalmente un casco. En la década de 1840 John Scott Russell desarrolló un enfoque gráfico que basó la forma de un casco en la forma de las ondas naturales en el agua [Emmerson, 1977]. Esta idea fue desarrollada por W.J.M. Rankine en 1870 cuando introdujo el nuevo concepto de

aerodinámicas, que se convertiría en una parte fundamental del nuevo marco conceptual de las ciencias de la ingeniería.

4 LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA EN LA ERA DE LA INVESTIGACIÓN INDUSTRIAL: 1850-1925

A finales del siglo XVIII y principios del XIX comenzaron a surgir las ciencias de la ingeniería, principalmente de instituciones académicas, como la Escuela Politécnica, la Universidad de Glasgow, el Instituto de Tecnología Stevens y la Tecnología Alemana Hochschulen. Pero a finales del siglo XIX y principios del XX las ciencias de la ingeniería se asociaron cada vez más con los laboratorios de investigación industrial [Fox y Guagnini, 1998-1999]. Esto ayudó a remodelar las ciencias de la ingeniería en lo que algunos han etiquetado ciencias basadas en la industria [König, 1996, p. 100]. A partir de finales del siglo XVIII hubo nuevos avances significativos en la ciencia, particularmente en la comprensión de la química y la comprensión de la electricidad y el magnetismo. Algunos han llamado a estos desarrollos una segunda revolución científica. El resultado de este nuevo entendimiento científico fue el surgimiento de nuevas industrias a gran escala, basadas en la ciencia que algunos han llamado una segunda revolución industrial. La nueva comprensión de la química que surgió a finales del siglo XVIII dio lugar a nuevos descubrimientos, como los colorantes de alquitrán de hulla, el proceso Leblanc, el proceso solvay, el celuloide y los plásticos. Estos sirvieron de base para empresas como Du Pont, BASF, Bayer, I.G. Farben y Kodak. El descubrimiento de fenómenos como el electromagnetismo y la inducción electromagnética a principios del siglo XIX se convirtieron rápidamente en invenciones, como el telégrafo, el teléfono, los motores eléctricos, las luces eléctricas y los dinamos. Estas invenciones a su vez sirvieron de base para nuevas empresas a gran escala, como Western Union, American Bell Telephone, Edison General Electric, Westinghouse, Telefunken y Siemens. Con el surgimiento de estas industrias basadas en la ciencia se dio cuenta de que

los industriales ya no podían confiar en el ideal romántico en el que las invenciones aparecieron como resultado de algún destello de inspiración de un inventor solitario. En cambio, se resumió que el descubrimiento y la invención podían ser el resultado de un proceso racional y planificado emprendido por un grupo de investigadores. Como resultado, el establecimiento del laboratorio de investigación industrial atendido por un equipo multidisciplinario de científicos e ingenieros, ayudó a transformar las ciencias de la ingeniería en ciencias basadas en la industria. Además, de los laboratorios de investigación industrial, las universidades comenzaron a establecer laboratorios de ingeniería experimental y estaciones de investigación, que a menudo se vincularon estrechamente a las industrias [Seely, 1993].

4.1 Las industrias químicas

Muchos de los desarrollos en las industrias químicas [Clow y Clow, 1952] durante el siglo XIX se remontan al trabajo del químico alemán Justus von Liebig, quien después de estudiar en la Escuela Politécnica regresó a Alemania y estableció un laboratorio de investigación química de la Universidad de Giessen [Cerveza, 1959]. El laboratorio reflejó los objetivos duales que el sistema educativo alemán debería enseñar tanto a los conocimientos existentes como a crear nuevos conocimientos. Aunque el propósito original del laboratorio era capacitar a los farmacéuticos, su énfasis se desplazó lentamente a la investigación en química orgánica. En el proceso, Liebig creó una serie de instrumentos y técnicas que permitieron a sus estudiantes analizar un gran número de compuestos orgánicos. Lo más importante es que, en 1840 introdujo un nuevo enfoque para la investigación en su laboratorio. Comenzó a organizar un número significativo de sus estudiantes en equipos para llevar a cabo investigaciones sobre ácidos grasos. Esta idea de investigación sistemática en grupo, centrada en un problema específico se convertiría en un sello distintivo de la ciencia basada en la industria. El laboratorio de Liebig sirvió para entrenar

a toda una generación de químicos académicos e industriales. Uno de los estudiantes más importantes de Liebig fue August Wilhelm von Hofmann, quien se convirtió en profesor de química en el Royal College of Chemistry en Inglaterra en 1845. Como parte de una búsqueda sistemática de propiedades útiles de compuestos orgánicos, el estudiante de Hofmann, William Perkins en 1856 descubrió que la anilina, un subproducto del alquitrán de hulla, tenía la capacidad de teñir textiles de un púrpura brillante. El éxito comercial de este primer tinte químico llevó a la búsqueda de otros tintes en Inglaterra y Francia. A través de un análisis químico de los primeros colorantes de anilina, Hofmann proporcionó un método por el cual los químicos podían crear sistemáticamente nuevos colores. Aunque los primeros dedos químicos se produjeron en Inglaterra y Francia, en la década de 1870, Alemania comenzó a dominar el campo, rompiendo las barreras sociales y educativas que separaban a las universidades de la Technische Hochschulen y creando así un medio que los conocimientos teóricos podrían combinarse con un trabajo experimental sistemático. Esto permitió un puente entre la brecha entre la academia y la fábrica. El laboratorio de investigación industrial centrado en la fábrica surgió en respuesta a la demanda de innovación continua que resultó del éxito comercial de los dedos químicos y la presión para producir tintes nuevos y más baratos. Algunos estudiosos han argumentado que las raíces de la investigación industrial en Alemania se remontan a 1868 cuando BASF contrató a Heinrich Caro para convertirse en director técnico de la compañía. Durante los años siguientes, Caro reclutó a varios químicos de universidades y Technische Hochschulen y creó un laboratorio central en 1889. Otras empresas siguieron el liderazgo de BASF. En 1891 la Compañía Bayer centralizó su investigación en un nuevo laboratorio. Una característica distintiva del laboratorio de investigación industrial fue la investigación en grupo. El descubrimiento de nuevos colorantes azoicos abrió la posibilidad de más de cien millones de nuevos colorantes. Con un número tan grande de posibles tejos, la era del inventor solitario que utiliza

ensayo y error había terminado. En su lugar vino lo que Caro calificó como "trabajo masivo científico" (wissenschaftliche Massenarbeit) [Meyer-Thurow, 1982, p. 378]. La creación del laboratorio de investigación industrial también condujo a una nueva relación entre la academia y la industria. A medida que la investigación industrial se convirtió en empresas químicas más autónomas, comenzaron a depender más de la universidad y Technische Hochschule graduados, especialmente aquellos con Ph.D.s. A su vez, el éxito de los laboratorios de investigación industrial ejerce presión sobre las universidades y la Técnica Hochschulen para adaptar sus planes de estudio a las necesidades de la industria. Wolfgang König ha argumentado que, dado que un número significativo de profesores de las universidades alemanas y Technische Hochschulen había adquirido su experiencia en laboratorios de investigación industrial, gran parte del trabajo que producían debería clasificarse como la ciencia basado en la industria [König, 1996, p. 87]. El desarrollo de la investigación industrial en la industria del tinte químico se extendió rápidamente a otras industrias químicas. La presión por la innovación continua en los colorantes químicos pronto condujo al desarrollo de otros productos químicos orgánicos, especialmente productos farmacéuticos, celuloideos y plásticos. Durante el siglo XIX la nueva comprensión de la química también condujo al desarrollo industrial de productos químicos pesados, como álcalis, ácidos, fertilizantes y explosivos. En todas estas áreas, las empresas químicas, como Bayer, Agfa, Kodak y Du Pont establecieron laboratorios de investigación industrial modelados a partir de los de la industria de los tintes químicos.

4.2 Las industrias eléctricas

Junto con las industrias químicas, el área líder que más contribuyó a la transformación de las ciencias de la ingeniería en ciencias basadas en la industria fue el desarrollo de las industrias eléctricas y el campo emergente de la ingeniería eléctrica [Reich, 1985]. La dependencia de las industrias eléctricas de

los nuevos descubrimientos científicos les llevó a seguir un camino similar a las industrias químicas y a establecer laboratorios de investigación industrial [Israel, 1992]. Una figura clave en este movimiento fue Thomas Edison, quien estableció su laboratorio privado de investigación en Menlo Park, Nueva Jersey en 1876 [Israel, 1998]. Aunque Menlo Park difería del laboratorio de investigación industrial típico en que era independiente de cualquier empresa específica, serviría como prototipo para laboratorios basados en empresas. Al igual que los laboratorios químicos, una característica clave del laboratorio de Edison fue el uso de la investigación en grupo. Al igual que con el laboratorio químico, esto se debió a que un inventor solitario que utilizaba ensayos y errores ya no podía resolver los problemas que surgieron en la nueva industria basada en la ciencia. Las industrias eléctricas no se basaron en invenciones individuales; más bien eran sistemas de invenciones. El sistema de iluminación eléctrica de Edison involucraba generadores, cableado, circuitos, bombillas, interruptores y medidores, todos los cuales tenían que funcionar juntos. Desarrollar un sistema de este tipo no era algo que pudiera ser llevado a cabo por un solo inventor, sino que requería los esfuerzos de un grupo de ingenieros, científicos y empresarios [Hughes, 1983]. A principios del siglo XX, la intensa competencia y consolidación que había tenido lugar durante las décadas de 1880 y 1890 dio lugar a la dominación de la industria por parte de algunas firmas, como Western Union, American Telephone and Telegraph, General Electric, Westinghouse, la Compañía Marconi y National Telephone en Gran Bretaña, Telefunken y Siemens en Alemania, y Philips en los Países Bajos [de Vries, 2005]. Sin embargo, muchas de estas empresas se enfrentaban a un futuro incierto, ya que muchas de las patentes originales iban a expirar. Para que las empresas eléctricas puedan desarrollar innovaciones continuas y proteger su cuota de mercado mediante el control de las patentes, necesitaban establecer una manera de controlar y gestionar el proceso de invención e innovación. En respuesta a estas necesidades, varias de las empresas líderes en la industria eléctrica

establecieron laboratorios de investigación industrial durante los primeros años del siglo XX [Reich, 1985]. Las industrias eléctricas fueron influenciadas por la industria química alemana, pero hubo diferencias importantes en los laboratorios de investigación industrial, que surgieron en las industrias eléctricas. En primer lugar, los laboratorios eléctricos tomaron un enfoque multidisciplinario que involucró a físicos, químicos, metalúrgicos, ingenieros mecánicos e ingenieros eléctricos. En segundo lugar, si bien el objetivo de los laboratorios químicos era descubrir nuevos productos, un objetivo significativo de los laboratorios eléctricos era defensivo. Es decir, gran parte de la investigación se dedicó a establecer una posición en materia de patentes y a desarrollar interferencias en materia de patentes con el fin de dar a la empresa un papel dominante, o casi monopolístico, en el mercado. En tercer lugar, la integración de la investigación pura y aplicada desempeñó un papel importante en los laboratorios eléctricos.

En la industria química alemana, gran parte de la investigación fundamental todavía se dejó a las universidades, pero debido a la novedad de la investigación científica en el campo, las industrias eléctricas tuvieron que llevar a cabo tanto la investigación pura como la aplicada. Como tal, las líneas entre la investigación pura y aplicada, y entre científicos e ingenieros, comenzaron a desaparecer. Este nuevo tipo de laboratorio de investigación industrial surgió por primera vez en 1900 con el establecimiento del Laboratorio de Investigación Eléctrica General en Schenectady, Nueva York [Reich, 1985]. En ese momento Edison había dejado la compañía, sus patentes originales en la bombilla habían expirado y GE se enfrentaba a la competencia de las bombillas de filamento metálico inventadas en Europa. Desde el principio, Willis Whitney, el director del laboratorio GE que tenía un doctorado en química de Leipzig, centró el laboratorio en el problema de mejorar la bombilla [Wise, 1985]. A través del trabajo de equipos de investigadores liderados por William Coolidge, un ph.D. de Leipzig, e Irving Langmuir, un ph.D. de Gotinga, GE desarrolló una nueva

bombilla llena de argón con un filamento de tungsteno que le dio a la compañía una posición dominante en el mercado. Es imposible clasificar el trabajo de Coolidge y Langmuir como simples aplicaciones de la ciencia a la tecnología. Si bien ambos llevaron a cabo investigaciones científicas básicas, esa investigación siempre se hizo en el contexto de la resolución de problemas prácticos para que al mismo tiempo crearan nuevos conocimientos científicos y resolvieran problemas prácticos. A principios del siglo XX, otras empresas, como AT&T, Siemens & Haske, Philips y Westinghouse se enfrentaron a las mismas fuerzas del mercado que se enfrentaron a GE y respondieron de manera similar estableciendo laboratorios de investigación industrial [de Vries, 2005]. En estos laboratorios la investigación no siguió el modelo de ciencia pura. Más bien, estos laboratorios desarrollaron nuevas teorías tecnológicas y metodologías de diseño que difuminaron las distinciones entre ciencia y tecnología y podrían estar mejor etiquetados como ciencia de ingeniería basada en la industria.

5 LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA EN LA ERA DE LA INVESTIGACIÓN PATROCINADA POR EL GOBIERNO: 1900-1945

A la aparición de los laboratorios de investigación industrial se superpuso el establecimiento de investigaciones patrocinadas por el gobierno. La interdependencia de la ciencia y la tecnología se vio fuertemente influenciada por la creación de laboratorios de investigación industrial, pero durante la primera mitad del siglo XX el papel del gobierno — y especialmente militar — dirigió el desarrollo en ciencia y tecnología y desempeñaría un papel importante en la configuración de las ciencias de la ingeniería. Si bien los gobiernos han desempeñado un papel en el apoyo a la ciencia y la tecnología desde el surgimiento del Estado-nación moderno en los siglos XV y XVI, lo que distinguió el papel de los gobiernos en el siglo XX fue la amplitud, escala y naturaleza explícita del Apoyo. Además, en lugar de apoyar la ciencia por sí mismo, los gobiernos en el siglo XX comenzaron a ver la ciencia como una forma de

conocimiento, similar a la tecnología, que podía ser manipulada para el poder político. Para muchos eruditos, el factor clave para establecer una nueva relación entre el conocimiento y el poder fue el papel desempeñado por la guerra en el siglo XX, especialmente las Guerras Mundiales I y II. A diferencia de las guerras anteriores, estas fueron guerras totales que involucraron a gran parte del mundo. Al borrar las distinciones entre civil y militar, las guerras totales del siglo XX requirieron que todos los elementos de la sociedad, incluida la ciencia y la tecnología, fueran aprovechados como parte del esfuerzo bélico. Las dos guerras mundiales ayudaron a dar forma a las ciencias de la ingeniería ayudando a establecer las raíces de lo que el presidente Dwight Eisenhower llamó el complejo militar-industrial (o más correctamente el complejo militar-industrial-académico) [Leslie, 1993]. Durante el siglo XIX el aumento de la población, el aumento de la industrialización y la invención de nuevos sistemas de armas llevaron al potencial de una nueva escala de guerra. En particular, la carrera armamentista naval de finales del siglo XIX que condujo al desarrollo de buques blindados a vapor con armamento de gran alcance mostró la ventaja de tener vínculos entre el ejército y las industrias, como Krupp en Alemania y Elswick, Compañía de Ordenanzas en Gran Bretaña.

5.1 Investigación patrocinada por el Gobierno en la Primera Guerra Mundial

Poco después del comienzo de la Primera Guerra Mundial, se convirtió en un punto muerto la guerra de trincheras y una gran pérdida de vidas, especialmente en el Frente Occidental. En respuesta, los gobiernos de ambos lados del conflicto comenzaron a considerar maneras de romper el estancamiento y comenzaron a movilizar a los científicos en el esfuerzo bélico [Hartcup, 1988]. La química jugó un papel particularmente importante durante la Primera Guerra Mundial, que a menudo fue llamada la guerra de los químicos. Las demandas de sustitutos de los bienes bloqueados, los nuevos explosivos

elevados, los gases venenosos y los medios para defenderse de ellos, llevaron a los gobiernos de ambos lados a establecer nuevas relaciones entre los institutos de investigación del gobierno, las universidades y las empresas químicas. Por ejemplo en Alemania, Fritz Haber ayudó a convertir el Instituto Kaiser Wilhelm en el brazo de guerra química de las fuerzas armadas y fue capaz de pedir al cártel I.G. Farben, que produjera las nuevas armas químicas descubiertas en el Instituto. En Gran Bretaña, se llevó a cabo una investigación sobre la guerra química en el Imperial College y la firma química de Castner-Keller comenzó la producción de gas venenoso para el ejército. En Estados Unidos, el Consejo Nacional de Investigación estableció un laboratorio en la Universidad Americana en Washington, D.C. para llevar a cabo investigaciones sobre la guerra química. En 1918, el presidente Woodrow Wilson estableció el Servicio de Guerra Química con el fin de llevar a cabo investigaciones químicas para las necesidades militares y construir fábricas para producir esos productos químicos. Aunque la Primera Guerra Mundial fue conocida como la guerra de los químicos, los gobiernos y los militares también alentaron la investigación en otras áreas de la ciencia y la tecnología. Las comunicaciones inalámbricas jugaron un papel importante en la Primera Guerra Mundial, especialmente en las operaciones navales. La Compañía Marconi proporcionó equipo para la Royal Navy británica al igual que la Compañía Telefunken para la Armada Alemana. El gobierno estadounidense alentó programas de investigación sobre comunicaciones inalámbricas y empresas protegidas, como General Electric, Western Electric y AT&T de litigios por infracción de patentes para que pudieran gastar más dinero en investigación y desarrollo. La preocupación por los ataques en submarinos en el Atlántico llevó a la Junta de Consultoría Naval estadounidense a establecer una estación de investigación experimental que reunió a científicos distinguidos, como Irving Langmuir, con empresas, como GE y AT&T, para llevar a cabo investigaciones sobre detección de submarinos. Incluso antes de que los gobiernos de guerra y los militares alentaran la investigación en aeronáutica,

debido al posible uso de aviones como herramientas de guerra. Poco después de un vuelo de demostración de los hermanos Wright en 1909, el gobierno británico estableció un Comité Asesor sobre Aeronáutica y el Laboratorio Físico Nacional (NPL) construyó un túnel de viento con el fin de llevar a cabo investigaciones aeronáuticas. En el continente se estaba haciendo un trabajo significativo sobre la teoría de la aeronáutica [Anderson, 1997]. Nikolai Jouwski en Rusia y Wilhelm Kutta en Alemania, desarrollaron una nueva teoría del levantamiento, mientras que Ludwig Prandtl en Alemania revolucionó el estudio de la resistencia con su teoría de la capa límite. Al mismo tiempo en Francia Gustave Eiffel comenzó una serie de pruebas experimentales en el ascensor utilizando un túnel de viento. En los Estados Unidos, el Congreso estableció el Comité Asesor Nacional para la Aeronáutica (NACA) que contrató a William Durand y Everett Lesley en la Universidad de Stanford para llevar a cabo pruebas de túnel de viento en láminas de aire y hélices utilizando la variación de parámetros [Vincenti, 1990, págs. 137-169]. Con la excepción del uso de Anthony Fokker del trabajo de Prandtl para diseñar aviones para los alemanes, la investigación aeronáutica jugó poco papel en el diseño de aeronaves durante la Primera Guerra Mundial, pero jugaría un papel mucho más importante en la revolución del diseño de aeronaves durante el período de entreguerras. El recién completado Laboratorio Langley de Gran Bretaña y NACA llevó a cabo nuevas pruebas experimentales que condujeron a la racionalización de los aviones. En la década de 1930 NACA construyó un túnel de viento a gran escala, que utilizaba para diseñar nuevas cubiertas para motores y una nueva serie de láminas de aire [Anderson, 1997]. Las nuevas mejoras en el diseño de aeronaves y los avances en la teoría aerodinámica, llevaron a algunos individuos en Gran Bretaña y Alemania a contemplar alcanzar el vuelo de alta velocidad y gran altitud [Constant, 1980]. Esto llevó a Frank Whittle en Inglaterra y Hans von Ohain y Ernst Heinkel en Alemania a comenzar a trabajar en motores turbo reactores.

Gran parte de este trabajo se realizó con el apoyo del Consejo de Investigación Aeronáutica en Gran Bretaña y el Ministerio del Aire en Alemania.

5.2 Investigación patrocinada por el Gobierno en la Segunda Guerra Mundial

Mientras que los gobiernos comenzaron a alentar y dirigir las interacciones entre la ciencia y la tecnología durante la Primera Guerra Mundial, la investigación gubernamental y militar patrocinada comenzó a despegar durante la Segunda Guerra Mundial [Hartcup, 2000]. Si bien la guerra química, las comunicaciones inalámbricas y los aviones no habían resultado decisivos en la Primera Guerra Mundial, varios funcionarios comenzaron a reconocer que el resultado de la Segunda Guerra Mundial podría depender de sistemas de armas que aún no se inventaran y, por lo tanto, tenía que haber una manera de ciencia, tecnología e industria para las necesidades militares. Debido a que la mayor parte de Europa estaba bajo la amenaza de bombardeos aéreos, gran parte de la investigación más exitosa en tiempos de guerra se llevó a cabo en los Estados Unidos. En 1940, incluso antes de que Estados Unidos entrara en la guerra, un grupo de científicos e ingenieros académicos e industriales convencieron al presidente Franklin Roosevelt para establecer el Comité de Investigación de Defensa Nacional (NDRC) con el fin de dirigir la investigación en tiempos de guerra. Un año más tarde, el gobierno estableció una organización más amplia, la Oficina de Investigación y Desarrollo (OSRD), para supervisar la NDRC y la investigación médica, y para desarrollar realmente esa investigación sobre la producción de nuevas armas. Dado que el tiempo era esencial, la NDRC decidió no establecer sus propios laboratorios, sino contratar con universidades e industria para el uso de sus laboratorios y personal. Esta nueva estructura organizativa que unía a las universidades, la industria y el ejército produjo un gran número de sistemas de armas que ayudaron a los Aliados a ganar la guerra, la más importante de las cuales eran el radar y la bomba atómica. A menudo se

dice que mientras que la bomba atómica puso fin a la guerra fue el radar que ganó la guerra [Brown, 1999; Buderer, 1996]. Aunque algunos trabajos tempranos sobre radar se habían hecho en Alemania y Estados Unidos durante la década de 1920, la mayoría de los historiadores dan crédito por la invención del radar a Robert Watson-Watt, jefe de la Estación de Investigación de Radio de la NPL, cuyo trabajo llevó a la primera Red de radar defensivo a gran escala. Watson-Watt reconoció que las señales pulsadas y las longitudes de onda cortas eran la clave de un sistema de radar práctico. Mientras que el radar británico ayudó a ganar la Batalla de Gran Bretaña, la tecnología tradicional de tubos de vacío limitó el desarrollo de un radar de microondas más pequeño que podría ser transportado en aviones y barcos con fines ofensivos. El trabajo en Inglaterra en el Laboratorio Clarendon de Oxford y en el Laboratorio General Electric en Wembley condujo al desarrollo del magnetrón de cavidad en 1940 que podía producir microondas. Debido a la dificultad para producir los dispositivos en tiempos de guerra en Gran Bretaña, la nueva tecnología de radar fue compartida con los estadounidenses. Poco después, el Comité de Microondas de la NDRC estableció un Laboratorio Central de Radiación (Rad Lab) en M.I.T. Con un personal que creció a más de cuatro mil, presupuesto anual de \$43 millones y enlaces con Bell Labs, Raytheon Corporation, Western Electric, General Electric y Westinghouse, el Rad Lab desarrolló sistemas de radar aerotransportados que podían detectar otros aviones y Uboats y el laboratorio, crearon la Ayuda de Largo Alcance para la Navegación (LORAN). Al mismo tiempo, la Sección T de la NDRC, en colaboración con la Corporación Sylvania, desarrollaron y produjeron el fusible de proximidad que era un sistema de radar miniaturizado que podía caber dentro de un proyectil antiaéreo, que resultó crucial para derribar aviones en el Pacífico. Todo este trabajo reunió a investigadores académicos e industriales de una manera que desdibujó las distinciones entre ciencia y tecnología y se clasificaría mejor como ciencia de la ingeniería. Uno de los acontecimientos más importantes, que surgió de la alianza entre el ejército, las

universidades y la industria fue la bomba atómica [Rhodes, 1986]. Una vez más la mayor parte de la investigación inicial ocurrió en Europa, comenzando con el descubrimiento de la fisión por Otto Hahn y Fritz Strassmann en Berlín a finales de 1938. Un paso clave en el desarrollo de una bomba atómica fue el trabajo realizado por Otto Frisch y Rudolf Peierls en 1940 en la Universidad de Birmingham en Inglaterra. Reconocieron que si el isótopo uranio-235 pudiera separarse del uranio-238 más común, la masa crítica para una reacción en cadena nuclear estaría en el orden de libras en lugar de toneladas y el material podría utilizarse para producir una bomba. Otros investigadores en Estados Unidos indicaron que el Plutonio-239, un material que podría ser producido bombardeando uranio-238 con neutrones, también podría hacer un material adecuado para una bomba. Una vez más las condiciones de la guerra en Gran Bretaña hicieron improbable que la investigación y el desarrollo necesarios se pudieran hacer allí para que los británicos compartieran su investigación con los estadounidenses.

Entre 1940 y 1942 gran parte de la investigación para la bomba atómica se realizó bajo contrato de la NDRC en la Universidad de Columbia, el Laboratorio Metalúrgico (Met Lab) en la Universidad de Chicago, la Universidad Estatal de Iowa y la Universidad de California en Berkeley. Esta investigación culminó en 1942 con la primera reacción en cadena nuclear controlada en el Met Lab bajo la dirección de Enrico Fermi. El reactor nuclear servía tanto como banco de pruebas para una bomba atómica de uranio como un medio por el cual se podía producir material para una bomba de plutonio. Poco antes del éxito del reactor de Chicago, el OSRD decidió que el Cuerpo de Ingenieros del Ejército era más adecuado para supervisar la combinación de investigación en la producción industrial que se necesitaría para crear realmente una bomba atómica. El recién creado Manhattan Engineering District (o Manhattan Project) estableció tres importantes instalaciones industriales y de investigación: una en Oak Ridge, Tennessee para separar U-235 a través de la separación electromagnética o la

difusión gaseosa; un segundo en Hanford, Washington para producir plutonio utilizando reactores nucleares a gran escala; y un tercero en Los Alamos, Nuevo México para diseñar los dos tipos de bombas. Estas instalaciones reunieron a investigadores académicos e industriales. Los proyectos de separación en Oak Ridge fueron dirigidos por Tennessee Eastman y Union Carbide basados en investigaciones realizadas en la Universidad de California en Berkeley, y las instalaciones de Hanford fueron dirigidas por Du Pont sobre la base de investigaciones realizadas en la Universidad de Chicago. Una vez más, la investigación dirigida entre el gobierno y el ejército que condujo al desarrollo de la bomba atómica trascendió las distinciones tradicionales entre la investigación básica y aplicada, o entre la ciencia y la tecnología y está mejor clasificada como ciencia de la ingeniería.

6 LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA EN LA ERA DE LA TECNOCENCIA: 1945-2000

La victoria aliada en la Segunda Guerra Mundial también fue vista como una victoria del concepto del complejo militar-industrial-académico que produjo las armas ganadoras. Cuando la Guerra Fría pronto siguió al final de la Segunda Guerra Mundial, esto condujo a una continuación, e incluso a un aumento dramático del apoyo gubernamental a la ciencia y la tecnología. Durante la Guerra Fría se establecieron una serie de nuevas agencias gubernamentales para apoyar y dirigir la investigación científica y tecnológica [Geiger, 1992]. En los Estados Unidos la Marina estableció la Oficina de Investigación Naval (ONR), la Fuerza Aérea fundó la RAND Corporation, y el Congreso creó la National Science Foundation (NSF), la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y la Comisión de Energía Atómica (AEC). En este período, estas agencias distribuyeron millones de dólares a la industria y las universidades, especialmente para la investigación de doctorado. Al hacerlo, el gobierno ayudó a dar forma a la dirección de la investigación en ciencia y tecnología al centrar el

financiamiento en la investigación en armas nucleares, electrónica de estado sólido, cohetería, informática, biotecnología y nanotecnología. Al mismo tiempo, Europa siguió un camino similar con el establecimiento del Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN), la Agencia Espacial Europea y el Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Francia (CNRS). Los organismos gubernamentales de la Guerra Fría ayudaron a remodelar la relación entre la ciencia y la tecnología de tal manera que se haría difícil hacer distinciones significativas entre las dos áreas. De hecho, varios de los nuevos campos de la investigación, como la electrónica de estado sólido, la informática y la biotecnología, contenían un término extraído de la ciencia y otro de la tecnología [Channell, 1991]. La Segunda Guerra Mundial demostró que muy poca investigación podría considerarse "pura". Algo tan esotérico y aparentemente poco práctico como la física nuclear condujo a un arma que contribuiría al final de la Segunda Guerra Mundial y llegaría a definir la Guerra Fría. El filósofo Stephen Toulmin ha señalado que después de la Segunda Guerra Mundial el enfoque básico de la investigación científica ya no era la naturaleza misma; más bien el enfoque se convirtió en una unidad de tecnología, como un reactor, un misil o una computadora [Capshew y Rader, 1992, pág. 9]. Esta eliminación de cualquier distinción real entre ciencia y tecnología ha llevado al surgimiento del concepto de un único reino integrado de conocimiento que algunos han etiquetado tecno-ciencia [Latour, 1987]. En un reino así, la tecnología y la ciencia ya no dependen simplemente unos de otros; más bien son interdependientes, de modo que la tecnología no puede existir sin la ciencia y la ciencia no puede existir sin la tecnología [Sassower, 1995, pp. 4, 24] (para argumentar que todavía existen distinciones en un sentido conceptual entre la tecnología y la ciencia teórica, véase [Radder, 2009]).

6.1 Armas nucleares

Una de las primeras áreas en reflejar el nuevo concepto de tecno-ciencia fue el desarrollo de la posguerra de armas nucleares y energía nuclear [Rhodes, 1986]. El éxito de la bomba atómica en contribuir al final de la Segunda Guerra Mundial y las nuevas tensiones de la Guerra Fría llevó a los Estados Unidos y la Unión Soviética a centrarse en el desarrollo de armas nucleares más eficientes y poderosas. En la década de 1950, ambos países, utilizando investigaciones académicas, industriales y gubernamentales apoyadas, habían desarrollado la bomba H más potente. Casi al mismo tiempo que comenzaron nuevas investigaciones sobre reactores nucleares, especialmente en los Estados Unidos. Gran parte de las primeras investigaciones, apoyadas por la AEC, estaban dirigidas a reactores reproductores que podían producir plutonio para armas, o en reactores compactos para alimentar submarinos, pero a mediados de la década de 1950 también se estaba comenzando a producir reactores nucleares comerciales en respuesta al programa Átomos para la Paz del presidente Eisenhower. En todo este trabajo, la distinción entre ciencia y tecnología casi desapareció. Stuart W. Leslie ha argumentado que esta nueva investigación transformó la naturaleza de la física en algo más cercano a la tecnología [Leslie, 1993, p. 133]. Por ejemplo, en 1946 la Universidad de Harvard cambió su Departamento de Ciencias de ingeniería al Departamento de Ciencias de la Ingeniería y Física Aplicada y poco después Cornell estableció un Departamento de Física de Ingeniería. La tecnología comenzó a cambiar la física nuclear de otras maneras. Nuevos equipos experimentales, como los aceleradores de partículas surgidos de la investigación de microondas en tiempos de guerra y nuevos detectores, como las cámaras de chispas y burbujas surgieron de la tecnología desarrollada originalmente para armas nucleares o para detectar misiles. Esta dependencia de la tecnología comenzó a influir en el desarrollo de teorías en física nuclear. Peter Galison ha argumentado que esta complicada tecnología llevó a los laboratorios a confiar en teóricos "internos" que desarrollaron teorías más directamente relacionadas con una máquina

específica que se utiliza en un experimento y teóricos externos que desarrollaron teorías que sólo podían ser probado en alguna máquina específica [Galison, 1997, p. 43]. Además, estas máquinas eran tan grandes, complejas y costosas que los experimentos realizados en ellas sólo podían ser gestionados por equipos de investigadores de laboratorios nacionales o incluso internacionales.

6.2 La carrera espacial

Muy relacionado con el trabajo sobre las armas nucleares estaba el desarrollo de misiles para entregarlos. La idea moderna de un misil balístico guiado comenzó a surgir a finales del siglo XIX y principios del XX con el trabajo de los rusos Konstantin Tsiolkovsky y Sergei Korolev y el alemán Hermann Oberth y el estadounidense Robert H. Goddard [Von Braun y Ordway, 1976]. Pero fue el exitoso desarrollo del cohete V-2 por los nazis durante la Segunda Guerra Mundial lo que estimuló el desarrollo de la posguerra de misiles balísticos y la carrera espacial entre los Estados Unidos y la Unión Soviética [Neufeld, 1995]. El desarrollo de misiles proporcionó los medios para entregar armas nucleares y la capacidad de lanzar satélites que podrían utilizarse para mejorar las comunicaciones y espiar al otro lado [McDougall, 1985]. Además, la exploración pacífica y científica del espacio a menudo funcionaba como un sustituto de la carrera armamentista entre los estadounidenses y los soviéticos. Tanto en los Estados Unidos como en la Unión Soviética, la carrera espacial reunió la investigación gubernamental, militar, académica e industrial de tal manera que difuminó cualquier distinción entre ciencia y tecnología [Bromberg, 1999]. Al igual que con los estudios nucleares, el programa espacial cambió la naturaleza de la ciencia, particularmente la ciencia planetaria y la astronomía. Nuevas sondas planetarias y telescopios espaciales requerían un equipo interdisciplinario de astrónomos, físicos, ingenieros aeronáuticos, ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos y científicos informáticos. La mayor parte del

equipo tenía que ser construido por la industria privada y requería financiación del gobierno. Como tal, la investigación real debía ser gestionada por laboratorios nacionales o internacionales.

6.3 Electrónica de estado sólido

Una tercera área de investigación y desarrollo que reflejaba el nuevo concepto de tecno-ciencia fue el campo de la electrónica de estado sólido [Riordan y Hoddeson, 1997]. Durante las décadas de 1920 y 1930 los físicos comenzaron a aplicar la mecánica cuántica a los materiales de estado sólido y comenzaron a desarrollar teorías sobre cómo se comportan los electrones en una clase de materiales recién descubiertos llamados semiconductores. Justo antes del comienzo de la Segunda Guerra Mundial, Bell Labs comenzó una investigación fundamental sobre el estado sólido, pero la investigación fue descubierta durante la guerra en favor del trabajo en el radar. El trabajo en tiempos de guerra en el radar condujo a una nueva comprensión de las propiedades de los semiconductores, y con el final de la guerra, Bell volvió a la investigación sobre semiconductores con la esperanza de encontrar una versión de estado sólido del tríodo de tubos de vacío. Poco después de la guerra Bell Labs estableció un equipo interdisciplinario de investigadores, dirigido por William Shockley, un físico teórico, Walter Brattain, un físico experimental, y John Bardeen, un físico teórico que también tenía un M.S. en Ingeniería eléctrica. La combinación de teoría y experimento Brattain y Bardeen demostró el primer transistor de contacto puntual en diciembre de 1947, y un mes más tarde Shockley tuvo la idea de un transistor de unión, que en última instancia reemplazaría al transistor de contacto puntual. El ejército estadounidense fue una fuerza importante detrás del desarrollo del transistor. El Cuerpo de Señales del Ejército estaba particularmente interesado en miniaturizar los dispositivos de comunicación y los militares se convirtieron en un importante consumidor de transistores en un momento en que sus aplicaciones civiles limitaban por el alto

costo. También fueron los militares los que empujaron a la industria electrónica a cambiar de germanio a silicio, que era más adecuado para su uso en misiles guiados y buques de propulsión nuclear. Los militares también alentaron la difusión de conocimientos sobre el transistor a la industria y las universidades. Con el mercado militar de transistores disminuyendo después del final de la Guerra de Corea, comenzaron a surgir nuevos mercados civiles, como audífonos y radios. Muchas de las nuevas aplicaciones civiles de transistores se originaron en Japón, a las que se le había prohibido tener un ejército y, por lo tanto, buscaron otras solicitudes de transistores. En la segunda mitad de la década de 1950, Shockley dejó Bell y creó una nueva compañía en el Parque Industrial Stanford en California que había sido creada para fomentar la cooperación entre la universidad y la industria privada. Esto se convertiría en el comienzo de lo que llegó a ser conocido como Silicon Valley. El éxito de nuevos mercados de transistores llevó a mejoras en la fabricación de circuitos de transistores. Esto culminó en la invención independiente del circuito integrado en 1959 por Jack Kilby en Texas Instruments y por Robert Noyce en Fairchild Semiconductor en California.

6.4 Computadoras e informática

Una de las aplicaciones más significativas de transistores y circuitos integrados fue en el ordenador. Aunque la idea de una computadora de propósito general se remonta a la primera mitad del siglo XIX cuando Charles Babbage en Inglaterra concibió su máquina analítica, no fue hasta la Segunda Guerra Mundial que los británicos y los estadounidenses construyeron dispositivos de cálculos especializados reales [Goldstine, 1972]. En Inglaterra, un equipo de Bletchley Park bajo Alan Turing, construyó una máquina llamada Coloso que fue diseñada para ayudar a romper los códigos alemanes. También durante la guerra, Howard Aitken en Harvard y un equipo de IBM desarrollaron el Mark I, que se utilizaba para hacer mesas balísticas y resolver problemas

derivados del desarrollo de la bomba atómica. Estas primeras computadoras estaban limitadas por el hecho de que eran dispositivos electromecánicos y estaban diseñados para aplicaciones específicas. Después de la guerra, varios avances llevaron a la creación de la computadora electrónica de aplicación general [Ceruzzi, 2003]. Muchas de las primeras mejoras fueron ayudadas por la investigación en tiempos de guerra sobre radares. La primera mejora fue el Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC), el primer ordenador electrónico, diseñado y construido para el Ejército de los Estados Unidos por John Eckert y John Mauchly en 1945, en la Universidad de Pensilvania. Esto fue seguido por el Electronic Delay Storage Automatic Computer (EDSAC), el primer ordenador de programa almacenado a gran escala que fue construido en 1949 por Maurice Wilkes en la Universidad de Cambridge, basado en un diseño de John von Neumann. La moderna computadora electrónica de propósito general surgió con las mejoras adicionales provocadas por la invención de la memoria de núcleo magnético de acceso aleatorio por Jay Forrester en 1949 en el Laboratorio de Servomecanismos de M.I.T., y el desarrollo de SOLO de Philco en 1957, uno de los primeros ordenadores todo transistorizado, y finalmente por el uso de circuitos integrados por varias firmas en la década de 1960, que resultó en el desarrollo de la minicomputadora. Mientras que la computadora moderna fue el resultado de una combinación de ciencia y tecnología que podría ser etiquetada como tecno-ciencia, su desarrollo también condujo a la creación de una nueva tecnología-ciencia que se conoció como ciencia de la computación. Al mismo tiempo que las memorias básicas, los transistores y los circuitos integrados estaban transformando el hardware de la computadora, se estaban produciendo cambios significativos en el desarrollo de software informático. Un gran avance se produjo con la comprensión de que las computadoras esencialmente manipulan los símbolos y que las instrucciones de la computadora en sí mismas podrían ser "codificadas" en las máquinas, donde podían ejecutar comandos [Campbell- Kelly y Aspray, 1996]. A finales de la

década de 1950 comenzaron a desarrollarse lenguajes de programación de nivel superior, como FORTRAN y COBOL. Además, los investigadores comenzaron a crear sistemas operativos que controlaban cómo las computadoras programaban tareas cuando se ejecutaba más de un programa. La combinación de desarrollos en hardware y software llevó a la aparición de lo que se conoció en América del Norte como ciencias de la computación. En 1967 Herbert Simon, Alan Perlis y Allan Newell en el Instituto Carnegie de Tecnología en Pittsburgh, argumentaron que la informática era el estudio de las computadoras de la misma manera que la astronomía era el estudio de las estrellas, excepto que las computadoras eran Artefactos construidos por humanos. Como tal, la informática era una "ciencia de lo artificial" [Simon, 1969]. En 1968 muchos en el campo de la informática se estaban alejando de centrarse en la propia computadora y volverse hacia la noción de computación como el verdadero foco de una ciencia de la computación. Esto condujo al estudio de algoritmos por Donald Knuth y otros, y en 1968 la Asociación de Maquinaria Informática recomendó un nuevo plan de estudios para la informática que reemplazó los cursos de hardware informático por cursos sobre diseño lógico, teoría de cambios y Algoritmos. Este nuevo enfoque en la computación difuminó aún más las distinciones entre ciencia y tecnología, ya que la computación podía verse como una construcción humana, y por lo tanto tecnológica, o como una rama de las matemáticas, y por lo tanto una base de las ciencias.

A finales del siglo XX se estaba utilizando la idea de la computación para modelar fenómenos físicos y biológicos, incluida la inteligencia humana. El trabajo realizado por Norbert Wiener y Julian Bigelow en armas antiaéreas durante la Segunda Guerra Mundial, condujo al desarrollo de teorías matemáticas de control y retroalimentación en las máquinas, que se convirtió en la base del nuevo campo de la cibernética. A partir de 1950 Alan Turing, influenciado por Wiener, propuso la idea de que una computadora pudiera exhibir un comportamiento inteligente, lo que ayudó a crear el campo de la

inteligencia artificial. Cerca de finales de siglo, los físicos y biólogos comenzaron a modelar fenómenos naturales utilizando computadoras que llevaron a la solución de muchos problemas sin resolver. El éxito de la física computacional y la biología llevó a algunos investigadores a argumentar que la computación no era simplemente una metodología para resolver problemas científicos, sino que el universo en sí, era esencialmente computacional y podía entenderse mejor en términos de procesamiento de información. Esto, por supuesto, difuminó aún más las distinciones entre ciencia y tecnología, y la ciencia se consideraba más como tecnología aplicada [Channell, 2004; Forman, 2007].

6.5 Ciencia de los materiales: láseres, superconductividad y nanotecnología

Un área también estrechamente asociada con la electrónica de estado sólido, pero que se extendió más allá de ella era la ciencia de los materiales. La aplicación de la mecánica cuántica a los sólidos durante las décadas de 1920 y 1930 dio lugar a un nuevo conocimiento de la relación entre la estructura atómica y las propiedades generales de los materiales. Esto abrió la posibilidad de diseñar materiales con un conjunto determinado de propiedades. Después de Sputnik, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada (DARPA) del Departamento de Defensa de los Estados Unidos se interesó en desarrollar materiales que pudieran funcionar en los entornos extremos de los programas de misiles y espaciales [Leslie, 1993, págs. 218-219]. A través de DARPA, el gobierno de los Estados Unidos financió una serie de laboratorios interdisciplinarios de investigación de materiales en las principales universidades y financió investigaciones sobre nuevas técnicas analíticas, como la microscopía electrónica, la difracción de rayos X y la resonancia magnética nuclear. Uno de los logros más significativos de la ciencia material fue el desarrollo del láser [Bromberg, 1991; Hecht, 2005]. Al igual que el transistor, el láser tenía raíces tanto en la electrónica como en la ciencia de los materiales.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los militares se interesaron en generar ondas de radio en un rango milimétrico que sería difícil de interceptar. A finales de la década de 1940, el Ejército, la Marina y la Fuerza Aérea crearon laboratorios en Columbia, M.I.T., Stanford y Harvard, para trabajar en el problema. En Columbia Charles Townes descubrió que la radiación de microondas podía amplificarse estimulando los electrones a un estado más alto. En 1954 Townes y su estudiante de posgrado James Gordon produjeron el maser que producía microondas amplificados por la emisión estimulada de radiación en gas de amoníaco. El maser fue inventado independientemente por Nikolai Brasov y Alexander Prochorov en la Unión Soviética. Durante la segunda mitad de la década de 1950 un número de investigadores, incluyendo Townes, utilizaron una idea de Joseph Weber para crear un maser de estado sólido usando cristales de rubí, y en 1957 Townes y R. Gordon Gould en Columbia y Arthur Schawlow en Bell Labs de forma independiente comenzaron a trabajar en el láser que amplificaría la luz por la emisión estimulada de radiación. Aunque a Bell Labs finalmente se le concedió la patente, los tres generalmente se les da crédito con la invención del láser, pero no fue hasta 1959-1960 que Theodore Maiman del Laboratorio Hughes produjo el primer láser de trabajo. Otra área de investigación en ciencia de materiales que reflejaba la tecno-ciencia fue el campo de la superconductividad, especialmente la superconductividad de alta temperatura [Matricon y Waysand, 2003; Nowotny y Felt, 1997]. El fenómeno de la superconductividad había sido descubierto a principios del siglo XX por Heike Kamerlingh Onnes en la Universidad de Leyden, pero el fenómeno sólo parecía ocurrir a temperaturas inferiores a 23 K y no podía ser explicado por la física clásica. No fue hasta 1957 que John Bardeen, Leon Cooper y J.R. Schrieffer desarrollaron la teoría BCS que utilizó la mecánica cuántica para explicar un tipo de superconductividad. Aunque la teoría tenía aplicaciones prácticas limitadas, sí explicaba el fenómeno de la tunelización que llevó a Gerd Binnig y Heinrich

Rohrer en el Laboratorio de Investigación de Zúrich de IBM a inventar el microscopio de escaneo por tunelización en 1985 [Rasmussen, 1997].

Algunos de los avances más significativos en la superconductividad provinieron de la investigación experimental. En 1986, Alex Müller y Georg Bednorz del Laboratorio de Investigación de Zúrich de IBM descubrieron un óxido cerámico que era superconductor a 35 K. A los pocos meses Shoji Tanaka, en la Universidad de Tokio, M.K. Wu, en la Universidad de Alabama-Huntsville, y Paul Chu, en la Universidad de Houston, descubrieron otros materiales que eran superconductores a 98 K, que podrían ser alcanzados con líquido nitrógeno barato en lugar del helio líquido más caro. Si bien el desarrollo de superconductores de alta temperatura representa otro desvarío de la ciencia y la tecnología, también puede representar una nueva fase de la tecno-ciencia. A diferencia de los proyectos científicos grandes anteriores, la mayor parte de este trabajo fue el resultado de pequeños laboratorios con equipos de uno o dos individuos. Pero el trabajo no representa un retorno a la ciencia tradicional. La necesidad de considerar empíricamente casi un número infinito de materiales llevó al establecimiento de alianzas y redes de investigadores que Michel Callon ha etiquetado como el "laboratorio extendido" [Nowotny and Felt, 1997, p. 5]. Uno de los avances más recientes en la ciencia de los materiales es el surgimiento de la nanotecnología [Regis, 1995]. Algunos historiadores trazan el origen de la idea de la nanotecnología a una charla del físico Richard Feynman en 1959 en la que argumentó que la miniaturización en la tecnología podía empujarse mucho más lejos y sugirió diseñar una serie de máquinas vinculadas, cada una más pequeña que la otra, en el que la más pequeña podría ser capaz de manipular átomos individuales. Casi al mismo tiempo Arthur von Hippel, un ingeniero de M.I.T. sugirió que los nuevos materiales podrían ser diseñados de manera que sean capaces de manipular un átomo a la vez. Pero no sería hasta la década de 1980 que cualquier trabajo significativo en el campo comenzaría. Fue entonces cuando K. Eric Drexler, un estudiante de posgrado en M.I.T. sugirió el

uso de técnicas de ingeniería genética para manipular proteínas con el fin de producir el equivalente de máquinas pequeñas [Drexler, 1987]. A mediados de la década de 1980 Carl Pabo, Jay Ponder y Frederic Richards en Yale "invertieron" el enfoque biológico habitual y fueron capaces de encontrar una secuencia de aminoácidos que producirían una proteína con una forma dada. Al mismo tiempo que la ingeniería de proteínas mostraba cierto potencial para diseñar nanoestructuras, Binnig y Rohrer, inventores del microscopio de escaneo de túnel, descubrieron que si la punta del instrumento se acercaba demasiado a la superficie de una muestra, un átomo se pegaba a la punta y se podía mover [Rasmussen, 1997]. Poco después, grupos de Bell Labs y el IBM Almaden Research Center en San José, California crearon un dispositivo que podía mover átomos a ubicaciones específicas. Otros investigadores de M.I.T. y AT&T utilizaron técnicas desarrolladas originalmente para fabricar circuitos integrados y produjeron máquinas del tamaño de micrones, al grabar silicio de un chip. Aunque ninguna de estas técnicas produjo dispositivos verdaderamente prácticos, en 1991 el Ministerio japonés de la Industria del Comercio Internacional (MITI) proporcionó 200 millones de dólares para el desarrollo de la nanotecnología. Al año siguiente, el Subcomité de Ciencia, Tecnología y Espacio del Senado de los Estados Unidos, presidido por Albert Gore, comenzó las audiencias que condujeron a la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI), firmada en 2000, que proporcionaría miles de millones de dólares para la Investigación en nanotecnología. Irónicamente, gran parte de la investigación financiada por el gobierno siguió un camino diferente al que propugnó Feynman o Drexler. En lugar de centrarse en ensamblar materiales de un átomo a la vez, los investigadores recurrieron a técnicas químicas más tradicionales. Este enfoque llevó a Richard Smalley, Robert Curl y Harold Kroto de la Universidad Rice en Houston a descubrir una nueva disposición de átomos de carbono que era similar a las cúpulas geodésicas diseñadas por Buckminster Fuller. Estos nuevos fullerenos, o bolas bucky, tenían una serie de aplicaciones interesantes,

tales como estructuras en jaulas para entregar medicina a ciertas partes del cuerpo. En 1991 Sumio Iijima, un investigador de NEC en Japón descubrió que los fullerenos podrían existir como tubos largos, con la etiqueta nanotubos. Tales tubos tenían la promesa de su uso en líneas eléctricas de alta tensión o como materiales textiles que serían más fuertes que Kevlar.

Aunque todavía acaba de llegar a finales del siglo XX, la nanotecnología refleja muchas de las características de la tecno-ciencia. La investigación en nanotecnología no puede dividirse fácilmente en ciencia versus tecnología o básica frente a aplicada. El trabajo dirigido al desarrollo de la nanotecnología práctica, a menudo ha dado lugar a nuevos descubrimientos científicos básicos, como las primeras proteínas artificiales o fullerenos. Al mismo tiempo, la investigación básica, como el trabajo en el plegado de proteínas o la búsqueda de nuevos fullerenos, siempre se realiza con un solo ojo en aplicaciones prácticas. Pero, al igual que la superconductividad, la nanotecnología puede representar una nueva fase de la tecno-ciencia. Si bien tiene algunas aplicaciones militares, la mayor parte del financiamiento proviene de agencias gubernamentales no militares, como MITI o NNI. Además, si bien se han asignado miles de millones de dólares para la investigación en nanotecnología, ese financiamiento se ha dividido entre una serie de proyectos que han dado lugar a alianzas y redes que también pueden reflejar el concepto de Callon del "laboratorio extendido" [Nowotny and Felt, 1997, p. 5].

6.6 Biotecnología

Un área conectada a la informática y a la ciencia de los materiales que refleja la noción de tecno-ciencia, es la biotecnología [Judson, 1979; Cherfas, 1982]. Robert Bud ha argumentado que la concepción moderna de la biotecnología surgió de la industrialización de la fermentación a finales del siglo XIX y principios del XX, que se utilizó para suministrar a Alemania forraje animal e ingredientes para explosivos durante la Guerra Mundial I [Bud, 1993]. Pero el

verdadero avance de la biotecnología tuvo lugar después de la Segunda Guerra Mundial cuando en 1953 Francis Crick y James Watson determinaron la estructura del ADN [Watson, 2003]. El descubrimiento de la estructura del ADN condujo a la investigación de la forma en que el ADN transportaba información genética [Kay, 2000]. Utilizando una idea presentada por Erwin Schrodinger en 1943, de que los genes almacenan información como un código-script, los investigadores comenzaron a aplicar técnicas y computadoras de la Segunda Guerra Mundial, al problema de descifrar el código genético. Aunque la técnica cripto-analítica estuvo a punto de romper el código, el problema de la forma en que funcionaba el ADN fue finalmente resuelto por técnicas más tradicionales en 1961 por Marshall Nirenberg y Heinrich Matthaei, en los Institutos Nacionales de Salud en Washington, D.C., pero los investigadores todavía a menudo pensaban en el ADN en términos de códigos e información. La ruptura del código genético abrió una nueva gama de posibilidades para la biotecnología. Con la combinación del descubrimiento de Stanley Cohen en 1971 del uso de plásmidos para "infectar" a E. coli con nuevas propiedades genéticas, y el descubrimiento en 1967 de enzimas, etiquetadas lipasa, que podrían pegar hebras de ADN, y el descubrimiento en 1970 de enzimas de restricción, que cortaban hebras de ADN, los elementos para manipular el ADN estaban en su lugar. En 1973 Cohen y Herbert Boyer, trabajando en el área de la bahía de San Francisco, combinaron dos plásmidos, cada uno confiriendo resistencia a un antibiótico diferente, y crearon un plásmido con ADN recombinante que confería resistencia a ambos antibióticos. El éxito de Boyer y Cohen llevó a la fundación de Genentech en 1976, que se convirtió en la primera empresa de biotecnología basada en la ingeniería genética. Esto fue seguido pronto por un gran número de nuevas empresas como Biogen y Amgen. Dado que muchas de estas empresas fueron fundadas por investigadores universitarios, varias universidades pronto comenzaron a crear laboratorios e institutos cuyo propósito específico era crear nuevos productos y procesos biotecnológicos comerciales. Esto difuminó aún

más las líneas entre la investigación industrial y académica y entre la ciencia pura y aplicada. El potencial de la biotecnología llevó a una propuesta en 1985 por Robert Sinsheimer de la Universidad de California en Santa Cruz para determinar el código genético del genoma humano. El plan fue posible gracias al desarrollo a finales de la década de 1970 de técnicas de secuenciación genética por Walter Gilbert en Harvard y Fred Sanger en Cambridge. En 1988, con fondos del Departamento de Energía de los Estados Unidos y los Institutos Nacionales de Salud, se estableció el Proyecto Genoma Humano. Aunque el proyecto fue concebido en los Estados Unidos, se realizó una cantidad significativa de trabajo en Gran Bretaña, Francia, Alemania y Japón. Los debates sobre las tecnologías de secuenciación llevaron al establecimiento de un programa comercial privado competidor para secuenciar el genoma humano en Celera Genomics encabezado por Craig Venter. En 2000, tanto el programa gubernamental que financiaba principalmente la ciencia académica como el programa impulsado comercialmente, habían dado lugar a un "borrador" del genoma humano. Como resultado de este éxito, no sólo las distinciones entre la investigación pura y aplicada y entre la ciencia y la tecnología se vuelven borrosas, sino también las distinciones entre lo orgánico y lo tecnológico [Channell, 1991].

COHERENCIA Y DIVERSIDAD EN LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Gerhard Banse and Armin Grunwald

1 INTRODUCCION

La filosofía de la tecnología ha dedicado relativamente poca atención a las ciencias de la ingeniería. El enfoque se ha centrado principalmente en el concepto de tecnología, las facetas de la acción técnica, la relación entre los seres humanos y la tecnología o entre la tecnología y la sociedad [Ferré, 1995; Mitcham, 1994], y la relación entre la tecnología y el arte o entre la tecnología y la naturaleza (véase, por ejemplo, la mayoría de las contribuciones en [Lenk y Maring, 2001] y en [Mitcham y Mackey, 1983]). Por el contrario, la teoría de la ciencia se ha preocupado mucho más predominantemente por las disciplinas científicas clásicas —particularmente la física teórica— que por las ciencias de la ingeniería, a pesar de la fascinante e incluso específica relación demostrada por esta última entre la teoría y la práctica. Aunque las prácticas técnicas son un aspecto inextricable de la historia cultural de la humanidad, las ciencias de la ingeniería surgieron en una etapa relativamente tardía, como consecuencia de la revolución industrial y quedaron ancladas institucionalmente en respuesta a la necesidad de la sociedad, de que los conocimientos técnicos sean sistemáticos, de que los ingenieros estén bien educados y de que los conocimientos técnicos y tecnológicos continúen expandiéndose.

Por lo tanto, la coherencia y diversidad de las ciencias de la ingeniería no puede considerarse aisladamente de esta historia. Es precisamente en esta relación entre la teoría y la práctica que estas ciencias se manifiestan. Una mayor clarificación de esta relación es una tarea compartida por la filosofía de la tecnología y la teoría de la ciencia. A primera vista, las ciencias de la ingeniería parecen ser un conglomerado de una amplia variedad de disciplinas científicas, siendo el único terreno común aparente, su afiliación a la ingeniería y la tecnología, a los sistemas técnicos y la forma en que se desarrollan y se aplican. Los propios sistemas representan, de hecho, una enorme diversidad. Sin embargo, tras un examen más detenido, las características uniformes y los elementos unificadores se cristalizan dentro de esta diversidad. El objetivo de este capítulo es dejar claras estas características comunes. Con este fin, primero definiremos la naturaleza específica de las ciencias de la ingeniería y examinaremos su desarrollo. Esto nos permitirá dar sustancia a la coherencia y multiplicidad de las ciencias de la ingeniería, teniendo al mismo tiempo en cuenta su desarrollo histórico. Esta introducción (Sección 2) proporciona así

información tanto sobre la perspectiva desde la que se ven las ciencias tecnológicas en este capítulo como las opciones que abriremos, para hacer justicia a su diversidad. Habiendo optado por ver la coherencia y diversidad de las ciencias de la ingeniería en relación con la relación específica entre la teoría y la práctica, parece lógico seguir a través de esta perspectiva tanto metodológicamente (Sección 3), como sustantivamente (Sección 4). No es de extrañar, en términos de metodología, nos veremos obligados principalmente a tratar la coherencia de las ciencias de la ingeniería, por ejemplo, en el diseño de ingeniería, mientras que en términos de fondo, el enfoque se centrará en la clasificación y, por lo tanto, en la diversidad. Además, de estas consideraciones, finalmente presentaremos nuestras consideraciones de "tecnología general". Aquí es donde consideramos a nivel conceptual las relaciones de coherencia y diversidad discutidas hasta ahora (Sección 5).

2.- COHERENCIA Y DIVERSIDAD — LA NATURALEZA ESPECÍFICA Y EL DESARROLLO DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

2.1 La naturaleza específica de las ciencias de la ingeniería

El término colectivo "ciencias de la ingeniería" se utiliza para agrupar todas las disciplinas científicas relacionadas con la tecnología, principalmente en forma de sistemas tecnológicos ("artefactos"), materiales, procedimientos de trabajo y procesos tecnológicos (véase también Mitcham). Estas ciencias tienen que cumplir la siguiente función dual:

- En primer lugar, son particularmente las características de los sistemas técnicos existentes que se registran por observación o medición y luego se analizan empírica y teóricamente. Estos resultados se presentan tanto en las ciencias naturales como en las ciencias de la ingeniería y, cuando es posible, se justifican matemática y generalmente. Esto constituye la base para mejorar potencialmente los sistemas técnicos, por ejemplo en términos de funcionalidad, eficacia, facilidad de uso, aplicaciones potenciales, fiabilidad y seguridad, o para controlar mejor su aplicación.

- En segundo lugar, se prevén nuevos objetos técnicos y procedimientos tecnológicos (o cambios en los procedimientos existentes) utilizando enfoques guiados por metodología que se basa en conocimientos teóricos e inferencias, así como en la experiencia práctica existente. Se evalúan de acuerdo con los requisitos externos y se redactan (diseño, diseño de ingeniería). Así se hacen evidentes dos cosas:

a) la tecnología no puede reducirse a sus realizaciones concretas, ya que también abarca las acciones humanas detrás de la construcción técnica, así como los procesos de producción tecnológica que se basan en el uso de sistemas y servir para crear cosas de valor.

b) El ámbito de las ciencias de la ingeniería no sólo incorpora sistemas técnicos ya existentes y en funcionamiento, sino también los que aún no se han creado, los que aún deben anticiparse, diseñarse y proyectarse intelectualmente. En este contexto, las ciencias de la ingeniería se ocupan de combinaciones específicas de posibles opciones técnicas, dictadas por las leyes de la naturaleza y por los objetivos sociales, requisitos, limitaciones y necesidades. Estas combinaciones específicas están sujetas a la influencia de lo que es posible en términos de leyes de la naturaleza, lo que es técnica y tecnológicamente realizable, económicamente viable, ecológicamente sensato, socialmente deseable y exigible, y humanamente aceptable. Pueden ser reconocidos por las estructuras características de los sistemas técnicos y las funciones externas correspondientes que, aunque en última instancia están habilitadas por las leyes de la naturaleza, no pueden explicarse suficientemente en el marco del conocimiento científico natural. Las características técnicas o las propiedades técnicas deben caracterizarse tanto por lo que respecta a la naturaleza como al campo de la actividad humana. "Reflejan la capacidad de los objetos para llevar a cabo esta o esa función técnica" [Tscheschew y Wolossewitsch, 1980, pág. 163]. Expresan la dialéctica de la naturaleza y la sociedad, de los componentes naturales y sociales que son característicos de la ingeniería y la tecnología. Estas características técnicas son ante todo objeto de las ciencias de la ingeniería que también se propusieron investigar las relaciones entre los componentes de las leyes de la naturaleza (o combinaciones de estos componentes) y las condiciones técnicas de su realización o efecto. A la vanguardia de la actividad científica en las ciencias de la ingeniería está la anticipación sistemática y la evaluación compleja de la estructura y función de los sistemas técnicos, de los caminos hacia su realización y de los procedimientos subyacentes a su aplicación. Es el proceso de la anticipación intelectual de lo nuevo, es decir, de lo que aún no existe, o no en una forma dada. Los resultados incluyen posibles soluciones a tareas y problemas técnicos, ideas técnicas, innovaciones, desarrollos e invenciones. Las ciencias de la ingeniería en su conjunto se ocupan igualmente de la cognición y la práctica.

Los objetivos cognitivos son crear nuevos conocimientos, por ejemplo, en forma de normas funcionales y estructurales, leyes tecnológicas o sistemas

ecológicos socio-tecnológicos. Los objetivos prácticos son anticipar la tecnología, por ejemplo en forma de sistemas técnicos nuevos o mejorados, interacción humano-tecnológica o estructuras socio-técnicas. Esto no sólo define el objetivo práctico del trabajo en ciencias de la ingeniería, sino que también deja claro que los sistemas técnicos se crean mediante el "pensamiento, la planificación y la construcción" y que el requisito previo del "propósito previsto es la eficacia práctica" [Spur , 1998b, pp. 1ff.; énfasis de los autores presentes]. Al estar vinculadas a la realización práctica, las ciencias de la ingeniería se convierten en lo que el físico alemán Hans-Peter Dürr denominó "maquinaciones" o "ciencias de hacer" [Dürr, 1988, p. 172, 179]. De esta manera se hace más hincapié en el "modo de hacer" tanto en los sistemas técnicos y el trabajo de los seres humanos y, por lo tanto, sobre la interacción humano-técnica en la producción y utilización de estos sistemas (sistemas socio-técnicos dentro de un "marco" cultural). Las ciencias de la ingeniería son, por lo tanto, ciencias de acción. Se ocupan de los artefactos técnicos, los procesos, los métodos de acción y los procedimientos y están diseñados para apoyar la acción humana de muchas maneras a través de la tecnología o proporcionando el conocimiento y el "saber cómo" para la tecnología. La preocupación científica específica con la acción técnica sirve a la investigación sistemática de las condiciones de acción exitosa y la ampliación de las posibilidades de acción. Las ciencias de la tecnología y la ingeniería persiguen tres tipos de objetivos a este nivel abstracto (véase [König, 2006]):

1. **Objetivos prácticos:** Las ciencias de la ingeniería deben apoyar y querer apoyar y mejorar la práctica técnica con respecto a la usabilidad, viabilidad, eficiencia, seguridad, funcionalidad, etc., de procedimientos técnicos, productos o sistemas. El criterio central del éxito de las ciencias de la ingeniería es su utilidad para la sociedad a través del apoyo a la práctica técnica y la educación de los ingenieros. Con respecto a sus objetivos prácticos, las ciencias de la ingeniería demuestran un alto grado de relevancia social.

2. **Objetivos cognitivos:** Los conocimientos técnicos, es decir, los conocimientos de contextos y procedimientos técnicos, del procesamiento de materiales y de los procesos físicos o químicos explotables deben ser producidos, estabilizados, sistematizados y mejorados. El criterio central para el éxito aquí es la verdad de los conocimientos relevantes junto con el logro del reconocimiento dentro y fuera de las ciencias. Por lo tanto, el concepto central es la excelencia científica.

3. Objetivos profesionales: La comunidad científica afiliada a estas disciplinas técnicas (por ejemplo, de ingeniería mecánica o civil) debe consolidarse a través de revistas científicas, sociedades, congresos y reuniones científicas, a través de la estabilización y expansión del sistema de conocimiento y a través de una mayor especialización y diferenciación. La dualidad de los objetivos prácticos y cognitivos que se encuentran en los dos primeros tipos de objetivos es crucial para nuestra discusión ulterior, mientras que el tercer tipo es menos relevante para el presente estudio. La dualidad de objetivos prácticos (con todas las promesas de relevancia, utilidad y viabilidad) y objetivos cognitivos (con todos los requisitos de excelencia y verdad) representa un elemento significativo y específico de las ciencias de la ingeniería que contrasta con las ciencias naturales. Por ejemplo, la física —al menos como se entiende tradicionalmente— carece del aspecto de seguir los objetivos "externos" de la práctica social, pero se centra más bien en los objetivos "internos". Aquí la práctica y la investigación se ordenan metódicamente. La dualidad de la orientación práctica y la creación del conocimiento, de relevancia y excelencia, de utilidad y verdad, de viabilidad y reproducibilidad, se organiza de acuerdo con la primacía de la práctica. La práctica social, para la que las ciencias de la ingeniería proporcionan conocimientos técnicos, es el objetivo final de la investigación en las ciencias de la ingeniería. Por lo tanto, la garantía de viabilidad técnica en condiciones "reales" del mundo es un objetivo crucial de la acción técnica. Por el contrario, la excelencia y la afirmación de la verdad no se convierten en fines en sí mismos en la investigación científica de ingeniería. Más bien deben ser vistos como instrumentos, por ejemplo con la esperanza de que el conocimiento excelente y universal, mediante la transferencia a nuevos contextos, muestre signos de mayor utilidad y fuerza innovadora. Alternativamente, se puede suponer que la reivindicación de la excelencia (que se fortalece, por ejemplo, a través de evaluaciones y la creciente presión de la competencia) elevará indirectamente la competencia innovadora de las ciencias de la ingeniería.

La primacía de la práctica también corresponde al desarrollo histórico en las ciencias de la ingeniería. Los requisitos de la práctica a menudo conducen al establecimiento de nuevas direcciones de investigación y nuevas cátedras (véase, por ejemplo, [König, 1995] con respecto a la electro-tecnología). La terminación de los requisitos de fuera de la ciencia conduce, a su vez, a la terminación o reducción de las actividades correspondientes (por ejemplo, en tecnología nuclear tras la decisión tomada en Alemania de eliminar

gradualmente la energía atómica). Esta primacía de la práctica incluso deja espacio para la innovación que es impulsada por la investigación, y de ninguna manera implica que sea "demanda-halar" por sí sola lo que dicta la dirección de las ciencias de la ingeniería. Las nuevas ideas para productos, procesos y sistemas a menudo derivan de la práctica de ingeniería, lo que constituye un impulso tecnológico. Sin embargo, tales ideas también se basan en suposiciones sobre la necesidad social de ellas o de algún otro tipo de "utilidad". En tales casos, la primacía de la práctica implica que una demanda o necesidad de nuevas soluciones técnicas se acepta o se supone que es válida por razones que pueden o no ser buenas. Esto ocasionalmente conduce a un callejón sin salida si los requisitos sociales se malinterpretan (como en el caso del monorraíl Transrápido en la red de transporte alemana), pero a veces también resulta en líneas técnicas de éxito social y económico desarrollo, como en el caso de los reproductores de MP3. La primacía de la práctica tiene ciertas implicaciones. En cuanto a la práctica social, la faceta concreta es esencial para las ciencias de la ingeniería, ya que las aplicaciones técnicas siempre tienen lugar en contextos muy concretos: espacialmente, temporalmente y con respecto a grupos de personas. Por supuesto, los conocimientos técnicos deben cumplir los criterios de universalización y abstracción y ser transferibles a nuevos contextos, pero por regla general dicha transferibilidad encuentra límites prácticos y concretos. Un aspecto general de las ciencias de la ingeniería es, por lo tanto, reflexionar sobre los límites de la transferibilidad de los conocimientos técnicos en lo que respecta a soluciones concretas. En las ciencias de la ingeniería, incluso el trabajo teórico de este tipo debe asegurarse de que siempre hay un camino desde el conocimiento teórico, es decir abstracto, de la práctica. Por lo tanto, la coherencia de las ciencias de la ingeniería radica en la relación específica entre la teoría y la práctica. El objetivo de las ciencias de la ingeniería es, en última instancia, práctico, la utilización social de la tecnología y, por lo tanto, realizaciones concretas. La abstracción y la teoría no son fines en sí mismos, sino que funcionan más bien como medios, por ejemplo, para sistematizar el conocimiento y facilitar la transferibilidad del conocimiento a otros contextos. Las ciencias naturales, por el contrario, abstraen sus conocimientos en forma de predicados que se mantienen lo más generales posible y hacen uso de concreciones (es decir, experimentos) sólo en una capacidad instrumental, para probar hipótesis, por ejemplo. Mientras que el conocimiento de la concreciones (es decir, experimentos) sólo en una capacidad instrumental, para probar las ciencias naturales se mueven así fuera del "mundo real" y en mundos modelo más o menos abstractos, las ciencias de la ingeniería apuntan directamente a

objetivos prácticos en el mundo real. Esta coherencia estructural dentro de las ciencias de la ingeniería acomoda dos fenómenos. Uno se refiere a la diversidad de las propias ciencias de la ingeniería, que van desde la mecánica técnica y las ciencias de los materiales hasta la ingeniería civil, la ingeniería mecánica y la ingeniería de procesos químicos, y desde la microelectrónica y la nanotecnología hasta la informática técnica y todas las diversas biotecnologías. El otro fenómeno reside en la gran diversidad de los objetos de las ciencias de la ingeniería. Incluyen objetos micro-mecánicos y componentes simples de la máquina, así como síntesis químicas complejas e incluso redes de información y comunicación en todo el mundo, todas las cuales tienen que cubrir una enorme gama de condiciones de aplicación (por ejemplo, con respecto a temperatura, presión, velocidad o radiación). La naturaleza específica de las ciencias de la ingeniería se puede resumir de acuerdo con las tres características siguientes:

1. Las ciencias de la ingeniería son ciencias orientadas a objetivos. Un concepto central es la aplicación de conocimientos científicos y experiencia práctica para satisfacer las "necesidades técnicas" de la sociedad.

2. Las ciencias de la ingeniería tienen un carácter constructivo. A la vanguardia están la anticipación intelectual y la evaluación de la estructura, función y realización de nuevos sistemas técnicos.

3. Las ciencias de la ingeniería están integrando las ciencias. Dado que los sistemas técnicos representan una coherencia específica de los componentes naturales y sociales, el conocimiento se incorpora a partir de las ciencias naturales, de otras ciencias técnicas y de las ciencias sociales.

2.2 El desarrollo de las ciencias de la ingeniería

La acción técnica (en términos de producción y/o uso de sistemas técnicos) es tan antigua como la humanidad misma. Las ciencias de la ingeniería, en cambio, surgieron —a través de varias formas tempranas— mucho más tarde. En los siglos XVIII y XIX, muchos matemáticos y científicos naturales se esforzaron por aplicar principios mecánicos a los problemas técnicos. Esto tuvo diferentes grados de éxito, lo que llevó a resultados positivos en casos técnicos simples y fallando predominantemente en el caso de problemas técnicos más complejos que gravaban los recursos de la época en que se trataba de encontrar soluciones sobre la base de la teoría y el cálculo. Sin embargo, esto fue sólo el comienzo de una fertilización cruzada entre los conocimientos científicos naturales y técnicos. Gracias menos a cuestiones técnicas que a cuestiones

administrativas organizativas y prácticas en forma de orientación, gestión y "supervisión" estatal de fabricación y comercio, la Alemania del siglo XVIII vio la tecnología desarrollarse como una ciencia. Fue particularmente Johann Beckmann (1739-1811), de la Universidad de Gotinga, quien sistematizó los conocimientos técnicos subyacentes a los diversos trabajos que se estaban realizando en áreas artesanales y fábricas, para hacerlo todo más enseñable. Lo hizo especialmente en su libro "Anleitung zur Technologie . . ." ("Instrucciones sobre tecnología . . ."), escrito en 1777, en el que la igualdad o similitud de los procedimientos técnicos se percibía como la base de la organización [Beckmann, 1780]. Le preocupaba la conexión entre los "principios básicos verdaderos" y la "experiencia fiable". Por "principios básicos verdaderos" se refería a los principios científicos básicos para el esclarecimiento teórico de los procesos tecnológicos, mientras que la "experiencia confiable" era lo que él veía como el elemento estable, como lo que se gana de vivir en el mundo, a partir de conocimientos técnicos y formales basados en la experiencia transmitida. De esa manera, Beckmann se esforzó por explicar racionalmente los procedimientos de trabajo. El enfoque de Beckmann recibió mucha aclamación, pero pronto quedó claro que no era posible desarrollar una ciencia tecnológica en ese momento. Sin embargo, se hicieron muchos intentos para aplicar este concepto. Por nombrar sólo dos de estos intentos hubo primero el de Karl Karmarsch (1803-1879) "Grundris der mechanischen Technologie" ("Esquema de la tecnología mecánica", 1837/41; ediciones posteriores se titularon "Handbuch der mechanischen Technologie" ("Libro de texto de tecnología mecánica") y luego estaba Friedrich L. Knapp (1814-1904) y su "Lehrbuch der chemischen Technologie" ("Libro de texto de tecnología química", 1847). Se puede encontrar una descripción detallada de los nuevos enfoques e instituciones de tecnología en otros lugares, por ejemplo en Spur [Spur, 1998a]. El enfoque de Beckmann no se retomó hasta mediados del siglo XX (para más detalles, véase la Sección 5). Las ciencias de la ingeniería, como ciencias institucionalizadas, evolucionaron entonces en el siglo XVIII, pero fue particularmente en el siglo XIX, que vio el aumento de la producción industrial, el paso de la mano a la operación de la máquina y el paso de la fabricación a la "gran industria" (Marx), que acompañó la invención y la difusión de las máquinas de trabajo ("Arbeitsmaschinen"), el uso de la energía de vapor y el desarrollo tempestuoso de las ciencias naturales. Este proceso sigue en curso hoy en día: todavía están surgiendo nuevas disciplinas en las ciencias de la ingeniería (como, por ejemplo, la nanotecnología). La acumulación de la experiencia técnica de muchas generaciones hizo posible sistematizar y generalizar por primera vez nuestro

conocimiento empírico de sistemas técnicos, procesos y métodos. El conocimiento se basaba en cómo organizar y gestionar la producción industrial a gran escala y en cómo explotar las fuerzas naturales y emplear sistemas técnicos de manera eficaz.

Inevitablemente, la base técnica en desarrollo en los países avanzados (Gran Bretaña, Francia, EE.UU., Alemania) requería el uso consciente de la ciencia. En aquellos días, las leyes de la mecánica y la termodinámica se aplicaban a las máquinas, y los teoremas matemáticos se utilizaban para resolver con éxito problemas de construcción estática y para controlar los procesos. De este modo se crearon conocimientos constructivos y técnicos. En particular, el desarrollo de máquinas ampliamente aplicables (inicialmente la máquina de vapor, más tarde el electromotor), un sistema de ramificación de mecanismos de transferencia y la máquina herramienta fueron acompañados por el uso cada vez mayor de conocimientos y métodos científicos. Cambios en los medios de trabajo (dirigidos, por ejemplo, por las diversas formas energéticas disponibles), en los materiales básicos utilizados (metales, no metálicos, productos naturales, "sintéticos", materiales compuestos) y en las condiciones de procesamiento que deben controlarse técnicamente (como en las áreas micro y macro, las temperaturas, las presiones, la precisión, los tiempos de manipulación y procesamiento) han llevado y siguen llevando a continuos desarrollos en las ciencias de la ingeniería. Con la emancipación y consolidación de las ciencias de la ingeniería llegó la institucionalización en forma de politécnicos y colegios técnicos (incluyendo el derecho a obtener un doctorado). En la misma época, los ingenieros se formaron como un grupo profesional con sus propias formas y sociedades organizativas, incluidas las revistas técnicas y "politécnicas". Esta "cientificación de la tecnología" se desarrolló de manera muy diferente en cada país (comparar, por ejemplo, Francia, Alemania, Gran Bretaña y los EE.UU.) en las áreas de organización y práctica científica (por ejemplo, con respecto a los vínculos entre la teoría y la práctica, la importancia de las ciencias naturales y las matemáticas como base conceptual y la integración en las universidades o colegios existentes), todo lo cual es demasiado para ser presentado en cualquier detalle aquí (véase, por ejemplo, [Buchheim y Sonnemann, 1990]).

2.3 Debates sobre la naturaleza específica de las ciencias de la ingeniería

Desde muy temprano, la naturaleza específica de las ciencias de la ingeniería y su estatus dentro del sistema de ciencias ha seguido siendo un tema

de discusión, sobre todo con respecto a su relación con las ciencias naturales. Desde el punto de vista de su naturaleza sustantiva, intensidad y consecuencias, estas reflexiones teóricas han seguido caminos muy diferentes. Uno podría, por ejemplo, citar las controversias metodológicas de la segunda mitad del siglo XIX y el debate sobre la tecnología como una ciencia aplicada emitida en *Tecnología y Cultura* en la década de 1960. De una forma u otra, el tema siempre giraba en torno a la imagen de las personas de las ciencias de la ingeniería, los actores involucrados (ingenieros, científicos técnicos) y las instituciones de enseñanza e investigación pertinentes (politécnicas, colegios técnicos y universidades técnicas). En la primera mitad del siglo XIX, Ferdinand Jakob Redtenbacher (1809-1863) intentó proporcionar a los estudiantes de ingeniería mecánica las herramientas prácticas que necesitaban para aprender sobre la construcción. Su objetivo era crear su propio enfoque con el fin de trascender tanto la orientación empírica inglesa como la escuela francesa de formación en ingeniería con su método que estaba fuertemente arraigado en la teoría matemática. Su objetivo era unir el conocimiento de las personas de la naturaleza mecánica física con su experiencia, capacidades y habilidades, ninguna de las cuales podía obtenerse por completo a través de la educación teórica. Hizo un llamamiento a los ingenieros para que vincularan el conocimiento científico con la capacidad técnica, el "cálculo" y el "sentimiento" [Schneider, 1987, p. 174] y la cognición (conocimiento) con la creación (fabricación). Sin embargo, no tuvo en cuenta sus relaciones (cognitivas, metodológicas, etc.) entre sí, o su importancia relativa, indiscutiblemente variable históricamente, para, por ejemplo, los cursos de formación en ingeniería de la época. Por lo tanto, fue un punto de partida para las líneas de debate opuestas sobre formas sistemáticas de encontrar soluciones a los problemas técnicos. Una línea de pensamiento enfatizaba la dirección orientada teóricamente a la máquina, mientras que la otra moraba en el carácter creativo de la ingeniería de la construcción. En última instancia, fue el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la industria lo que debía proporcionar la solución a esta controversia metodológica que había sido tan vehemente. Ambos enfoques resultaron ser incondicionalmente necesarios, complementarios y elucidados. Esto condujo a una síntesis dentro de la formación en ingeniería; a la combinación de conferencias teóricas, dibujo de tablero de la nave, experimentos de laboratorio y experimentación con máquinas de tamaño natural en condiciones reales. En la década de 1960 se inició una discusión en *Tecnología y Cultura* que fue iniciada por el artículo "Hacia una filosofía de la tecnología" [Tecnología, 1966] el énfasis fue algo diferente. Allí el enfoque principal se centró en una filosofía de la tecnología o la discusión en términos de

teoría científica y fue dirigido particularmente por no expertos en las ciencias de la ingeniería. Partiendo de las contribuciones hechas a un simposio, también se refería a la naturaleza específica de las ciencias de la ingeniería en términos de cognición y método, las relaciones con las ciencias (naturales) (como ciencias independientes o como "ciencias naturales aplicadas") y el concepto de "tecnología" (por ejemplo, como conocimiento saber-como). Las opiniones hacen hincapié en la "tecnología como conocimiento" por un lado y "la tecnología como actividad", por otro (para más detalles, véase [Mitcham, 1994, págs. 192s]). Las consideraciones posteriores relativas a la filosofía de la teoría científica y técnica ilustraban el hecho de que estas dos partes están relacionadas entre sí y son inseparables (por ejemplo, como unidades de conocimiento y como diseño — véase [Banse et al., 2006]). Desde finales de la década de 1960, las ciencias de la ingeniería y su naturaleza específica han vuelto a estar en el centro del debate intelectual, en particular en lo que respecta a la filosofía de la tecnología y la teoría científica, pero también surgieron nuevos intereses en la sociología, en economía y en la historia de la tecnología. Por el momento, desde la perspectiva de una filosofía de la tecnología por sí sola —y ese es el enfoque aquí— los temas actuales abarcan las relaciones entre las ciencias naturales y las ciencias de la ingeniería, las formas de conocimiento en las ciencias de la ingeniería y el establecimiento de una tecnología general (véase, por ejemplo, [Lenk y Maring, 2001]).

2.4 Perspectivas sobre coherencia y diversidad

La relación entre las ciencias de la ingeniería y la práctica es el punto de partida al considerar la coherencia antes mencionada de las ciencias de la ingeniería (véase la Sección 2.1). En este nivel, la ingeniería mecánica, la ingeniería de procesos, la ingeniería civil y la ingeniería de producción, para dar sólo algunos ejemplos, de hecho muestran una estructura común. Sin embargo, incluso a primera vista, se pueden reconocer diferencias claras entre las disciplinas de las ciencias de la ingeniería con respecto a las áreas temáticas, materiales y tareas pertinentes. Cuando se trata de la coherencia y diversidad de las ciencias de la ingeniería, uno debe buscar nuevos niveles de diferenciación para perseguir suposiciones sobre la coherencia y, en un sentido más concreto, detectar las facetas de la diversidad en las ciencias de la ingeniería. Esto se puede hacer de varias maneras:

- Métodos en las ciencias de la ingeniería presentados como enfoques y procedimientos con el fin de obtener un conocimiento de las áreas temáticas y

los métodos técnicos de resolución de problemas (práctica y diseño, cf. Sección 3): los ejemplos que pueden estar, aquí se citan los métodos de análisis, diseño y construcción, modelos heurísticos, métodos experimentales y modelado y simulación. También se tienen en cuenta las actividades de los ingenieros en los diversos campos, como la investigación, el desarrollo, la producción, la distribución, la comercialización, el mantenimiento y el control de calidad.

- Sustancia en las ciencias de la ingeniería: esto se puede llevar a cabo de acuerdo con la división tripartita clásica en la materia, energía e información. La diferenciación puede hacerse de acuerdo con áreas de aplicación (por ejemplo, suministro de energía, investigación de materiales, tecnología espacial o robótica), en las que en cada caso se tienen en cuenta las condiciones válidas para diferentes contextos. Alternativamente, podría ser adoptar enfoques para sistematizar o abstraer conocimientos técnicos (cf. Sección 4 para dichas divisiones según el contenido). La cuestión de la sustancia también comprende un vistazo a los productos de las ciencias de la ingeniería en forma de los conocimientos técnicos disponibles y los conocimientos técnicos, así como su materialización en productos, procesos y sistemas.

- Generalidades en las diferentes orientaciones metódicas o sustanciales que pueden interpretarse en el marco de una tecnología general (cf. Sección 5). La identificación de aspectos de coherencia o diversidad entre las sub-disciplinas de las ciencias de la ingeniería tiene sus implicaciones. Los temas y preguntas que generalmente se pueden atribuir a las ciencias de la ingeniería se pueden abordar tanto a nivel de investigación como de nivel teórico y de manera interdisciplinaria. Los cursos ofrecidos en las universidades, por ejemplo, para los ingenieros en formación pueden concebirse de tal manera que crucen las fronteras docentes y disciplinarias. Sin embargo, cuando la diversidad es dominante, estas actividades siempre serán responsabilidad de sub-disciplinas como la ingeniería de procesos, la ingeniería de la construcción o la ciencia de los materiales.

3.- COHERENCIA Y DIVERSIDAD EN TÉRMINOS DE MÉTODO

El tema central de esta sección es el hecho de que las ciencias de la ingeniería muestran fuertes características comunes en términos de método y estas características comunes se correlacionan con la relación teoría-práctica específica mencionada anteriormente. La diversidad que está efectivamente presente en términos de método se subordina estructuralmente a la coherencia en la caracterización del diseño técnico como estrategia de resolución de

problemas, con el uso de conocimientos técnicos (véase, por ejemplo, [Hubka y Eder, 1996]).

3.1 La metodología de las ciencias de la ingeniería

Los métodos son procedimientos orientados a objetivos destinados a la inter subjetivización (objetivización) de la información y el conocimiento. Utilizando métodos, la producción y el examen del conocimiento se pueden llevar a cabo sistemáticamente y de tal manera que se vuelva aprendible y enseñable. Los métodos son también el elemento central de la garantía de la calidad científica, de la educación y del progreso científico. Las ciencias de la ingeniería han desarrollado una plétora de métodos que son en parte intrínsecos y, en parte, han sido tomados o adaptados de otras disciplinas. Estos pueden clasificarse de la siguiente manera — aunque con mucha superposición — (véase [Banse et al., 2006]):

- **Métodos de diseño:** Si se piensa que el diseño tecnológico resuelve los problemas mediante conocimientos técnicos y conocimientos tecnológicos es posible, dependiendo de la división de fase de los procesos de diseño tecnológico elegidos en cada caso, para distinguir entre varias clases de métodos. Los métodos heurísticos intuitivos proceden de la pluralidad de formularios de conocimiento disponibles e intentan implementar técnicas de creatividad para encontrar nuevas soluciones. Por el contrario, los métodos sistemáticos racionales parten de un análisis del sistema considerado en términos de resolución de problemas e inferir soluciones apropiadas de arriba hacia abajo. En ambas direcciones, en última instancia deben realizarse evaluaciones y selecciones de las posibles opciones (tanto de acuerdo con los criterios de funcionalidad técnica como de criterios externos a la tecnología, como la viabilidad económica, la aceptación del cliente o compatibilidad). Por esta razón, los métodos de evaluación y selección también se incluyen en el espectro de métodos orientados al diseño incluidos en las ciencias de la ingeniería (para más detalles, véase la Sección 4).

- **Métodos de investigación:** La provisión y el examen de los conocimientos técnicos necesarios para los objetivos de diseño técnico destinados a la práctica social (véase la Sección 3.2) requieren sus propios métodos. También aquí, los modelos heurísticos juegan un papel y sirven sobre todo para estructurar la búsqueda de conocimiento. De especial importancia es la distinción —familiar de las ciencias naturales clásicas— entre los procedimientos teórico-deductivos y empíricos-inductivos. Los procedimientos

teórico-deductivos enfatizan principalmente la matematización de las conexiones funcionales y el uso de procesos matemáticos. Los procedimientos inductivos empíricos, por el contrario, están orientados al laboratorio. Giran en torno a técnicas de medición adecuadas y procedimientos experimentales como el procesamiento de materiales o la regulación de procesos.

- **Métodos de implementación:** El diseño tecnológico de productos, procesos o sistemas es algo que debe ser implementado por la ingeniería también. Los métodos de implementación comprenden varios enfoques para crear prototipos, para demostrar la viabilidad técnica y, finalmente, para crear el hardware físico que puede proporcionar las capacidades necesarias. En todos los ámbitos, la introducción de métodos asistidos por ordenador ha dado lugar a muchos cambios. En cierta medida, el modelado matemático y la simulación han sustituido ahora a la experimentación de laboratorio que, a su vez, a menudo permite un considerable ahorro de costos. Sin embargo, al mismo tiempo, surgen nuevos desafíos cuando se trata de validar el conocimiento simulado por modelos en el mundo real.

3.2 La caracterización metodológica de los conocimientos técnicos

Los productos de las ciencias de la ingeniería son inherentes al conocimiento sistematizado y de calidad garantizada de los procesos y sistemas técnicos y, en cierta medida, están anclados en artefactos técnicos. Este conocimiento, que se ha reunido, ampliado y perfeccionado a lo largo de décadas y siglos —y que en cada caso incluye el conocimiento de los conocimientos técnicos necesarios— constituye el punto de partida para los planes de diseño técnico. El conocimiento técnico es conocimiento para la acción. Para que tales conocimientos sean enseñables y aprendibles, deben ser o venir explícitos. Sin embargo, en la práctica técnica, el conocimiento implícito (conocimiento espontáneo) desempeña un papel importante.

3.2.1 Normas técnicas como forma de conocimientos técnicos

El origen de las ciencias de la ingeniería en el siglo XIX se remonta a una creciente demanda de conocimientos técnicos explícitos y sistemáticos, para la producción sistemática de nuevos conocimientos técnicos y para ingenieros bien educados. Para que los conocimientos técnicos se reconozcan como verdaderos conocimientos, tiene que satisfacer ciertas demandas de invariancia en diferentes situaciones y trascender lo subjetivo. Esto implica que este tipo de conocimiento se puede enseñar y aprender o, en otras palabras, transmitir

sistemáticamente en la educación. Por lo tanto, junto con otras sistematizaciones que son posibles, por ejemplo en forma de libros de texto para sub disciplinas dentro de las ciencias de la ingeniería, se inicia un proceso de acumulación sistemática de conocimientos técnicos. La base de este proceso, que ha demostrado un éxito excepcional en los últimos 200 años, es la validez de los conocimientos técnicos. Esta validez va más allá de las personas individuales y las constelaciones históricamente coincidentes y puede entenderse metodológicamente ya que el conocimiento técnico se caracteriza como un conjunto de reglas técnicas. Estas reglas técnicas proporcionan declaraciones sobre las relaciones entre medios y fines. Una regla técnica describe el conocimiento sobre cómo se puede causar algo. Describe la relación entre algo que debe lograrse y los medios necesarios para lograrlo (véanse [Bunge, 1974; 1983; Kornwachs, 2001]). Esto representa obviamente una relación causa-efecto que es de naturaleza constructiva, en contraste con las ciencias naturales donde la naturaleza de las cosas tiende a ser explicativa. En otras palabras, tiene como objetivo lograr algo, y se utiliza en un contexto práctico. Las normas técnicas son válidas en lo que respecta al cumplimiento de determinadas condiciones de aplicabilidad, como las realizadas por los requisitos de un proceso técnico sobre temperatura, presión o humedad. Por lo tanto, la justificación de las normas técnicas exige la designación del atributo correspondiente del ámbito de aplicación. El carácter de las normas técnicas consiste precisamente en el hecho de que se puede dar un área de aplicabilidad, dentro de la cual la norma técnica es válida, independiente de las personas y las situaciones (como se describe con mayor detalle en [Grunwald, 2002a]). Es precisamente este hecho lo que satisface los requisitos de ser enseñable y aprendible: primero, la regla en sí misma se enseña como una relación de medio-fin y luego se enseña su área de aplicabilidad. La totalidad de esos conocimientos técnicos explícitos puede entenderse a este respecto como un conjunto de normas técnicas. La reproducibilidad de las reglas técnicas, independientemente de la situación, es la condición previa para poder enseñarlas y aprenderlas en la práctica. Debe ser posible probar y validar las normas técnicas una y otra vez, y así recrear la situación inicial, al menos en lo que respecta a las cuestiones pertinentes establecidas por el ámbito de aplicación de las normas. Esto permite confirmar cualquier regla experimentalmente repitiendo pruebas, como en un laboratorio. En gran medida, la fiabilidad de la tecnología se basa en la reproducibilidad de las normas técnicas que emanan de la regularidad de los procesos técnicos, como en el motor de un coche. La tecnología ya no funciona si ya no se cumplen las condiciones de validez, como si se coloca diésel en un motor de gasolina o

un reloj no impermeable se sumerge en agua. Los conocimientos técnicos no consisten únicamente en normas técnicas que puedan describirse explícitamente. Un capataz sabe cómo manejar "su" máquina para que funcione correctamente, aunque este conocimiento puede no satisfacer los criterios claros y lógicos para las reglas técnicas (véase [Vincenti, 1990]). El conocimiento implícito es parte de la técnica y también desempeña un papel en las ciencias de la ingeniería (véase [Baumard, 1999; Collins, 1974; Polanyi, 1966]). Sin embargo, el conocimiento implícito es conocimiento personal [Polanyi, 1962] y, como tal, sólo se puede enseñar o aprender en una medida muy limitada. Por lo tanto, la tarea de todas las ciencias de la ingeniería incluye hacer explícita la implícita, porque sólo entonces los conocimientos técnicos se vuelven enseñables, sistemáticos y abiertos a la mejora directa. De esa manera, también se puede decir que las ciencias de la ingeniería están involucradas en la desmitificación del conocimiento implícito y personal y en la transformación del conocimiento tácito en la medida de lo posible, en conocimientos enseñables sobre acciones técnicas. La forma en que este conocimiento es enseñable se convierte en la formulación de este conocimiento como un conjunto de reglas técnicas. Esta característica es común a todas las disciplinas en las ciencias de la ingeniería.

3.2.2 Las propiedades de las normas técnicas.

Aunque las normas técnicas no representan leyes universales de la naturaleza, en lo que respecta a la generalización, abarcan un amplio espectro que incluyen desde un alto grado de precisión hasta normas de experiencia bastante heurísticas. El factor crucial para evaluar el grado de generalización es el conocimiento del área de validez de una norma, tanto en lo que respecta al área directa de validez como a la calidad y fiabilidad de dichos conocimientos. La generalización de las normas técnicas es a menudo objeto de investigación en sí misma en el que las áreas de validez se prueban sistemáticamente, por ejemplo, en experimentos de laboratorio. La caracterización del conocimiento en las ciencias de la ingeniería dada aquí es abstracta. En este nivel de abstracción, las reglas técnicas son características de la coherencia de las ciencias de la ingeniería. La diversidad de las diferentes ciencias tecnológicas, se puede ver cuando sus formas concretas de conocimiento se consideran más detenidas, dependiendo de la naturaleza de las tareas, el tipo de objetos, los materiales utilizados, etc. Más allá del nivel en el que pueden formularse como normas técnicas, se pueden introducir clasificaciones motivadas por el contenido y fuertemente empíricas (para más detalles, véase la Sección 4). Se puede

describir una relación entre las normas técnicas y los fundamentos del progreso técnico, ya que esas normas muestran una ambivalencia específica. Por un lado, expresan el conocimiento de lo que es técnicamente factible. Para situaciones dentro del área de aplicabilidad de la regla, proporcionan conocimientos que pueden ser utilizados por una buena razón en aplicaciones técnicas, o transmitidos en la enseñanza. Sin embargo, por otra parte, también contienen conocimiento de lo que aún no es factible: la suposición de que una regla no funcionará fuera del área de la aplicabilidad de la misma, está bien fundada. Así, las normas técnicas muestran una faceta que apunta a ciertos conocimientos y otra faceta en la que los conocimientos técnicos son obviamente insuficientes. Este último también funciona como un impulso para transformar los límites del conocimiento y el saber-como, a través de la investigación que extiende las áreas de la aplicabilidad de una regla. Por lo general, las normas técnicas no permiten que se identifiquen medidas específicas como esenciales para la consecución de los efectos deseados, ya que con frecuencia existen normas técnicas diferentes que conducirán al mismo efecto (por ejemplo, a menudo hay una elección entre diversos materiales cuando los componentes se conciben por primera vez). Por lo tanto, el diseño técnico precede a la necesidad de elegir entre varias opciones. Esto abre el mercado a la optimización de acuerdo con criterios específicos (minimización del tiempo de desarrollo, optimización del balance coste-beneficio, etc.). Las normas técnicas son opciones para lograr un cierto efecto, pero por lo general no hay ningún requisito de que una regla técnica determinada deba cumplirse para lograr un fin determinado.

3.2.3 Origen y validación de las normas técnicas.

La producción de nuevos conocimientos técnicos o conocimientos tecnológicos es en parte deliberada. Se podría pensar, por ejemplo, en variar parámetros sistemáticamente o propiedades de los materiales en un laboratorio, para que se pueda determinar experimentalmente el alcance de la aplicabilidad de una regla determinada. Estos procedimientos de buenas prácticas experimentales, forman parte del inventario metodológico de las ciencias de la ingeniería (véase [Banse et al., 2006]). Las fuentes de nuevas ideas para soluciones técnicas (normalmente en relación con las invenciones), incluyen probar algo de una manera tentativa y creativa. Se podría denominar esto un procedimiento heurístico impulsado intuitivamente basado en muchos años de experiencia e incluso impulsos aleatorios y espontáneos (véanse [Banse y Müller, 2001; Ferguson, 1992]). El conocimiento "tácito" y la intuición de ingenieros experimentados que refleja una rica experiencia pero es difícil de

explicar, juega un papel importante en el progreso práctico de las ciencias de la ingeniería, véase [Vincenti, 1990], a saber, en lo que respecta al proceso según el cual se crean normas técnicas. Dichos conocimientos que sean intuitivos o adquiridos por medios no convencionales deben validarse, de acuerdo con los procedimientos establecidos y los criterios de prueba científica. Sólo entonces los conocimientos tácitos y conocimientos adquiridos pueden ser considerados intuitivamente como certificados y confiables de acuerdo con los estándares de las ciencias de la ingeniería (y, por ejemplo, utilizados o enseñados para fines de aplicación técnica). Una tarea de las ciencias de la ingeniería es, por lo tanto, hacer que el conocimiento tácito y el conocimiento adquiridos intuitivamente sean sistemáticos para formularlo en última instancia como reglas técnicas, véase [Grunwald, 2002a]. Las normas técnicas surgen durante el proceso sistemático de hacer repetible una acción que ha tenido éxito una vez, pero que tal vez se llevó a cabo intuitivamente (por ejemplo, la realización de un proceso técnico en un laboratorio) y luego pasa a examinar las condiciones en las que se lleva a cabo y que seguirá siendo exitoso. A diferencia de la práctica de los artesanos, el carácter científico de las ciencias de la ingeniería se basa en las normas características de la actividad técnica probadas sistemáticamente. La coherencia metodológica de las ciencias de la ingeniería incluye el papel del conocimiento tácito y se extiende a los esfuerzos para lograr la sistematización y la explicación en términos de reglas técnicas "objetivas".

3.2.4 Problemas metodológicos

La coherencia metodológica de las ciencias de la ingeniería también se pone de manifiesto en el hecho de que comparten ciertos problemas fundamentales relacionados con la producción, validación y limitaciones de las normas técnicas. Esto incluye particularmente lo siguiente: a) Inversión temporal de la dirección de la inferencia: Las normas técnicas formulado en retrospectiva:

- a) Describen las relaciones entre los efectos que deben realizarse y las acciones que se consideran apropiadas en la realización de tales efectos. Lo que se debe lograr está en el futuro y así es como se sienten las inferencias en cuanto a lo que se puede hacer para llegar allí, véase [Bunge, 1974]. Sin embargo, los conocimientos técnicos correspondientes, se producen y justifican en la otra dirección de tiempo. Por ejemplo, durante una configuración experimental en un

laboratorio, se realizan pruebas y las relaciones causa/efecto que deben certificarse en el transcurso del experimento relacionan las causas con los efectos posteriores. Sin embargo, las inversiones temporales de la dirección de inferencia de las relaciones causa/efecto para relaciones efecto/acción no son triviales, ya sea lógica o pragmáticamente, véase [Kornwachs, 1995]. Si la causa C causa reproduciblemente el efecto E y se recibe una solicitud para lograr el efecto E, el conocimiento de la relación causa/efecto entre C y E no implicará que C debe hacerse para lograr E por varias razones. Una razón es que C puede ser una causa que no es el resultado de la acción humana. Otra razón es que incluso si C fuera una acción humana, podría haber otras acciones que serían más apropiadas para lograr E en el contexto específico, véase [Grunwald, 2002b].

- b) La diferencia entre el área de aplicación probada y el ámbito de aplicación práctica: Las áreas de aplicabilidad de las normas técnicas se determinan generalmente inductivamente, mediante ensayo y error. Ciertos parámetros (por ejemplo, temperatura, presión) se cambian repetidamente hasta que la regla ya no funciona. Sin embargo, en la práctica técnica, las normas técnicas se aplican a menudo en contextos que difieren de aquellos en los que la regla se probó originalmente para la corrección. Facilitado especialmente por las posibilidades que ofrece la simulación por ordenador, se ha convertido así en una práctica común en muchas áreas de planificación técnica, utilizar una simulación con el fin de probar una norma técnica y su área de aplicabilidad. Una norma de este tipo que ha sido corroborada en condiciones artificiales se realiza en la práctica, pero en condiciones reales de fabricación o implementación. Los experimentos de laboratorio y las simulaciones reducen las condiciones reales a la forma modelada. La eliminación de estas reducciones al transferir la regla técnica del laboratorio o simulador a la práctica representa, por lo tanto, una operación no trivial. En realidad, la situación del "caso real" suele ser también la situación de las pruebas. Esto lleva a preguntas sobre el alcance de los modelos (ordenador), su

adecuación en la práctica con respecto a sus fines y la transferibilidad y validez de los resultados de la simulación.

- c) La necesidad de una organización pragmática: No se trata sólo de utilizar las normas técnicas adecuadas, sino también de garantizar su conjunción oportuna a un todo sensato. Las normas pragmáticas regulan la organización temporal o lógica de soluciones a problemas técnicos complejos sobre la base de normas técnicas detalladas (esto es particularmente relevante en el campo de la ingeniería civil; basta con pensar en cuestiones de logística en una importante obra de construcción). Como regla general, el hecho de no tener en cuenta la organización pragmática suele llevar a la falta de lograr la solución deseada.
- d) Lidar con la falta de conocimiento: Dado que muchos, si no todos los problemas en el "mundo real" pueden considerarse "problemas perversos" [Simon, 1973], el intento de resolverlos por medios técnicos está intrínsecamente plagado de incertidumbre (véanse [Banse, 2003; Rittel y Webber, 1973]). Las estrategias para hacer frente a estas incertidumbres y para desarrollar soluciones técnicas "sólidas" forman parte del espectro de actividades de todas las ciencias de la ingeniería.

3.3 Coherencia metodológica en el diseño técnico.

En las ciencias de la ingeniería, el diseño tiene que ver con la resolución de problemas con la ayuda de productos técnicos, sistemas o procedimientos. Esto sólo se puede lograr con la implementación dedicada del conocimiento y el saber-como extraídos de las ciencias de la ingeniería. La construcción técnica y la redacción forman el procedimiento en el que se unen el conocimiento y el diseño. La redacción es, por tanto, la ubicación metodológica en la que la relación específica de la teoría y la práctica en las ciencias de la ingeniería es más claramente evidente (véase, por ejemplo, [Cross, 1989; Gregorio, 1966; Hubka et al., 1988; Hubka y Eder, 1996]). La mayoría de las descripciones generales de cómo se traducen las soluciones técnicas, distinguen entre el proceso de diseño, lo que da como resultado un borrador ejecutable de la solución y la propia ejecución, véase [Hubka y Eder, 1996]. A este respecto, el concepto "proceso de diseño" designa la puesta en práctica —en términos de las ciencias de la ingeniería— de la redacción o planificación de soluciones técnicas. En la

siguiente sección describimos las características procedimentales del proceso de diseño y las exigencias impuestas a los resultados. La coherencia metodológica de la planificación técnica se pone de manifiesto en estos pasos. Una forma de hacerlo es estableciendo la relación entre los requisitos para resolver problemas específicos y los conocimientos técnicos disponibles. Se podría llamar a esto: seleccionar una combinación adecuada de la serie de reglas técnicas disponibles y presentar eso como solución (en el proceso, es posible que también deba desarrollarse nuevos conocimientos técnicos). Se han desarrollado varias formas de estructurar el proceso de diseño. Aunque su terminología puede diferir, en términos de contenido tienen mucho en común. Hacen hincapié en diferentes respuestas a la pregunta de si el proceso de diseño se puede caracterizar como un proceso lineal o si consiste principalmente en bucles de retroalimentación. La tendencia actual favorece los bucles de retroalimentación y las iteraciones debido a las oportunidades que proporcionan para las fases secuenciales de aprendizaje. Esto es incluso cierto para las representaciones gráficas (véase la Fig. 1), en las que con frecuencia se prefiere una presentación lineal por razones didácticas (véase [Banse y Friedrich, 2000; Hubka y Eder, 1996]). En consecuencia, el proceso de diseño consiste en una serie de pasos que se repiten con un grado cada vez mayor de detalle y una mayor aproximación a la acción técnica (véanse, por ejemplo, [Eder, 2000, p. 217; Ropohl, 1999, págs. 258 ss.]). El análisis y la planificación de problemas implican la formulación de los requisitos impuestos a la tarea técnica de tal manera que su cumplimiento conduce a una solución. Esto conduce a la formulación de una especificación coherente. Una vez que el sistema objetivo ha sido suficientemente aclarado, a menudo se encuentra una falta de conocimiento en la fase de concepción con respecto a la viabilidad, ya sea intrínsecamente o en relación con los límites dados (por ejemplo, el marco de costos). En la práctica de planificación es la viabilidad o estudios piloto que se utilizan a menudo para aclarar este problema; una evaluación preliminar aproximada del riesgo de un proyecto o la estructura de un posible concepto de solución se hace cuando no hay información suficiente para hacer una evaluación precisa. La tarea principal durante la fase de concepción es desglosar, en términos analíticos del sistema, la función general deseada de la solución técnica en sub-funciones; entonces es posible determinar los principios de la solución y las estructuras básicas pertinentes. Si es posible, esto debe basarse en los conocimientos y conocimientos técnicos científicos y técnicos disponibles; de lo contrario, la concepción conduce a la identificación de lagunas en el conocimiento y el saber-como y, por lo tanto, a su vez, a la necesidad de investigación técnica. Las opciones para resolver las sub-funciones

se integran en un concepto general o en variantes adecuadas para resolver la función general (véase [Ropohl, 1999]). En la fase de borrador (cuando se está desarrollando un sistema técnico), este concepto constituye la base para la creación de un proyecto a escala (invariablemente un modelo digital). Estos modelos se evalúan de acuerdo con diversos criterios técnicos como la viabilidad, la seguridad y el cumplimiento de funciones junto con la realización de las condiciones previas necesarias, el material y el flujo de energía y datos. En esta coyuntura, por lo general ya es posible considerar criterios desde fuera del ámbito técnico (cf. Sección 3.4). Al menos, estos criterios incluirán aspectos económicos y quizás también otros aspectos sociales, jurídicos o éticos. Sobre esta base se elabora un borrador o modelo mejorado. Para las secuencias temporales se elaboran las estructuras de tiempo y en cada caso se incluyen hitos con requisitos verificables. Estos hitos constituyen el punto de partida para las proyecciones y la gestión de proyectos. La fase de elaboración abarca más concretización y detalle, optimizando al mismo tiempo los componentes individuales del borrador y su composición. Se determinan las conexiones sistemáticas entre los recursos necesarios y, por último, se produce la documentación para llevar a cabo el trabajo (por ejemplo, instrucciones de diseño para un sistema técnico). Las estimaciones de costes aproximados se perfeccionan y se hacen lo más realistas posible. Los resultados de cualquier proceso de diseño son los borradores elaborados de una solución técnica. El grado de elaboración puede variar en función de los conocimientos disponibles y de la adecuación y profundidad de la planificación. Al redactar una solución técnica, se debe distinguir entre una parte técnica interna y una parte externa, cada una de las cuales es tratada de manera diferente en términos de método y procesada por diferentes disciplinas o grupos en la implementación posterior de la solución:

- La parte interna de los borradores técnicos sirve para garantizar la funcionalidad técnica requerida. Lo que caracteriza a esta faceta son los requisitos que imponen a los materiales consideraciones energéticas y por la orientación de los flujos de datos e información, las consideraciones de seguridad y riesgo y, posteriormente, las disposiciones para la producción, utilización y eliminación. La garantía de estos aspectos es una tarea de garantía de calidad en el sentido más estricto.

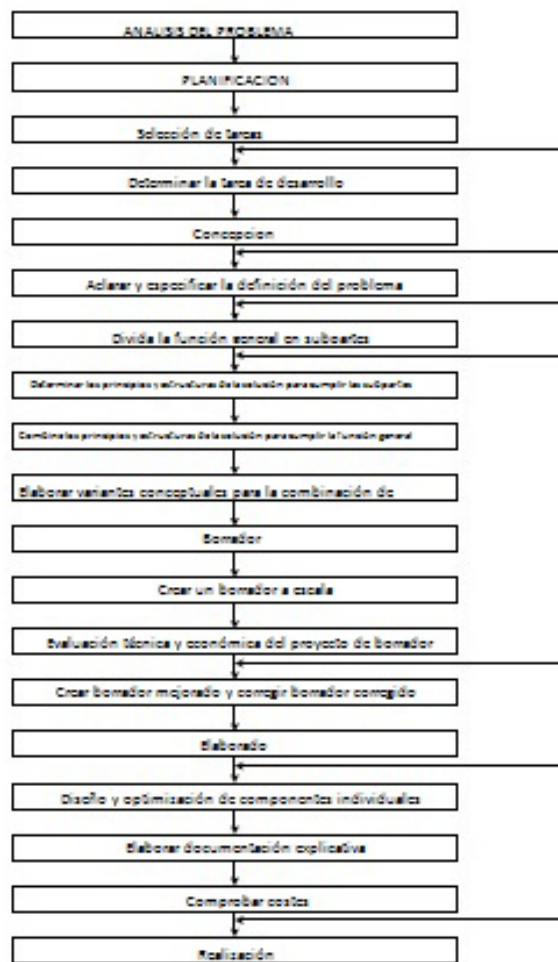


Figura 1. Procedimiento en el proceso de diseño. Fuente: modificada después de VDI, 1977

- La parte externa se refiere a aspectos de la solución técnica que influyen en el contexto social (cf. también sección 3d2.4). Estos incluyen los costos, los recursos necesarios para la investigación y el desarrollo, la duración de la realización, la posible inclusión de los usuarios, los conocimientos operativos que necesitan los futuros usuarios y la prevención de un uso indebido obvio y un abuso predecible. La tarea de garantizar la calidad en su sentido más amplio es supervisar estas interfaces externas a los modelos técnicos, ya que el éxito depende tanto de ellos como de la realización de funcionalidades internas.

La importancia de la parte externa de las propuestas de soluciones técnicas ha aumentado considerablemente en las últimas décadas. Se pueden citar ejemplos de soluciones técnicas que en última instancia, se convierten en

un fracaso social, aunque inicialmente podrían haber parecido ser extremadamente apropiadas en términos de normas de racionalidad interna (ejemplos son la tecnología de obtención rápida en el campo de la energía nuclear y el tren magnético de alta velocidad Transrapid). Una vez que el proceso de diseño ha dado lugar a resultados y se ha tomado una decisión sobre una solución técnica, la fase de realización puede comenzar. Esto no es en realidad una tarea de ciencias de la ingeniería, sino más bien de la práctica técnica. Sin embargo, sigue siendo tarea de las ciencias de la ingeniería apoyar esta práctica mediante el desarrollo de procedimientos existentes (por ejemplo, concepciones, proyectos o gestión de la calidad), asumiendo y gestionando nuevos desafíos (por ejemplo, apoyo a estos procesos a través de nuevos procedimientos de modelado y simulación asistidos por Internet), y mediante copias de seguridad y evaluación de la práctica actual. El proceso descrito aquí para la creación de soluciones técnicas a través del diseño y la planificación sobre la base del conocimiento técnico ilustra perfectamente la coherencia encontrada en las ciencias de la ingeniería, que emana de una relación específica entre la teoría y la Práctica. En la medida en que la investigación en las ciencias de la ingeniería debe apoyar la práctica técnica y el nivel en el que deben incluirse los detalles técnicos, todo se trata de introducir sistematizaciones, mejoras y ampliaciones. A nivel de los procesos generales de soluciones técnicas también se trata de considerar los sistemas y mejorar la eficiencia a nivel de procedimiento. Las ciencias de la ingeniería operan en varios niveles. El nivel superior de redacción y diseño ilustrado aquí, demuestra una estructura coherente, mientras que a nivel técnico es visible el aumento de la diversidad (por ejemplo, en forma de diversas tareas, áreas de aplicación y áreas temáticas) y es necesaria la diferenciación (cf. Sección 4).

3.4 Tecnología y ciencias de la ingeniería en el contexto de la sociedad

El uso exitoso de la tecnología está sujeto a numerosas condiciones vinculadas a diferentes objetivos, áreas temáticas y métodos en los respectivos campos (por ejemplo, en tecnología automotriz, tecnología de plantas de energía, tecnología de refrigeración, tecnología informática o construcción). El éxito de los esfuerzos técnicos depende tanto de la superación satisfactoria de los desafíos técnicos como de factores no técnicos como la aceptación, las ventajas relativas sobre otras opciones potenciales para resolver un problema y los deseos del usuario. Ejemplos en Alemania como el reactor de criadores en Kalkar, el motor Wankel y el tren Transrapid, muestran que los desarrollos técnicamente exitosos de ninguna manera se convierten automáticamente en

aplicaciones exitosas. Factores no técnicos como el éxito en el mercado, la aceptación del cliente y el "golpe omiso de la nota correcta" con respecto a las expectativas de estilo de vida (como en el mercado de teléfonos celulares) son factores importantes que afectan el éxito de los desarrollos técnicos. La calidad técnica es a menudo una condición previa necesaria, pero de ninguna manera suficiente para el éxito social y, en particular, económico. Las innovaciones técnicas también deben encajar en el contexto de la práctica social. Dado que las ciencias de la ingeniería no sólo pretenden satisfacer los criterios de conocimiento científico interno, sino también ser socialmente relevantes, los factores no técnicos mencionados anteriormente como pertinentes para la tecnología, también deben constituir un objeto de reflexión tecnológica. La relación específica entre la teoría y la práctica en las ciencias de la ingeniería implica preocupación, no sólo por cuestiones técnicas, sino también con el contexto social. Esto impone requisitos metodológicos a los métodos de selección y evaluación, al tiempo que subraya la responsabilidad específica de las ciencias de la ingeniería. Esta es una necesidad que es compartida por todas las disciplinas de las ciencias de la ingeniería [Schaub et al., 1983] y está respaldada por la evaluación de la tecnología y las actividades relacionadas. La necesidad de incluir factores no técnicos encuentra una expresión metodológica en varios de los procedimientos de evaluación, selección y toma de decisiones en los que tanto los criterios técnicos como los aspectos no técnicos desempeñan un papel. Las necesidades de selección y toma de decisiones impregnan todo el proceso técnico de resolución de problemas y el margen de maniobra disponible para lograr la solución óptima en cada contexto. Las necesidades de selección y toma de decisiones entran en juego desde el principio, con la formulación de las especificaciones y los primeros pasos hacia la redacción y la elaboración de documentos conceptuales y se extienden a las fases de elaboración, desarrollo y producción. Se llevan a cabo a niveles muy diferentes y van desde decisiones sobre los detalles en el laboratorio, hasta decisiones estratégicas de gran alcance sobre la dirección general que deben tomar los proyectos. Al preparar una decisión para la ejecución de una propuesta, los proyectos, documentos conceptuales y planes para resolver los problemas técnicos deben examinar y evaluar aspectos de calidad como la viabilidad técnica razonablemente asumible, la probabilidad de lograr los posibles efectos secundarios, costes, eficiencia y aceptación. Esto se hace a menudo de una manera comparativa, que significa que se consideran los borradores competidores. Los siguientes requisitos metodológicos se refieren a las ciencias de la ingeniería en general:

- El vínculo con la práctica: Debe haber vínculos con los problemas sociales para los que las ciencias de la ingeniería tienen como objetivo proporcionar soluciones, si se quiere garantizar su pertinencia. Incluso si la mayoría de las ciencias de la ingeniería están más orientadas a la presión tecnológica, es decir, a la oferta en lugar de a la faceta del problema o de la demanda, todavía tienen que vigilar las responsabilidades sociales.

- El establecimiento de prioridades: A partir del gran número de posibles direcciones de investigación y temas se deben establecer prioridades y se deben tomar decisiones, por ejemplo, de acuerdo con la urgencia de los problemas en cuestión o el alcance de la investigación prevista. Los criterios científicos internos también desempeñan un papel. Una consecuencia de la demanda de que los productos técnicos, procedimientos y sistemas sean económicos y competitivos es que los métodos de cálculo de la eficiencia prospectiva atraen especial atención.

- Anticipar el comportamiento del usuario: El éxito previsto de los resultados científicos y técnicos en la práctica social posterior, también implica considerar cuestiones sociales como el comportamiento esperado o posible del usuario y, por ejemplo, prevenir el uso indebido obvio o abuso intencional de productos técnicos.

- Considerando las consecuencias adversas: En última instancia, la responsabilidad de las ciencias de la ingeniería también incluye considerar los posibles efectos secundarios no intencionales de los desarrollos y participar en proyectos de evaluación tecnológica, por ejemplo, en relación con la competencia y potencial de evaluación (véase, por ejemplo, [Grunwald, 2002b; Rader, 2002; Rip et al., 1995];). Así, en el contexto de una sociedad más amplia, la coherencia metodológica de las ciencias de la ingeniería reside en el hecho de que, como resultado de la relación específica entre la teoría y la práctica, representan coherencia en términos de responsabilidad social que es algo que se puede realizar mediante métodos y procedimientos. Aunque tal responsabilidad asume diferentes formas en diferentes contextos, las ciencias de la ingeniería comparten la obligación de observar con cautela la práctica social y de reflexionar sobre la forma en que su propio trabajo particular se relaciona con esa práctica. Cuando se trata adecuadamente de este tipo de responsabilidad es importante analizar críticamente las relaciones de poder, cuestionar el enfoque predominante de empuje tecnológico y reflexionar éticamente sobre la ingeniería (véase [Pater y Van Gils, 2003; Schaub et al., 1983]; sobre la especial

relevancia de la ética en el diseño de ingeniería, véase [Van de Poel, 2001; Van Gorp, 2005]). En las directrices establecidas por la Unión Alemana de Ingenieros [VDI, 1991] las ocho áreas fundamentales de valores identificadas como criterios para los procesos de selección y toma de decisiones con respecto a las opciones técnicas son las siguientes: funcionalidad, seguridad, economía, prosperidad, salud, calidad ambiental, desarrollo de la personalidad y calidad social. Estos criterios muy generales deben hacerse más concretos y operativos antes de que puedan ser implementados para resolver problemas técnicos. Deben establecerse en relación con parámetros que sean concretamente medibles o puedan evaluarse durante los procesos de toma de decisiones, como los costes, la utilidad, la probabilidad de fallo, el uso de los recursos naturales, el riesgo de accidentes, las emisiones, el consumo de tiempo y las demandas impuestas al tiempo humano. Las soluciones a los problemas técnicos suelen presentarse con una abundancia de objetivos que deben alcanzarse simultáneamente: se supone que funcionan bien, son seguros, eficientes, económicos y respetuosos con el medio ambiente, por nombrar sólo algunos. Esta compleja colección de criterios proporciona una buena idea de las exigencias heterogéneas impuestas a la búsqueda de soluciones "buenas" a los problemas técnicos, pero también del hecho de que su calidad sólo depende en parte de la satisfacción de criterios técnicos, ya que también depende, en parte, de la realización de expectativas no técnicas. Estos perfiles de expectativa revelan la complejidad de los problemas de selección y toma de decisiones y, por lo tanto, de los factores sociales que las ciencias de la ingeniería tienen que tener en cuenta y resolver metodológicamente.

Particularmente en el campo técnico, pero más aún con respecto a criterios no técnicos, a menudo hay relaciones competitivas y conflictos entre los objetivos detrás de las diferentes demandas. Por ejemplo, la carrocería de un automóvil debe ser lo más ligera posible para reducir las emisiones, pero al mismo tiempo también tiene que satisfacer los requisitos de seguridad en las colisiones. Del mismo modo, se supone que los puentes son económicos y también son lo más seguros posible (véase, por ejemplo, [Van Gorp, 2005] para algunos ejemplos). Por lo tanto, las sentencias con frecuencia deben hacerse a partir de evaluaciones basadas en criterios muy diversos que deben integrarse en una evaluación global. En estas situaciones, los métodos adoptados para la selección y la toma de decisiones proporcionan ayuda y apoyo a las decisiones que son lo más transparentes y lógicas posibles. Estos métodos incluyen procedimientos cuantitativos como el análisis de riesgos, análisis de flujo de

materiales, análisis del ciclo de vida, equilibrio ambiental, análisis costo-beneficio y procedimientos de toma de decisiones multi-criterio, así como procedimientos cualitativos y orientados al discurso de los procedimientos (véase [Joss y Belucci, 2002];). Todos estos enfoques metodológicos y conceptuales que vinculan los desarrollos de las ciencias de la ingeniería con su contexto social son comunes a todas las ciencias de la ingeniería y representan la expresión de una relación teórico-práctica específica. Por lo tanto, en la medida en que estas tareas y los métodos y procedimientos empleados para resolverlas (como análisis de costo-beneficio, evaluación de riesgos, análisis de toma de decisiones multi-criterio o evaluación tecnológica) son una expresión de coherencia dentro de las ciencias de la ingeniería, se pueden enseñar en cursos universitarios a través y más allá de las fronteras de las facultades y disciplinas. Sin embargo, su aplicación y las formas que toman varían, en las diferentes disciplinas de las ciencias de la ingeniería.

4 COHERENCIA Y DIVERSIDAD EN LAS DISCIPLINAS DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

Las ciencias de la ingeniería se subdividen en un gran número de disciplinas correspondientes a la diversidad de sistemas técnicos y a los objetivos de la actividad técnica y científica. Sin embargo, no hay una jerarquía reconocible en esta organización de las disciplinas. Sostenemos que la razón de esto es porque la estructura interna de las ciencias de la ingeniería refleja un largo proceso de desarrollo histórico marcado por principios pragmáticos de clasificación que revelan el estado de los desarrollos tecnológicos y sus niveles de investigación científica. La disciplina científica se refiere aquí tanto a un sistema específico de conocimiento (cognitivo; declaraciones sobre un área temática, es decir, sobre los sistemas técnicos existentes y futuros) como a una comunidad específica de científicos (investigadores sociales; institucionalmente organizados y profesores afiliados a áreas temáticas con lenguaje técnico específico, normas científicas, publicaciones, eventos científicos, etc.). La formación y desarrollo de las disciplinas en las ciencias de la ingeniería (génesis de disciplinas) depende de la coherencia y la interacción entre estos factores cognitivos y sociales. Las dinámicas que actualmente son claramente prominentes en el desarrollo de teorías y métodos en ciencias de la ingeniería (diferenciación e integración) han reorientado la discusión más agudamente en los problemas encontrados en la clasificación en las Ciencias de la ingeniería. Es comprensible que, a medida que las tareas a las que se enfrentan las ciencias de la ingeniería se vuelvan más complejas, también lo hace su procesamiento y, por lo tanto, también la interacción interdisciplinaria de toda una gama de disciplinas internas. El conocimiento actual de la estructura y clasificación de las ciencias de la ingeniería no da una imagen completa, pero sí nos permite identificar ciertos resultados y problemas que contribuyen a comprender la naturaleza y el desarrollo del campo. Además, hay que tener en cuenta que cualquier clasificación —y esto incluye las ciencias de la ingeniería— es pragmática, es decir, específica y relacionada con un fin particular. Tal fin podría incluir la organización de facultades e institutos dentro de un colegio técnico, un sistema bibliotecario, la organización y la educación comparable de grupos profesionales afiliados a la tecnología (es decir, ingenieros), la estructura de bases de datos, etc. Por esta razón, el siguiente debate constituye sólo un enfoque de la coherencia y la diversidad en el lado del contenido de las ciencias de la ingeniería (véase [Jobst, 1986]).

En primer lugar, debemos hacer hincapié en que probablemente la "más dura" pero al mismo tiempo la forma más básica de clasificar las ciencias de la ingeniería podría ser haciendo distinciones de acuerdo a si las características dominantes son tecnológicas (fabricación, procesamiento o procedimientos técnicos), tareas constructivas o relacionadas con la ciencia de los materiales. Esta diferenciación, que se centra en un amplio grupo de disciplinas y se justifica sobre la base de los aspectos específicos tanto del tema como de los aspectos de actividad de las ciencias de la ingeniería, seguirá siendo importante en el futuro. En segundo lugar, ha surgido un principio organizativo en el sistema de ciencias de la ingeniería que, de alguna manera, representa una diferenciación adicional del primer punto y que está determinado objetivamente por los medios técnicos y los procesos que son científicamente procesados. Este principio distingue entre aquellas disciplinas que suelen estar relacionadas con la parte más constructora (estructural) y la más tecnológica (procesal) de los grupos de productos y procedimientos. Dentro de estas disciplinas a menudo hay, pero no siempre, una subdivisión en línea con orientaciones constructivas y tecnológicas. Esto se refiere al estado cuantitativo y cualitativo del desarrollo de la materia en cuestión y a la naturaleza específica del desarrollo histórico de disciplinas particulares, a las cuestiones de personal, al tamaño de las instituciones científicas, etc. Las disciplinas que entran en este principio organizativo incluyen, desde el campo de la ingeniería mecánica general, la construcción de máquinas herramienta, máquinas textiles y polígrafos. También se incluyen disciplinas de los campos de las electrotécnicas, la electrónica y la tecnología informática. En términos concretos, estas disciplinas pueden, por supuesto, subdividirse aún más. En el campo de la construcción de máquinas herramienta se puede tomar, por ejemplo, áreas como la producción significa desarrollo, fabricación de componentes, diseño de procesos, técnicas de unión y montaje. Sin embargo, esto no contraviene el principio de que la estructura de las disciplinas se determina examinando los medios y procesos técnicos reales. Dentro del sistema de ciencias de la ingeniería existe, en tercer lugar, la cuestión de las disciplinas que se ocupan de los problemas estructurales y funcionales que se producen en todos o muchos medios técnicos y procesos. Se podrían denominar disciplinas transversales. Incluyen técnicas de medición, técnicas de automatización, ciencia de la construcción, estandarización, ingeniería de seguridad y técnicas de la localidad. Sin embargo, en la actualidad es imposible llegar a extraer conclusiones definitivas sobre la clasificación en, precisamente estas disciplinas por la sencilla razón de que su significado teórico y práctico sigue creciendo en nuevas direcciones y en términos de su perfil científico (por

ejemplo, técnicas de medición y garantía de calidad), se encuentran actualmente en una fase crucial de la generalización teórica. La importancia cada vez mayor de estas disciplinas transversales es ante todo, una expresión de la complejidad orientada al proceso de los sistemas técnicos y las soluciones correspondientes en las ciencias de la ingeniería. En sus investigaciones reflejan momentos importantes de integración en el sistema de ciencias de la ingeniería. Esto es particularmente cierto en el caso de los sistemas que se ocupan del control teórico de funciones y estructuras, es decir, de clases enteras de medios y procesos técnicos o de aquellos marcados por una fuerte similitud que debe atribuirse a diferentes clases. En cuarto lugar hay que destacar que las ciencias de la ingeniería abarcan las disciplinas básicas. Su naturaleza específica está particularmente presente en la obtención de conocimientos basados principalmente en la teoría y el desarrollo de modelos, especificaciones computacionales, esquemáticos, diagramas de flujo, etc. Estos son los requisitos básicos para la anticipación intelectual, el diseño constructivo y tecnológico, la evaluación, el seguimiento y la perfección de clases enteras de medios y procesos técnicos. Lo que sigue siendo específico de estas disciplinas, es el hecho de que en sus investigaciones, el conocimiento de las ciencias naturales y matemáticas se transforma, combina, modifica y aplica de manera muy notable, estructuras y funciones técnicas fundamentales. Por citar algunos ejemplos típicos, las siguientes áreas pueden incluirse en las disciplinas básicas de las ciencias de la ingeniería: mecánica técnica, termodinámica técnica y cibernética técnica, la teoría de la ingeniería eléctrica y la Teoría de la tecnología de la información.

Es de esperar que en el futuro, el número y más cosas, hasta el punto de que la importancia de tales disciplinas básicas en las ciencias de la ingeniería crecerá a medida que las ciencias naturales y matemáticas impregnan cada vez más, muchas áreas de las ciencias de la ingeniería, por lo tanto, en el proceso, ampliando su base teórica. En resumen, podemos concluir que con respecto a la coherencia y diversidad del contenido de las ciencias de la ingeniería hay muchas tendencias diferentes y opuestas asociadas, en primer lugar con la diferencia de contenido (tipos, funciones, dimensiones, la entrada y salida de las condiciones de funcionamiento tales como formas de energía, temperaturas, presiones, etc.) y en segundo lugar con el desarrollo tecnológico, la investigación y la enseñanza.

5.- TECNOLOGÍA GENERAL

Además, de las tendencias hacia la diferenciación, las tendencias opuestas que enfatizan las características comunes siempre han estado presentes en el área del conocimiento técnico y las ciencias de la ingeniería, tanto hacia una "heurística general de la invención" (véase Nickles, 1980]) como en la dirección de una tecnología general. El término "heurística de la invención" se refiere a todos los esfuerzos intelectuales que, de una manera más sistemática desde el conjunto (más o menos independiente del área temática), son adecuados o capaces de contribuir a la producción de algo nuevo (es decir, también a innovaciones en el campo técnico como invenciones, mejoras u optimizaciones). Estos esfuerzos intelectuales se remontan a un largo camino hasta antes del establecimiento de las ciencias de la ingeniería en el siglo XIX. Algunos ejemplos son la obra de Sócrates (469–399 a. C.), Aristóteles (384–322 a. C.), Arquímedes de Siracusa (ca. 287–212 a. C.), Pappus de Alejandría (ca. 320 d. C.), Ramon Llull (1232/33-1316), Francis Bacon (1561-1626), René Descartes (1596-1650), Christopher Polhem (1661-1751) y Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). Lo que es notable en este sentido, es también la cinemática de Robert Willis (1800-1875), la "Cinemática Teórica" de Franz Reuleaux (1829-1905) de 1875, la combinatoria de Wilhelm Ostwald (1853-1932) y, más recientemente, el "método morfológico" de Fritz Zywick (1898-1974). Sin embargo, el ideal de adquirir un entendimiento lógicamente inequívoco, siempre se vio obstaculizado por dificultades insuperables en la práctica: el número de conceptos elementales o al menos preliminares elementales, siempre ha sido y sigue siendo mucho mayor de lo que se suponía originalmente, lo que significa que, el número de combinaciones posibles es enorme. En 1806, Johann Beckmann (cf. Sección 2.2) publicó la tercera parte de su "Vorrat kleiner Anmerkungen über mancherley gelehrte Gegenstände" ("Colección de notas cortas sobre varios temas aprendidos") que incluía un texto corto que podría llamarse el "certificado" de una tecnología general: es decir, el "Entwurf der allgemeinen Technologie" ("Borrador sobre tecnología general"). Esto significó un nuevo enfoque para la comprensión, comparación e invención de los sistemas técnicos. Tenemos que recapitular brevemente si queremos contextualizar los hilos de argumento relevantes.

En su obra "Anleitung zur Technologie oder zur Kenntnis der Handwerke, Fabriken und Manufakturen" ("Instrucciones sobre tecnología, o sobre el conocimiento de los intercambios, la artesanía y la fabricación"), publicado por primera vez en 1777, Beckmann ve la tecnología, no como era habitual hasta entonces — como la enseñanza de las habilidades, sino más bien

como "la ciencia que enseña el procesamiento de las cosas naturales o el conocimiento de las artesanías", como una ciencia "que explica completamente, correctamente y claramente todas las obras, sus resultados y sus razones" [Beckmann, 1780, p. 17]. En este primer paso en el camino hacia una base más fuertemente teórica para la ingeniería, su intención inicial era sistematizar las diversas obras de artesanías y fábricas, yendo más allá de una mera lista descriptiva de medios y procedimientos. Para ello pidió una contemplación más fuerte del conocimiento de las ciencias naturales y una terminología unificada — y por lo tanto también unificado—. Mientras que en su "Guía de Tecnología" Beckmann presenta "una justificación de la ciencia de la tecnología", en su trabajo de 1806 "Entwurf der allgemeinen Technologie" ("Borrador sobre Tecnología General"), va un paso más allá. Inicialmente divide la tecnología en dos partes distinguiendo la tecnología especial (la "parte particular") de la tecnología general (la "primera o parte general de la tecnología"): "Ahora deseo un directorio de todos los diferentes propósitos que los artesanos y artistas tienen en sus diversas obras y junto con él un directorio de todos los medios por los que sabrán cómo lograr estos fines. Daría a un directorio de este tipo el nombre de la tecnología general, o la primera o parte general de la tecnología" [Beckmann, 1806, p. 465]. La "descripción de las artesanías individuales" es la función de la tecnología especial en el sentido exigido en 1777. Con la tecnología general, Beckmann va más allá de una sistematización comparativa simplemente de los medios técnicos explotables para considerar fines realistas (técnicos). Esta tecnología general debe "revelar las intenciones comunes y especiales de las obras y los medios, explicar los principios en los que se basan y enseñar brevemente lo que podría servir a la comprensión y evaluación de los medios individuales y su selección en transferencia a otros objetos". "Para los artistas y artesanos", continúa "esto facilitaría conceptos minuciosos y generales de los objetos en los que trabajan y los procedimientos habituales aquí, y de hecho, proporcionaría una visión general que podría conducir a las mentes inventivas a nuevas mejoras útiles [ibid., págs. 465, 480]. Como una "razón" científica para todo esto, es decir, como el "conocimiento orientador a los intereses", subraya que "[cualquiera que haya tratado de aprender sobre muchas artesanías y artes y cualquiera que haya tratado de reunir a muchos de ellos en un solo punto de vista debe notar que muchas artesanías , aunque sus materiales y bienes son diferentes, siguen utilizando muchas obras para lograr fines similares o que estas artesanías pueden lograr el mismo fin de maneras muy diferentes" [ib., pp. 464]. La intención de Beckmann —como se desprende de sus consideraciones— es primero sistematizar todos los conocimientos técnicos y tecnológicos

recopilados hasta entonces antes de pasar a darle una base teórica segura y justificar el programa metodológico de un heurística de la invención. En los años siguientes, el enfoque tecnológico general para esbozar la ingeniería en su totalidad perdió su importancia. Sin embargo, siempre se hicieron esfuerzos para llevar a cabo generalizaciones más o menos completas para campos individuales de ingeniería o ciencias de la ingeniería. Un ejemplo es el enfoque metodológico más fuerte (constructivo) adoptado por Franz Reuleaux en la segunda mitad del siglo XIX y los estudios sobre "operaciones unitarias" y "procesos unitarios" realizados en las décadas de 1920 y 1930, que pueden ser vistos como base o puesta a tierra de una tecnología química general. En los últimos 30 años, el debate general sobre la tecnología ha sido revivido una vez más: varias cuestiones sobre la generalización y los enfoques de la tecnología general fueron presentadas por varios científicos desde la perspectiva de diferentes disciplinas científicas.

Hoy en día la tecnología general es todavía más un programa que un concepto que ha sido elaborado. En estos diversos enfoques de la tecnología general, la naturaleza general de los objetos y procesos técnicos se registra en términos de principios técnicos, reglas básicas y rectoras, regularidades, declaraciones sobre entornos efectivos, etc. Para generalizaciones de mayor alcance hacia una tecnología general (por encima de todo como parte de la "justificación teórica de las ciencias de la ingeniería"), hay que tener en cuenta que hay varias posiciones, aún no suficientemente debatidas aquí (véanse, por ejemplo, [Banse y Reher, 2002; 2004; Koen, 2003; Ropohl, 1999; Simon, 1981; Spur, 1998a; Wolffgramm, 1994/95]). El desarrollo de los conocimientos técnicos está, por un lado, marcado por el embellecimiento con detalles y, por otro, por la promoción de la sistematización, comparación, integración y generalización de las bases de conocimiento.

6.- MARCAS CONCLUSIVAS

Las ciencias de la ingeniería representan un interesante tema de investigación para la filosofía y la teoría científica. Muchas cuestiones cognitivas, metodológicas, normativas y — en el sentido más estricto — ciencia-teórica difieren de las de muchas otras ciencias. Esto viene ante todo del hecho de que las ciencias de la ingeniería deben entenderse como ciencias de "hacer" (como actividad relacionada con el objetivo y la producción) y que su resultado final práctico es la tecnología real. Este factor debe tenerse en cuenta en todo momento. En este caso, la tecnología "real" debe ser tomada como cosas

diferentes. En primer lugar, se utiliza para subrayar el hecho de que los sistemas técnicos deben funcionar en una situación real durante una duración determinada, no en un entorno ideal o de laboratorio en el que las perturbaciones pueden estar aisladas intelectual o prácticamente. Esto también es cierto para la conexión de producción que, aunque comienza con una idea, sólo ve la finalización con el producto objeto. El verdadero "medio ambiente" con sus múltiples influencias, interacciones y cambios siempre debe ser recordado, aunque a menudo no puede ser registrado exhaustivamente en su totalidad, ni sus efectos completamente calibrados o pronosticados desde el punto de vista del impacto. En última instancia, la aplicación de sistemas técnicos se refiere a las personas reales y a las instituciones reales. La tecnología debe ser vendible, comprable, aceptable y utilizable.

REFERENCIAS PARTE I

- [Abelson, 1967] R. Abelson. Definition. In *Encyclopedia of Philosophy*, Paul Edwards, ed., vol. 2, pp. 314-324. New York: Macmillan, 1967.
- [Akrich, 1992] M. Akrich. The Description of Technological Objects. In *Shaping Technology/ Building Society*, W.E. Bijker and J. Law, eds., pp. 205-224. MIT Press, 1992.
- [Alder, 1997] K. Alder. *Engineering the Revolution: Arms and Enlightenment in France, 1763- 1815*. Princeton University Press, 1997.
- [Amdahl and Sorensen, 2008] E. Amdahl and K. H. Sorensen. Den polytekniske kunnskapsideologien: Fraviten til dyd. In *Vitenskap som dialog - kunnskap i bevegelse. Tverrfaglighet og kunnskapskulturer i forskning*, K. H. Sorensen, H. J. Gansmo, V. A. Lagesen and E. Amdahl, eds., pp. 49-69. Tapir Akademiske Forlag, 2008.
- [Anderson, 1997] J. Anderson, Jr. *A History of Aerodynamics*. Cambridge University Press, 1997.
- [Armstrong, 1998] T. Armstrong. *Modernism, Technology and the Body: A Cultural Study*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1998.
- [Artz, 1966] F. Artz. *The Development of Technical Education in France, 1500-1850*. MIT Press, 1966.
- [Austin, 1961] J. L. Austin. "A Plea for Excuses." In *Philosophical Papers*, J.O. Urmson and G.J. Warnock, eds., pp. 123-152. Oxford: Clarendon Press, 1961.
- [Baird, 2003] D. Baird. *Thing Knowledge: Outline of a Materialist Theory of Knowledge*. In *The Philosophy of Scientific Experimentation*, H. Radder, ed., pp. 39-67. University of Pittsburgh Press, 2003.
- [Baird, 2004] D. Baird. *Thing Knowledge. A Philosophy of Scientific Instruments*. University of California Press, 2004.
- [Barnes et al., 1996] B. Barnes, D. Bloor, and J. Henry. *Scientific Knowledge. A Sociological Analysis*. Athlone Press, 1996.

- [Beakley et al., 1982] G. C. Beakley, H. W. Leach, J. K. Hedrick, and R. E. Lovell. Engineering: An Introduction to a Creative Profession. New York: Macmillan, 1982.
- [Beard, 1927] C. Beard. "Time, Technology, and the Creative Spirit in Political Science." American Political Science Review, vol. 21 (February), pp. 1-11, 1927.
- [Beaune, 1980] J.-C. Beaune. La technologie introuvable: Recherche sur la définition et l'unité de la technologie à partir de quelques modèles du XVIIIe et XIXe siècles. Paris: J. Vrin, 1980.
- [Beckmann, 1777] J. Beckmann. Anleitung zur Technologie, oder zur Kenntniss der Handwerke, Fabriken und Manufakturen. Göttingen: Vandenhoeckschen, 1777.
- [Beer, 1959] J. Beer. The Emergence of the German Dye Industry. University of Illinois Press, 1959.
- [de Bélidor, 1729] B. de Bélidor. La science des ingénieurs. C. Jombert, 1729.
- [Benjamin, 1968] W. Benjamin. "Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit," in Illuminationen Ausgewählte Schriften, pp. 148-184, Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1961. First English version in Illuminations, trans. Harry Zohn, New York: Harcourt, Brace, and World, 1968.
- [Berg, 1980] M. Berg. The Machinery Question and the Making of Political Economy, 1815- 1848. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
- [Berg, 1994] A.-J. Berg. A Gendered Socio-technical Construction: The Smart House. In Bringing Technology Home. Gender and Technology in a Changing Europe, C. Cockburn and R. Fürst-Dili, eds., pp. 165-180. Open University Press, 1994.
- [Bigelow, 1840] J. Bigelow. Elements of Technology: On the Application of the Sciences to the Useful Arts. Boston: Hilliard, Gray, Little and Wilkins, 1829 (Second edition,

The Useful Arts: Considered in Connection with the Applications of Science, 2 vols.
Boston: Marsh, Capen, Lyon, and Webb, 1840.)

[Bigelow and Pargetter, 1987] J. Bigelow and R. Pargetter. Functions, *The Journal of Philosophy* 84, 181-196, 1987.

[Bijker et al., 1987] W. E. Bijker, T.P. Hughes, and T. Pinch, eds., *The Social Construction of Technological Systems*. MIT Press, 1987.

[Billington, 1983] D. Billington. *The Tower and the Bridge: The New Art of Structural Engineering*. Basic Books, 1983.

[Boon, 2006] M. Boon. How Science is Applied in Technology. *International Studies in the Philosophy of Science*, 20, 27-47, 2006.

[Böhme et al., 1978] G. Böhme, W. van den Daele, and W. Krohn. The Scientification of Technology. In: *The Dynamics of Science and Technology*, W. Krohn, E. Layton, Jr. and P. Weingart, eds., pp. 219-250. D. Reidel, 1978.

[Böhme, 1983] G. Böhme. Autonomization and Finalization: A Comparison of Fermentation Research and Fluid Dynamics. In *Finalization in Science*, W. Schäfer, ed., pp. 53-91. Reidel, 1983.

[Böhme et al., 1983] G. Böhme, W. van den Daele, and R. Hohlfeld. Finalization Revisited. In *Finalization in Science*, W. Schäfer, ed., pp. 131-172. Reidel, 1983.

[Bowker and Star, 1999] G. C. Bowker and S. L. Star. *Sorting Things Out: Classification and Its Consequences*. Cambridge, MA: MIT Press, 1999.

[Bromberg, 1991] J. Bromberg. *The Laser in America, 1950-1970*. MIT Press, 1991.

[Bromberg, 1999] J. Bromberg. *NASA and the Space Industry*. Johns Hopkins University Press, 1999.

[Brown, 1999] L. Brown. *A Radar History of World War II*. Institute of Physics Publishing, 1999.

[Brookshire et al., 2007] R. G. Brookshire, R. Yin, S. Hunt and T. B. Crews. An End-User Information System for the 21st century. *The Journal of Computer Information Systems*, 47 (3), 81-88, 2007.

- [Brunot and Coquand, 1982] A. Brunot and R. Coquand. *Le Corps des Ponts et Chaussées*. Centre National de la Recherche Scientifique, 1982.
- [Bucciarelli, 1994] L. L. Bucciarelli. *Designing Engineers*. MIT Press, 1994.
- [Bud, 1993] R. Bud. *The Uses of Life: A History of Biotechnology*. Cambridge University Press, 1993.
- [Buderi, 1996] R. Buderi. *The Invention that Changed the World*. Simon & Schuster, 1996.
- [Bunge, 1966] M. Bunge. *Technology as Applied Science*. *Technology and Culture*, 7, 329-347, 1966.
- [Bunge, 1985] M. Bunge. *Treatise on Basic Philosophy. Volume 7: Philosophy of Science and Technology, Part II*. Reidel, 1985.
- [Callon, 1987] M. Callon. *Society in the Making: The Study of Technology as a Tool for Sociological Analysis*. In *The Social Construction of Technological Systems*, W.E. Bijker, T.P. Hughes, and T. Pinch, eds., pp. 83-106. MIT Press, 1987.
- [Calvert, 1967] M. Calvert. *The Mechanical Engineer in America, 1830-1910*. Johns Hopkins University Press, 1967.
- [Campbell-Kelly and Aspray, 1996] M. Campbell-Kelly and W. Aspray. *Computer: A History of the Information Machine*. Basic Books, 1996.
- [Capshew and Rader, 1992] J. Capshew and K. Rader. *Big Science: Price to Present*. In: *Science After '40*, A. Thackray, ed. *Osiris*, 7, 3-25, 1992.
- [Cardwell, 1971] D. Cardwell. *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*. Cornell University Press, 1971.
- [Cardwell, 1995] D. Cardwell. *Technology: The Norton History of Technology*. W.W. Norton, 1995.
- [Cartwright, 1983] N. Cartwright. *How the Laws of Physics Lie*. Clarendon Press, 1983.
- [Cartwright, 1999] N. Cartwright. *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge University Press, 1999.
- [Ceruzzi, 2003] P. Ceruzzi. *A History of Modern Computing*, 2nd ed. MIT Press, 2003.
- [Chabaud-Rychter, 1994] D. Chabaud-Rychter. *Women Users in the Design Process of a Food Robot: Innovation in a French Domestic Appliance Company*. In *Bringing*

- Technology Home. *Gender and Technology in a Changing Europe*, C. Cockburn and R. Fürst-Dili, eds., pp. 77-93. Open University Press, 1994.
- [Channell, 1982] D. Channell. *The Harmony of Theory and Practice: The Engineering Science of W.J.M. Rankine*. *Technology and Culture*, 23, 39-52, 1982.
- [Channell, 1989] D. Channell. *The History of Engineering Science: An Annotated Bibliography*. Garland Publishing, 1989.
- [Channell, 1991] D. Channell. *The Vital Machine: A Study of Technology and Organic Life*. Oxford University Press, 1991.
- [Channell, 2004] D. Channell. *The Computer at Nature's Core*. *Wired Magazine*, 2, 79-80, 2004.
- [Charnock, 1916] G. F. Charnock. *Mechanical Technology: Being a Treatise on the Materials and Preparatory Processes of the Mechanical Industries*. New York: Van Nostrand, 1916.
- [Cherfas, 1982] J. Cherfas. *Man-Made Life*. Pantheon Books, 1982.
- [Clagett, 1959] M. Clagett. *The Science of Mechanics in the Middle Ages*. University of Wisconsin Press, 1959.
- [Clagett, 1963] M. Clagett. *Greek Science in Antiquity*. Collier, 1963.
- [Clow and Clow, 1952] A. Clow and N. Clow. *The Chemical Revolution: A Contribution to Social Technology*. Batchworth Press, 1952.
- [Cockburn and Ormrod, 1993] C. Cockburn and S. Ormrod. *Gender and Technology in the Making*. Sage, 1993.
- [Collins and Pinch, 1993] H. Collins and T. Pinch. *The Golem: What Everyone Should Know about Science*. New York: Cambridge University Press, 1993.
- [Collins, 1985] H. M. Collins. *Changing Order. Replication and Induction in Scientific Practice*. Sage, 1985.
- [Collins and Evans, 2007] H. Collins and R. Evans. *Rethinking Expertise*. University of Chicago Press, 2007.

- [Committee on the Fundamentals of Computer Science, 2004] Committee on the Fundamentals of Computer Science. *Computer Science. Reflections on the Field. Reflections from the Field.* National Academies Press, 2004.
- [Constant, 1980] E. Constant, II. *The Origins of the Turbojet Revolution.* Johns Hopkins University Press, 1980.
- [Cuomo, 2007] S. Cuomo. *Technology and Culture in Greek and Roman Antiquity.* Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [Cuevas, 2005] A. Cuevas. *The Many Faces of Science and Technology Relationships. Essays in Philosophy*, 6, no. 1, 2005. Available at <http://www.humboldt.edu/~essays/cuevas.html>.
- [Cummins, 1975] R. C. Cummins. *Functional analysis*, *The Journal of Philosophy* 72, 741-765, 1975.
- [Dahlbom and Mathiassen, 1997] B. Dahlbom and L. Mathiassen. *The Future of Our Profession.* *Communications of the ACM*, 40 (6), 80-89, 1997.
- [Davis, 1998] M. Davis. *Thinking Like an Engineer: Studies in the Ethics of a Profession.* New York: Oxford University Press, 1998.
- [Dee, 1975] J. Dee. *The Mathematical Preface to Euclid 1570.* Science History Publications, 1975.
- [De Vries, 2005] M. J. de Vries. *80 Years of Research at the Philips Natuurkundig Laboratorium (1914-1994).* Amsterdam University Press, 2005.
- [Dewey, 1876] M. Dewey. *A Classification and Subject Index, for Cataloguing and Arranging the Books and Pamphlets of a Library.* Amherst, MA: 1876.
- [Dewey, 1929] J. Dewey. *The Quest for Certainty.* New York: Minton, Balch, 1929.
- [Dewey, 1944] J. Dewey. "By Nature and by Art." *Journal of Philosophy*, vol. 41, pp. 281-292, 1944.

- [Dijksterhuis, 1961] E. Dijksterhuis. *Mechanization of the World Picture*. Oxford University Press, 1961.
- [Dipert, 1993] R. R. Dipert. *Artifacts, Art Works, and Agency*. Temple University Press, 1993.
- [Downey, 1998] G. L. Downey. *The Machine in Me. An Anthropologist Sits among Computer Engineers*. Routledge, 1998.
- [Downey and Lucena, 1995] G. L. Downey and J.C. Lucena. *Engineering Studies*. In *Handbook of Science and Technology Studies*, S. Jasanoff, G.E. Markle, J.C. Petersen and T. Pinch, eds., pp. 189-204. Sage, 1995.
- [Drachmann, 1948] A. Drachmann. *Ktesibios, Philon and Heron: A Study of Ancient Pneumatics*. Ejnar Munksgaard, 1948.
- [Drachmann, 1962] A. Drachmann. *The Mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity*. University of Wisconsin Press, 1962.
- [Drake and Drabkin, 1969] S. Drake and I. Drabkin, eds. *Mechanics in Sixteenth Century Italy*. University of Wisconsin Press, 1969.
- [Drexler, 1987] K. E. Drexler. *Engines of Creation*. Anchor Books, 1987.
- [Drucker, 1959] P. F. Drucker. "Work and Tools." *Technology and Culture*, vol. 1, no. 1 (Winter), pp. 28-37, 1959.
- [Dunne, 1993] J. Dunne. *Back to the Rough Ground: "Phronesis" and "Techne" in Modern Philosophy and in Aristotle*. Notre Dame, IN: University of Notre Dame Press, 1993.
- [Durand, 1929] W. Durand. *Robert Henry Thurston*. American Society of Mechanical Engineers, 1929.
- [Ellul, 1964] J. Ellul. *La Technique, ou l'en jeu du siècle*. Paris: Colin, 1954. English version: *The Technological Society*, trans. John Wilkerson. New York: Knopf, 1964.
- [von Engelmeyer, 1899] P. K. von Engelmeyer. "Allgemeine Fragen der Technik," *Dinglers Polytechnisches Journal* (Berlin-Stuttgart), vol. 311, 21-22, 69-71, 101-

103, 133-134, 149-151; vol. 312, 1-2, 65-67, 97-99, 129-130, 145-147; and vol. 313, 17-19, 65-67, 1899.

[Easton, 1952] S. Easton. *Roger Bacon and His Search for a Universal Science*. Greenwood Press, 1952.

[Ehn, 1988] P. Ehn. *Work-Oriented Design of Computer Artifacts*. Arbetslivscentrum, 1988.

[Emmerson, 1977] G. Emmerson. *John Scott Russell: A Great Victorian Engineer and Naval Architect*. John Murray, 1977.

[Farrington, 1951] B. Farrington. *Francis Bacon: Philosopher of Industrial Science*. Lawrence and Wishart, 1951.

[Ferguson, 1962] E. Ferguson. *Kinematics of Mechanisms from the Time of Watt*. United States National Museum Bulletin, no. 228. Smithsonian Institution, 1962.

[Ferguson, 1977] E. Ferguson. *The Mind's Eye: Non-Verbal Thought in Technology*. *Science*, 197, 827-836, 1977.

[Florman, 1976] S. C. Florman. *The existential pleasures of engineering*. St. Martin's Press, 1976.

[Fores, 1981] M. Fores. "Technik: Or Mumford Reconsidered." *History of Technology*, vol. 6, pp. 121-137, 1981.

[Forman, 2007] P. Forman. *The Primacy of Science in Modernity, of Technology in Postmodernity, and of Ideology in the History of Technology*. *History and Technology*, 23, 1-152, 2007.

[Forsythe, 2001] D. E. Forsythe. *Studying Those Who Study Us. An Anthropologist in the World of Artificial Intelligence*. Stanford University Press, 2001.

[Fourcy, 1987] A. Fourcy. *Histoire de L' Ecole Polytechnique*. Berlin, 1987.

[Fox and Guagnini, 1998-1999] R. Fox and A. Guagnini. *Laboratories, Workshops, and Sites. Concepts and Practices of Research in Industrial Europe, 1800-1914*. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 29, 55-140 and 191-294, 1998-1999.

- [Freeman, 1982] C. Freeman. *The Economics of Industrial Innovation*. The MIT Press, 1982.
- [Franssen, 2006] M. Franssen. The normativity of artifacts, *Studies in History and Philosophy of Science* 37, 42-57, 2006.
- [Friedrich, 1999] K. Friedrich. *Technik, Technologie, Technikwissenschaften: Philosophische und sozialwissenschaftliche Probleme*. Cottbus: Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Fakultät für Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik, 1999.
- [Frison, 1998] G. Frison. "Some German and Austrian Ideas on Technologie and Technik between the End of the Eighteenth Century and the Beginning of the Twentieth." *History of Economic Ideas*, vol. 6, pp. 107-133, 1998.
- [Galilei, 1954] G. Galilei. *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, Intorno a due Nuove Scienze*. Elzevir, 1638. Translation. *Two New Sciences*. Dover, 1954.
- [Galison, 1997] P. Galison. *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*. University of Chicago Press, 1997.
- [Geiger, 1992] R. Geiger. Science, Universities, and National Defense, 1945-1970. In: *Science After '40*, A. Thakray, ed. *Osiris*, 7, 26-48, 1992.
- [Gerstl and Hutton, 1966] J. E. Gerstl and P. Hutton. *Engineers: The Anatomy of a Profession*. Tavistock, 1966.
- [Gibbons et al., 1994] M. Gibbons, C. Limoges, H. Nowotny, S. Schwartzman, P. Scott, and M. Trow. *The New Production of Knowledge. The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. Sage, 1994.
- [Giddens, 1976] A. Giddens. *New rules of sociological method*. Hutchinson, 1976.
- [Gillispie, 1971] C. Gillispie. *Lazare Carnot: Savant*. Princeton University Press, 1971.
- [Gillmor, 1971] C. Gillmor. *Coulomb and the Evolution of Physics and Engineering in Eighteenth-Century France*. Princeton University Press, 1971.
- [Gispen, 1989] K. Gispen. *New Profession, Old Order: Engineers and German Society, 1815- 1914*. Cambridge University Press, 1989.

- [Greenberg and Schachterle, 1992] M. L. Greenberg and L. Schachterle, eds. *Literature and Technology*. Bethlehem, PA: Lehigh University Press, 1992.
- [Goel, 2008] R. K. Goel. "Technology." In *International Encyclopedia of the Social Sciences*, second edition, William A. Darity Jr., ed., vol. 8, pp. 302-305. Detroit: Macmillan Reference, 2008.
- [Goldstine, 1972] H. Goldstine. *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton University Press, 1972.
- [Goles et al., 2008] T. Goles, S. Hawk and K. M. Kaiser. *Information Technology Workforce Skills: The Software and IT Services Provider Perspective*. *Inf Syst Front* 10,179-194, 2008.
- [Gooding, 1990] D. Gooding. *Experiment and the Making of Meaning*. Kluwer, 1990.
- [Grandin et al., 2004] K. Grandin, N. Wormbs, and S. Widmalm, eds. *The Science-Industry Nexus. History, Policy, Implications*. Science History Publications, 2004.
- [Griffiths, 1993] P. E. Griffiths. *Functional analysis and proper functions*, *British Journal for the Philosophy of Science* 44, 409-422, 1993.
- [Grimson, 2002] J. Grimson. *Re-engineering the Curriculum for the 21st Century*. *European Journal of Engineering Education*, 27 (1), 31-37, 2002.
- [Guillerme, 1985] J. Guillerme. "Technologie." In *Encyclopaedia Universalis*, vol. 17, pp. 764- 767, 1985. (?)
- [Guillerme and Sebestik, 1966] J. Guillerme and J. Sebestik. "Les commencements de la technologie." *Thalès*, vol. 12, pp. 1-72, 1966.
- [Habermas, 1971] J. Habermas. *Toward a Rational Society*. Heinemann, 1971.

- [Habermas, 1978] J. Habermas. Knowledge and Human Interests, 2nd edition. Heinemann, 1978.
- [Hacker, 1997] B. Hacker. Greek Catapults and Catapult Technology: Science, Technology and War in the Ancient World. In Technology and the West, T. Reynolds and S. Cutcliffe, eds., pp. 49-66. University of Chicago Press, 1997.
- [Hacking, 1983] I. Hacking. Representing and Intervening. Cambridge University Press, 1983.
- [Hall, 1973] M. B. Hall, ed. The "Pneumatics" of Hero of Alexandria: A Facsimile of the 1851 Woodward Edition. American Elsevier, 1973.
- [Hansson, 2007] S. O. Hansson. "What Is Technological Science?" Studies in History and Philosophy of Science, Part A, vol. 38, pp. 523-527, 2007.
- [Harman, 2005] G. Harman. Guerrilla Metaphysics: Phenomenology and the Carpentry of Things. Chicago: Open Court Press, 2005.
- [Hartcup, 1988] G. Hartcup. The War of Invention: Scientific Developments, 1914-18. Brassey's Defense Publishers, 1988.
- [Hartcup, 2000] G. Hartcup. The Effects of Science on the Second World War. Macmillan, 2000.
- [Hartenberg and Denavit, 1964] R. Hartenberg and J. Denavit. Kinematic Synthesis of Linkages. McGraw-Hill, 1964.
- [Harré, 2003] R. Harré. The Materiality of Instruments in a Metaphysics for Experiments. In The Philosophy of Scientific Experimentation, H. Radder, ed., pp. 19-38. University of Pittsburgh Press, 2003.
- [Hatling and Sorensen, 1998] M. Hatling and K.H. Sorensen. Social Constructions of User Participation. In The Spectre of Participation. Technology and Work in a Welfare State, K.H. Sorensen, ed., pp. 171-188. Scandinavian University Press, 1998.

- [Hecht, 2005] J. Hecht. *Beam: The Race to Make the Laser*. Oxford University Press, 2005.
- [Heelan, 1983] P. A. Heelan. *Space-Perception and the Philosophy of Science*. University of California Press, 1983.
- [Heidegger, 1954] M. Heidegger. "Die Frage nach der Technik." In *Vorträge und Aufsätze*. Pfullingen: Neske, 1954.
- [Heidelberger, 2003] M. Heidelberger. *Theory-Ladenness and Scientific Instruments in Experimentation*. In *The Philosophy of Scientific Experimentation*, H. Radder, ed., pp. 138-151. University of Pittsburgh Press, 2003.
- [Hempel, 1966] C. G. Hempel. *Philosophy of Natural Science*. Prentice-Hall, 1966.
- [Herf, 1984] J. Herf. *Reactionary Modernism: Technology, Culture, and Politics in Weimar Germany and the Third Reich*. New York: Cambridge University Press, 1984.
- [Heyde, 1963] J. E. Heyde. "Zur Geschichte des Wortes 'Technik.'" *Humanismus und Technik*, vol. 9, no. 1, pp. 25-43, 1963.
- [Heyman, 1972] J. Heyman. *Coulomb's Memoir on Statics: An Essay in the History of Civil Engineering*. Cambridge University Press, 1972.
- [Hickman, 2001] L. Hickman. *Philosophical Tools for Technological Culture: Putting Pragmatism to Work*. Bloomington, IN: Indiana University Press, 2001.
- [Hollister-Short, 1977] G. Hollister-Short. "The Vocabulary of Technology." *History of Technology*, vol. 2, pp. 125-155, 1977.
- [Houkes, 2006] W. Houkes. *Knowledge of artefact functions*, *Studies in History and Philosophy of Science* 37, 102-113, 2006.

- [Houkes and Vermaas, 2004] W. Houkes and P. E. Vermaas. Actions versus functions: A plea for an alternative metaphysics of artifacts, *The Monist* 87, 52-71, 2004.
- [Hughes, 1983] T. Hughes. *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*. Johns Hopkins University Press, 1983.
- [Hughes, 1985] T. P. Hughes. Edison and Electric Light. In *The Social Shaping of Technology*, D. A. MacKenzie and J. Wajcman, eds., pp. 39-52. Open University Press, 1985.
- [Hughes, 1987] T. P. Hughes. The Evolution of Large Technological Systems. In *The Social Construction of Technological Systems*, W.E. Bijker, T.P. Hughes, and T. Pinch, eds., pp.51-82. MIT Press, 1987. [Ihde, 1991] D. Ihde. *Instrumental Realism. The Interface between Philosophy of Science and Philosophy of Technology*. Indiana University Press, 1991.
- [Hutton and Lawrence, 1981] S. Hutton and P. Lawrence. *German Engineers: The Anatomy of a Profession*. Clarendon Press, 1981.
- [Ihde, 1979] D. Ihde. *Technics and Praxis: A Philosophy of Technology*. Boston: Kluwer, 1979.
- [Ihde, 1990] D. Ihde. *Lifeworld and Technology: From Garden to Earth*. Bloomington, IN: Indiana University Press, 1990.
- [Ihde, 2004] D. Ihde. Has the Philosophy of Technology Arrived? A State-of-the-Art Review. *Philosophy of Science*, 71, 117-131, 2004.
- [Iivari et al., 2004] J. Iivari, R. Hirschheim and H. K. Klein. Towards a Distinctive Body of Knowledge for Information Systems Experts: Coding ISD Process Knowledge in Two IS Journals. *Info Systems J*, 14, 313-342, 2004.
- [International Library of Technology, 1897] International Library of Technology. *Strength of Materials; Applied Mechanics; Machine Design*. Scranton, PA: International Textbook Company, 1897.

- [Israel, 1992] P. Israel. *From Machine Shop to Industrial Laboratory*. Johns Hopkins University Press, 1992.
- [Israel, 1998] P. Israel. *Edison: A Life of Invention*. John Wiley, 1998.
- [Jacob, 1988] M. Jacob. *The Cultural Meaning of the Scientific Revolution*. Temple University Press, 1988.
- [Janich, 1978] P. Janich. *Physics—Natural Science or Technology?* In *The Dynamics of Science and Technology*, W. Krohn, E.T. Layton, and P. Weingart, eds., pp. 3-27. Reidel, 1978.
- [Jones, 2003] M. E. Jones. *The Renaissance Engineer: A Reality for the 21st Century?* *European Journal of Engineering Education*, 28 (2), 169-178, 2003.
- [Judson, 1979] H. Judson. *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*. Simon & Schuster, 1979.
- [Kapp, 1877] E. Kapp. *Grundlinien einer Philosophie der Technik: Zur entstehungsgeschichte der Cultur aus neuen gesichtspunkten*. Braunschweig: Westermann, 1877.
- [Kay, 2000] L. Kay. *Who Wrote the Book of Life: A History of the Genetic Code*. Stanford University Press, 2000.
- [Kemper, 1993] J. D. Kemper. *Introduction to the Engineering Profession*. Second edition. Ft. Worth, TX: Saunders, 1993.
- [Kitcher, 1993] P. Kitcher. *Function and design*, *Midwest Studies in Philosophy* 18, 379-397, 1993.
- [Kitcher, 2001] P. Kitcher. *Science, Truth, and Democracy*. Oxford University Press, 2001.
- [Kline, 1995] R. Kline. "Constructing >Technology= as 'Applied Science': Public Rhetoric of Scientists and Engineers in the United States, 1880-1945." *Isis*, vol. 86, pp. 194-221, 1995.
- [Kline and Rosenberg, 1986] S. J. Kline and N. Rosenberg. *An Overview of Innovation*. In *The Positive Sum Strategy. Harnessing Technology for Economic Growth*, R. Landau and N. Rosenberg, eds., pp. 275-305. National Academy Press, 1986.

- [Koen, 2003] B. V. Koen. Discussion of the Method: Conducting the Engineer's Approach to Problem Solving. New York: Oxford University Press, 2003.
- [König, 1995] W. König. Technikwissenschaften: Entstehung der Elektrotechnik aus Industrie und Wissenschaft zwischen 1880 und 1914. Chur, Switzerland: Gordon and Breach Verlag Fakultät, 1995.
- [König, 1996] W. König. Science-Based Industry or Industry-Based Science? Electrical Engineering in Germany before World War I. *Technology and Culture*, 37, 70-101, 1996.
- [Koningsveld, 2006] H. Koningsveld. Het verschijnsel wetenschap, revised and expanded edition. Boom, 2006.
- [Kranakis, 1989] E. Kranakis. Social Determinants of Engineering Practice: A Comparative View of France and America in the Nineteenth Century. *Social Studies of Science*, 19, 5-70, 1989.
- [Kranakis, 1997] E. Kranakis. Constructing a Bridge: An Exploration of Engineering Culture, Design and Research in Nineteenth Century America. MIT Press, 1997.
- [Kranzberg and Pursell, 1967] M. Kranzberg and C. W. Pursell, Jr. "The Importance of Technology in Human Affairs." In *Technology in Western Civilization*, Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell, Jr., eds., vol. 1, pp. 3-11. New York: Oxford University Press, 1967.
- [Krimsky, 2003] S. Krimsky. Science in the Private Interest. Rowman & Littlefield, 2003.
- [Kroes, 1992] P. Kroes. On the Role of Design in Engineering Theories; Pambour's Theory of the Steam Engine. In *Technological Development and Science in the Industrial Age*, P. Kroes and M. Bakker, eds., pp. 69-98. Kluwer, 1992.
- [Kroes, 2003] P. A. Kroes. Screwdriver philosophy: Searle's analysis of technical functions, *Techné* 6, 22-35, 2003.
- [Krohn et al., 1978] W. Krohn, E. Layton Jr., and P. Weingart, eds. *The Dynamics of Science and Technology*. D. Reidel, 1978.

- [Krohn and Schäfer, 1983] W. Krohn and W. Schäfer. Agricultural Chemistry. The Origin and Structure of a Finalized Science. In Finalization in Science, W. Schäfer, ed., pp. 17-52. Reidel, 1983.
- [Krohn and Weyer, 1994] W. Krohn and J. Weyer. Society as a Laboratory: The Social Risks of Experimental Research. *Science and Public Policy*, 21, 321-334, 1994.
- [Kuhn, 1970] T. S. Kuhn. Logic of Discovery or Psychology of Research? In *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos and A. Musgrave, eds., pp. 1-23. Cambridge University Press, 1970.
- [Kuhn, 1977] T. Kuhn. *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. University of Chicago Press, 1977.
- [Kutz, 2000] C. Kutz. Acting together, *Philosophy and Phenomenological Research* 61, 1-31, 2000.
- [Lagesen and Sorensen, 2008] V. A. Lagesen and K.H. Sorensen. Re-locating software engineers: From technologists to communicators? Submitted to *Engineering Studies*, 2008.
- [Landels, 1978] J. Landels. *Engineering in the Ancient World*. University of California Press, 1978.
- [Lange, 1999] R. Lange. *Experimentalwissenschaft Biologie. Methodische Grundlagen und Probleme einer technischen Wissenschaft vom Lebendigen*. Königshausen & Neumann, 1999.
- [Latour, 1987] B. Latour. *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers through Society*. Open University Press, 1987.
- [Latour, 1988] B. Latour. How to Write 'the Prince' for Machines as well as Machinations. In *Technology and Social Process*, B. Elliot, ed., pp. 20-43. Edinburgh University Press, 1988.
- [Latour and Woolgar, 1979] B. Latour and S. Woolgar. *Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*. Sage, 1979.
- [Laudan, 1984] R. Laudan. Introduction. In *The Nature of Technological Knowledge*, R. Laudan, ed., pp. 1-26. Reidel, 1984.

- [Layton, 1971] E. Layton. Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th Century America, *Technology and Culture*, vol. 12, no. 4 (October), pp. 562-580, 1971.
- [Layton, 1971] E. T. Layton. *The Revolt of the Engineers: Social responsibility and the American Engineering Profession*. Press of Case Western Reserve University, 1971.
- [Layton, 1974] E. T. Layton Jr. Technology as Knowledge. *Technology and Culture*, 15, 31-41, 1974.
- [Layton, 1979] E. Layton, Jr. Scientific Technology, 1845-1900: The Hydraulic Turbine and the Origins of American Industrial Research. *Technology and Culture*, 20, 64-89, 1979.
- [Lederer, 1934] E. Lederer. "Technology." In *International Encyclopedia of the Social Sciences*, Edwin R.A. Seligman and Alvin Johnson, eds., vol. 14, pp. 553-560. New York: Macmillan, 1934.
- [Lee, 2005] C. K. Lee. Analysis of Skill Requirement for Systems Analysts in Fortune 500 Organizations. *The Journal of Computer Information Systems*, 45 (4), 84-92, 2005.
- [Lelas, 1993] S. Lelas. Science as Technology. *British Journal for the Philosophy of Science*, 44, 423-442, 1993.
- [Lelas, 2000] S. Lelas. *Science and Modernity. Toward an Integral Theory of Science*. Kluwer, 2000.
- [Lenk and Moser, 1973] H. Lenk and S. Moser, eds. *Techne, Technik, Technologie: Philosophische Perspektiven*. 3 vols. Pullach bei Munich: Dokumentation, 1973.
- [Leslie, 1993] S. W. Leslie. *The Cold War and American Science: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford*. Columbia University Press, 1993.

- [Lewens, 2004] T. Lewens. *Organisms and Artifacts: Design in Nature and Elsewhere*. The MIT Press, 2004.
- [Lindberg, 1983] D. Lindberg. *Roger Bacon's Philosophy of Nature*. Clarendon Press, 1983.
- [Lindberg, 1992] D. Lindberg. *The Beginnings of Western Science*. University of Chicago Press, 1992.
- [Lindberg and Westman, 1990] D. Lindberg and R. Westman. *Reappraisals of the Scientific Revolution*. Cambridge University Press, 1990.
- [Lindenfeld, 1997] D. F. Lindenfeld. *The Practical Imagination: The German Sciences of State in the Nineteenth Century*. Chicago: University of Chicago Press, 1997.
- [Litecky et al., 2004] C. R. Litecky, K. P. Arnett and B. Prabhakar. The Paradox of Soft Skills versus Technical Skills in IS Hiring. *The Journal of Computer Information Systems*, 45 (1), 69-76, 2004.
- [Little et al., 2002] S. Little, P. Quintas and T. Ray, eds. *Managing Knowledge*. Sage, 2002.
- [Long, 2005] P. A. Long. "The Annales and the History of Technology." *Technology and Culture*, vol. 40, no. 1 (January), pp. 177-186, 2005.
- [Lower, 1987] M. D. Lower. "The Concept of Technology within the Institutional Perspective." *Journal of Economic Issues*, vol. 21, pp. 1147-1176, 1987.
- [Lundgreen, 1990] P. Lundgreen. *Engineering Education in Europe and the U.S.A., 1750-1930: The Rise to Dominance of School Culture and Engineering Professions*. *Annals of Science*, 47:33-75, 1990.
- [Lyotard, 1984] F. Lyotard. *La condition postmoderne*. Paris: Editions de Minuit, 1979. (English version: *The Postmodern Condition: A Report on Knowledge*, Geoff Bennington and Brian Massumi, trans. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press, 1984.)
- [Manegold, 1978] K. H. Manegold. *Technology Academised. Education and Training of the Engineer in the Nineteenth Century*. In *The Dynamics of Science and Technology. Social Values, Technical Norms and Scientific Criteria in the*

Development of Knowledge, W. Krohn, E.T. Layton and P. Weingart, eds., pp. 137-158. Reidel, 1978.

[Manegold, 1992] K. Manegold. Technology Academised: Education and Training of the Engineer in the Nineteenth Century. In *Dynamics of Science and Technology*, W. Krohn, E. Layton, Jr. and P. Weingart, eds., pp. 137-158. D. Reidel, 1992.

[Margolis and Laurence, 1999] E. Margolis and S. Laurence. *Concepts: Core Readings*. Cambridge, MA: MIT Press, 1999.

[Marsden, 1992] B. Marsden. Engineering Science in Glasgow: Economy, Efficiency and Measurement as Prime Movers in the Differentiation of an Academic Discipline. *British Journal for the History of Science*, 25, 319-346, 1992.

[Martin, 1992] J. Martin. *Francis Bacon, the State, and the Reform of Natural Philosophy*. Cambridge University Press, 1992.

[Marvin, 1988] C. Marvin. *When Old Technologies Were New: Thinking about Electric Communication in the Late Nineteenth Century*. New York: Oxford University Press, 1988.

[Marx, 1964] L. Marx. *The Machine in the Garden: Technology and the Pastoral Ideal in America*. New York: Oxford University Press, 1964.

[Marx, 1997] L. Marx. "Technology: The Emergence of a Hazardous Concept." *Social Research*, vol. 64, no. 3 (Fall), pp. 965-988, 1997.

[Matricon and Waysand, 2003] J. Matricon and G. Waysand. *The Cold Wars: A History of Superconductivity*. Rutgers University Press, 2003.

[Mayr, 1970] O. Mayr. *The Origins of Feedback Control*. MIT Press, 1970.

[Maurice et al., 1986] M. Maurice, F. Sellier and J.-J. Silvestre. *The Social Foundations of Industrial Power*. MIT Press, 1986.

- [McDonald, 1914] H. McDonald. [Presidential] Address at the Annual Convention, in Baltimore, MD., June 2D, 1914. American Society of Civil Engineers Transactions, vol. 77, pp. 1737- 1759, 1914.
- [McDougall, 1985] W. McDougall. The Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age. Basic Books, 1985.
- [McEvoy, 1982] J. McEvoy. The Philosophy of Robert Grosseteste. Clarendon Press, 1982.
- [McLaughlin, 2001] P. McLaughlin. What Functions Explain: Functional Explanation and Self- Reproducing Systems. Cambridge University Press, 2001.
- [Medina, 1985] M. Medina. De la techne a la tecnología. Barcelona: 5Tirant Lo Blanch, 1985.
- [Meiksins and Smith, 1996] P. Meiksins and C. Smith, eds. Engineering Labour. Technical Workers in Comparative Perspective. Verso, 1996.
- [Meiksins and Watson, 1989] P. F. Meiksins and J.M. Watson. Professional Autonomy and Organizational Constraint: The Case of Engineers. The Sociological Quarterly, 30 (4), 561-585, 1989.
- [Merrill, 1968] R. S. Merrill. "The Study of Technology." In International Encyclopedia of the Social Sciences, David L. Sills, ed., vol. 15, pp. 576-589. New York: Macmillan, 1968.
- [Mertens, 2002] J. Mertens. "Technology as the Science of the Industrial Arts: Louis-Sébastien Lenormand (1757-1837) and the Popularization of Technology." History and Technology, vol. 18, no. 3, pp. 203-231, 2002.
- [Merton, 1935] R. K. Merton. "Science and Military Technique." Scientific Monthly, vol. 41 (December), pp. 542-545, 1935.
- [Meyer-Thurow, 1982] G. Meyer-Thurow. The Industrialization of Invention: A Case Study from the German Dye Industry. Isis, 73, 363-381, 1982.

- [Miksa, 1984] F. Miksa. *The Development of Classification at the Library of Congress, Occasional Papers*, University of Illinois, Graduate School of Library and Information Science, no. 164. University of Illinois, 1984.
- [Miller, 1985] D. Miller. *Artefacts as Categories: A Study of Ceramic Variability in Central India*. Cambridge University Press, 1985.
- [Millikan, 2002] R. G. Millikan. Biofunctions: Two paradigms. In *Functions: New Essays in the Philosophy of Psychology and Biology*, A. Ariew, R.C. Cummins, and M. Perlman, eds., pp. 33-59. Oxford University Press, 2002.
- [Millikan, 1999] R. G. Millikan. Wings, spoons, pills, and quills: A pluralist theory of function, *The Journal of Philosophy* 96, 191-206, 1999.
- [Millikan, 1989] R. G. Millikan. An ambiguity in the notion 'function', *Biology and Philosophy* 4, 172-76, 1989.
- [Millikan, 1984] R. G. Millikan. *Language, Thought, and Other Biological Categories: New Foundations for Realism*. The MIT Press, 1984.
- [Mitcham, 1979] C. Mitcham. "Philosophy and the History of Technology." In *The History and Philosophy of Technology*, George Bugliarello and Dean B. Doner, eds., pp. 163-201. Urbana: University of Illinois Press, 1979.
- [Mitcham, 1994] C. Mitcham. *Thinking through Technology: The Path between Engineering and Philosophy*. Chicago: University of Chicago Press, 1994.
- [Moaveni, 2005] S. Moaveni. *Engineering Fundamentals: An Introduction to Engineering*. Second edition. Toronto, Ontario: Nelson, 2005.
- [Mokyr, 2008] J. Mokyr. "Technology." In *The New Palgrave Dictionary of Economics*, second edition, Steven N. Durlauf and Lawrence E. Blume, eds., vol. 8, pp. 217-223. New York: Palgrave Macmillan, 2008.
- [Morgan and Morrison, 1999] M. S. Morgan and M. Morrison, eds. *Models as Mediators. Perspectives on the Natural and Social Sciences*. Cambridge University Press, 1999.

- [Mumford, 1934] L. Mumford. *Technics and Civilization*. New York: Harcourt Brace, 1934.
- [National Academy of Engineering, 2004] National Academy of Engineering. *The Engineer of 2020. Visions of Engineering in the New Century*. National Academies Press, 2004.
- [National Academy of Engineering, 2005] National Academy of Engineering. *Educating the Engineer of 2020. Adapting Engineering Education to the New Century*. National Academies Press, 2005.
- [Nauta and De Vries, 1979] L. Nauta and G. de Vries, eds. *Maatschappij of methode. Bijdragen tot het internalisme/externalisme-debat*. Special issue of *Kennis en methode*, 3, 4-198, 1979.
- [Neander, 1995] K. Neander. *Misrepresenting and malfunctioning*, *Philosophical Studies* 79, 109- 141, 1995.
- [Neander, 1991] K. Neander. *The teleological notion of 'function'*, *Australasian Journal of Philosophy* 69, 454-468, 1991.
- [Neufeld, 1995] M. Neufeld. *The Rocket and the Reich*. Free Press, 1995.
- [Newman, 2004] W. Newman. *Promethean Ambitions: Alchemy and the Quest to Perfect Nature*. University of Chicago Press, 2004.
- [Normal, 1988] D. A. Norman. *The Psychology of Everyday Things*. Basic Books 1988.
- [Nowotny and Felt, 1997] H. Nowotny and U. Felt. *After the Breakthrough: The Emergence of High-Temperature Superconductivity as a Research Field*. Cambridge University Press, 1997.
- [Nowotny et al., 2001] H. Nowotny, P. Scott and M. Gibbons. *Re-thinking Science. Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty*. Polity Press, 2001.
- [Nguyen, 1998] D. Q. Nguyen. *The Essential Skills and Attributes of an Engineer: A Comparative Study of Academics, Industry Personnel and Engineering Students*. *Global Journal of Engineering Education*, 2 (1), 65-75, 1998.
- [Nobel, 1979] D. Noble. *America by Design. Science, Technology and the Rise of Corporate Capitalism*. Oxford University Press, 1979.
- [Ogburn, 1938] W. F. Ogburn. "Technology and Sociology." *Social Forces*, vol. 17 (October), pp. 1-8, 1938.

- [Oldenziel, 1999] R. Oldenziel. *Making Technology Masculine: Women, Men, and the Machine in America, 1880-1945*. Amsterdam: Amsterdam University Press, 1999.
- [Oldenziel, 2006] R. Oldenziel. "Signifying Semantics for a History of Technology." *Technology and Culture*, vol. 47, no. 3 (July), pp. 477-485, 2006.
- [Oudshoorn et al., 2004] N. Oudshoorn, E. Rommes and M. Stienstra. *Configuring the User as Everybody: Gender and Design Cultures in Information and Communication Technologies*. *Science, Technology, & Human Values*, 29 (1), 30-63, 2004.
- [Parsons, 1935] T. Parsons. "Sociological Elements in Economic Thought," *Quarterly Journal of Economics*, vol. 49 (May 1935), pp. 414-453.
- [Perruci and Gerstl, 1969] R. Perruci and J.E. Gerstl. *Profession Without Community*. Random House, 1969.
- [Perlman, 2004] M. Perlman. The modern philosophical resurrection of teleology, *The Monist* 87, 3-51, 2004.
- [Petersen, 2006] A. C. Petersen. *Simulating Nature. A Philosophical Study of Computer-Simulation Uncertainties and Their Role in Climate Science and Policy Advice*. Het Spinhuis, 2006.
- [Petroski, 1996] H. Petroski. *Invention by Design: How Engineers Get from Thought to Thing*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1996.
- [Popper, 1963] K. R. Popper. *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. London: Routledge and Kegan Paul, 1963.
- [Prager and Scaglia, 1970] F. Prager and G. Scaglia. *Brunelleschi: Studies of His Technology and Inventions*. MIT Press, 1970.
- [Preston, unpublished] B. Preston. *The Stuff of Life: Towards a Philosophy of Material Culture*. Unpublished.
- [Preston, 2003] B. Preston. Of marigold beer — a reply to Vermaas and Houkes, *British Journal for the Philosophy of Science* 54, 601-612, 2003.

- [Preston, 1998] B. Preston. Why is a wing like a spoon? A pluralist theory of function, *The Journal of Philosophy* 95, 215-254, 1998.
- [Pritchard, 1987] J. Pritchard. The Professionalization of French Naval Shipbuilders. *Technology and Culture*, 28, 1-25, 1987.
- [Radder, 1988] H. Radder. *The Material Realization of Science*. Van Gorcum, 1988.
- [Radder, 1996] H. Radder. *In and About the World: Philosophical Studies of Science and Technology*. Albany, NY: State University of New York Press, 1996.
- [Radder, 2002] H. Radder. The Origin and Nature of Modern Science. *International Studies in the Philosophy of Science*, 16, 291-295, 2002.
- [Radder, 2003] H. Radder, ed. *The Philosophy of Scientific Experimentation*. University of Pittsburgh Press, 2003.
- [Radder, 2003] H. Radder. Technology and Theory in Experimental Science. In *The Philosophy of Scientific Experimentation*, H. Radder, ed., pp. 152-173. University of Pittsburgh Press, 2003.
- [Radder, 2006] H. Radder. *The World Observed/The World Conceived*. University of Pittsburgh Press, 2006.
- [Rasmussen, 1997] N. Rasmussen. *Picture Control: The Electron Microscope and the Transformation of Biology in America, 1940-1960*. Stanford University Press, 1997.
- [Ravetz, 1973] J. R. Ravetz. *Scientific Knowledge and its Social Problems*. Penguin Books, 1973.
- [Ravensteijn et al., 2006] W. Ravensteijn, E. de Graaff and O. Kroesen. Engineering the Future: The Social Necessity of Communicative Engineers. *European Journal of Engineering Education*, 31 (1), 63-71, 2006.

- [Regis, 1995] E. Regis. *Nano: The Emerging Science of Nanotechnology*. Little, Brown and Company, 1995.
- [Reich, 1985] L. Reich. *The Making of American Industrial Research: Science and Business at GE and Bell, 1876-1926*. Cambridge University Press, 1985.
- [Reynolds, 1983] T. Reynolds. *Stronger than a Hundred Men: A History of the Vertical Water Wheel*. Johns Hopkins University Press, 1983.
- [Reti, 1974] L. Reti, ed. *The Unknown Leonardo*. McGraw-Hill, 1974.
- [Rhodes, 1986] R. Rhodes. *The Making of the Atomic Bomb*. Simon and Schuster, 1986.
- [Riordan and Hoddeson, 1997] M. Riordan and L. Hoddeson. *Crystal Fire: The Birth of the Information Age*. W.W. Norton, 1997.
- [Ritti, 1971] R. R. Ritti. *The Engineer in the Industrial Corporation*. Columbia University Press, 1971.
- [Robinson, 1950] R. Robinson. *Definition*. Oxford: Clarendon Press, 1950.
- [Robinson et al., 2005] M. A. Robinson, P. R. Sparrow, C. Clegg and K. Birdi. *Design Engineering Competencies: Future Requirements and Predicted Changes in the Forthcoming Decade*. *Design Studies*, 26, 123-153, 2005.
- [Rogers, 1905–1906] H. J. Rogers, ed. *Congress of Arts and Science*. 8 vols. Boston: Houghton Mifflin, 1905-1906.
- [Rophol, 1997] G. Rophol. "Knowledge Types in Technology." *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 7, pp. 65-72, 1997
- [Rossi, 1970] P. Rossi. *Philosophy, Technology and the Arts in the Early Modern Era*. Harper and Row, 1970.
- [Russell and Stouffer, 2005] J. S. Russell and W. B. Stouffer. *Survey of National Civil Engineering Curriculum*. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 131 (2), 118-128, 2005.
- [Rothbart, 2007] D. Rothbart. *Philosophical Instruments. Minds and Tools at Work*. University of Illinois Press, 2007.

- [Rouse and Ince, 1957] H. Rouse and S. Ince. *History of Hydraulics*. Iowa Institute of Hydraulic Research, 1957.
- [Rouse, 1987] J. Rouse. *Knowledge and Power*. Cornell University Press, 1987.
- [Ryle, 1953] G. Ryle. "Ordinary Language." *Philosophical Review*, vol. 62, no. 2 (April), pp. 167-186, 1953.
- [Salmon, 1984] J.-J. Salmon. "What Is Technology? The Issue of Its Origins and Definitions." *History and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 113-156, 1984.
- [Sassower, 1995] R. Sassower. *Cultural Collisions: Postmodern Technoscience*. Routledge, 1995.
- [Schäfer, 1983] W. Schäfer, ed. *Finalization in Science*. Reidel, 1983.
- [Schadewaldt, 1960] W. Schadewaldt. "Die Begriffe 'Natur' und 'Technik' bei den Griechen." In *Natur, Technik, Kunst*, pp. 35-53, Göttingen: Musterschmidt, 1960. (English version: "The Concepts of Nature and Technique According to the Greeks," Willima Carroll, Carl Mitcham, and Robert Mackey, trans., *Research in Philosophy and Technology*, vol. 2 (1979), pp. 159- 171.)
- [Schatzberg, 2006] E. Schatzberg. "Technik Comes to America: Changing Meanings of Technology before 1930." *Technology and Culture*, vol. 47, no. 3 (July), pp. 486-512, 2006.
- [Schofield, 1963] R. Schofield. *The Lunar Society of Birmingham*. Oxford University Press, 1963.
- [Searle, 1995] J. Searle. *The Construction of Social Reality*. The Free Press, 1995.
- [Sebestik, 1983] J. Sebestik. "The Rise of Technological Science." *History and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 25-26, 1983.

- [Scheele, 2006] M. Scheele. Function and use of technical artefacts: Social conditions of function ascription, *Studies in History and Philosophy of Science* 37, 23-36, 2006.
- [Scheele, 2005] M. Scheele. *The Proper Use of Artefacts: A Philosophical Theory of the Social Constitution of Artifact Functions*. Simon Stevin Series in the Philosophy of Technology, 2005.
- [Seely, 1993] B. Seely. "Research, Engineering, and Science in American Engineering Colleges: 1900-1960." *Technology and Culture*, 34, 344-386, 1993.
- [Schiffer et al., 1981] M. B. Schiffer, T. E. Downing, and M. McCarthy. 'Waste not, want not': An ethno archaeological study of reuse in Tucson, Arizona. In *The Archaeology of Us: Modern Material Culture*, R.A. Gould and M.B. Schiffer, eds., pp. 67-86. Academic Press, Inc., 1981.
- [Schiffer and Skibo, 1997] M. B. Schiffer and J. M. Skibo. The explanation of artifact variability, *American Antiquity* 62, 27-50, 1997.
- [Shinn, 1980] T. Shinn. *Savoir Scientifique et Pouvoir Social: L' École Polytechnique, 1794- 1914*. Foundation National des Sciences Politiques, 1980.
- [Shinn, 1984] T. Shinn. Reactionary Technologists: The Struggle Over the 'Ecole Polytechnique, 1880-1914. *Minerva*, 22 (3-4), 329-345, 1984.
- [Shinn and Joerges, 2002] T. Shinn and B. Joerges. The Transverse Science and Technology Culture: Dynamics and Roles of Research-Technology. *Social Science Information*, 41, 207- 251, 2002.
- [Siebicke, 1968] W. Seibicke. *Technik: Versuch einer Geschichte der Worffamilie um τέχνη in Deutschland vom 16.Jahrhundert bis etwa 1830*. D"usseldorf: VDI-Verlag, 1968.
- [Siebicke, 1983] W. Seibicke. *Duden, wie sagt man anderswo?: Landschaftliche Unterschiede im deutschen Sprachgebrauch*. Mannheim: Bibliographisches Institut, 1983.
- [Seligman, 1902] E. R. A. Seligman. "The Economic Interpretation of History II." *Political Science Quarterly*, vol. 17 (March), pp. 71-98, 1902.

- [Simon, 1969] H. Simon. *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, 1969.
- [Singer et al., 1954] C. Singer, E. J. Holmyard, and A. R. Hall. "Preface." In *A History of Technology*, Charles Singer, E.J. Holmyard, and A.R. Hall, eds., vol. 1, pp. v-viii. New York: Oxford University Press, 1954.
- [Smart, 1998] N. Smart. *The World's Religions*. Second edition. New York: Cambridge University Press, 1998.
- [Smith et al., 1983] R. J. Smith, B. R. Butler, and W. K. LeBold. *Engineering as a Career*, 4th edition. New York: McGraw-Hill, 1983.
- [Smith, 1998] C. Smith. *The Science of Energy: A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*. University of Chicago Press, 1998.
- [Snow, 1959] C. P. Snow. *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1959.
- [Solli, 2007] J. Solli. Barekraftige kalkyler? Utviklingen av økonomiske argumenter om vindkraft. In *Mellom klima og komfort: Utfordringer for en bærekraftig energiutvikling*, M. Aune og K.H. Sorensen, eds., pp. 125-142. Tapir Akademisk Forlag, 2007.
- [Sombart, 1902] W. Sombart. *Der Moderne Kapitalismus*. 2 vols. Leipzig: Dunker und Humboldt, 1902. Revised and expanded in 1916, 1917, and 1927.
- [Sorensen, 1996] K. H. Sorensen. Den nye tverrfagligheten. Fra polyteknisk generalist til polyvalent spesialist. In *Perspektiver på tvers. Disiplin og tverrfaglighet på det moderne forskningsuniversitetet*, T. Dahl and K.H. Sorensen, eds., pp. 19-28. Tapir Akademiske Forlag, 1996.
- [Sorensen, 1998] K. H. Sorensen. Engineers Transformed: From Managers of Technology to Technological Consultants? In *The Spectre of Participation. Technology and Work in a Welfare State*, K.H. Sorensen, ed., pp. 139-160. Scandinavian University Press, 1998.
- [Sorensen, 2008] K. H. Sorensen. Dialog og tverrfaglighet som kunnskapspolitikk. In *Vitenskap som dialog — kunnskap i bevegelse. Tverrfaglighet og*

kunnskapskulturer i forskning, K. H. Sorensen, H. J. Gansmo, V. A. Lagesen and E. Amdahl, eds., pp. 9-26. Tapir Akademiske Forlag, 2008.

[Sorensen et al., 2007] K. H. Sorensen, V.A. Lagesen and N. Levold. Flytende profesjoner? Om organisering av kunnskap. In *Arbeid, kunnskap og sosial ulikhet*. Festskrift til Olav Korsnes, J. Hjellbrekke, O. J. Olsen and R. Saksind, eds., pp.197-220. Fagbokforlaget, 2007.

[Sorensen and Levold, 1992] K. H. Sorensen and N. Levold. Tacit Networks, Heterogeneous Engineers, and Embodied Technology. *Science, Technology & Human Values*. 17 (1), 13-35, 1992.

[Sorensen et al., 2008] K. H. Sorensen, H.J. Gansmo, V.A. Lagesen and E. Amdahl, eds. *Faglighet og tverrfaglighet i den nye kunnskapsøkonomien*. Tapir Akademiske Forlag, 2008.

[Steele, 1997] B. Steele. Muskets, and Pendulums: Benjamin Robins, Leonhard Euler, and the Ballistics Revolution. In *Technology and the West*, T. Reynolds and S. Cutcliffe, eds., pp. 145-180. University of Chicago Press, 1997.

[Stewart, 1992] L. Stewart. *The Rise of Public Science: Rhetoric, Technology, and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750*. Cambridge University Press, 1992.

[Stratton and Mannix, 2005] J. A. Stratton and L. H. Mannix. *Mind and Hand: The Birth of MIT*. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.

[Suchman, 1987] L. Suchman. *Plans and Situated Action: The Problem of Human-Machine Communications*. Cambridge University Press, 1987.

[Suchman, 2007] L. Suchman. *Human-machine reconfigurations. Plans and situated action 2nd edition*. Cambridge University Press, 2007.

[Sussman, 1968] H. Sussman. *Victorians and the Machine: The Literary Response to Technology*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1968.

[Sypher, 1968] W. Sypher. *Literature and Technology: The Alien Vision*. New York: Random House, 1968.

- [Tantoush, 2001] T. M. K. Tantoush. "Technology and Organization." In *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, Neil J. Smelser and Paul B. Baltes, eds., vol. 23, pp. 15502-15506. Amsterdam: Elsevier, 2001.
- [Taylor, 1991] J. Taylor. *The "Didascalicon" of Hugh of St. Victor*. Columbia University Press, 1991.
- [Thomas, 1994] R. J. Thomas. *What Machines Can't Do. Politics and Technology in the Industrial Enterprise*. University of California Press, 1994.
- [Thurschwell, 2001] P. Thurschwell. *Literature, Technology and Magical Thinking, 1880—1920*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- [Tichi, 1987] C. Tichi. *Shifting Gears: Technology, Literature, Culture in Modernist America*. Chapel Hill, NC: University of North Carolina Press, 1987.
- [Tiles and Oberdiek, 1995] M. Tiles and H. Oberdiek. *Living in a Technological Culture*. Routledge, 1995.
- [Timoshenko, 1953] S. Timoshenko. *History of Strength of Materials*. McGraw-Hill, 1953.
- [Todhunter, 1886–1893] I. Todhunter. *A History of the Theory of Elasticity and the Strength of Materials from Galileo to the Present*, 2 vols. Cambridge University Press, 1886-1893.
- [Trevelyan and Tilli, 2007] J. Trevelyan and S. Tilli. Published Research on Engineering Work. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 133 (4), 300-307, 2007.
- [Turley and Bieman, 1995] R. T. Turley and J. B. Bieman. Competencies of Exceptional and Nonexceptional Software Engineers. *J. Systems Software*, 28, 19-38, 1995.
- [Van Fraassen, 1980] B. C. van Fraassen. *The Scientific Image*. Clarendon Press, 1980.
- [Veblen, 1906] T. Veblen. "The Place of Science in Modern Civilization." *American Journal of Sociology*, vol. 11 (March), pp. 585-609, 1906.

- [Veblen, 1908] T. Veblen. "On the Nature of Capital." *Quarterly Journal of Economics*, vol. 22 (August), pp. 517-542, 1908.
- [Vermaas, 2006] P. E. Vermaas. The physical connection: Engineering function ascriptions to technical artefacts and their components, *Studies in History and Philosophy of Science* 37, 62-75, 2006.
- [Vermaas and Houkes, 2003] P. E. Vermaas and W. Houkes. Ascribing functions to technical artefacts: A challenge to etiological accounts of functions, *British Journal for the Philosophy of Science* 54, 261-289, 2003.
- [Vermaas and Houkes, 2006] P. E. Vermaas and W. Houkes. Technical functions: A drawbridge between the intentional and structural natures of technical artefacts, *Studies in History and Philosophy of Science* 37, 5-18, 2006.
- [Vesilind, 2001] P. Vesilind. A. Engineering as Applied Social Science. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 127 (4), 184-188, 2001.
- [Vincenti, 1990] W. Vincenti. *What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History*. Johns Hopkins University Press, 1990.
- [Vincenti and Rosenberg, 1978] W. Vincenti and N. Rosenberg. *The Britannia Bridge: The Generation and Diffusion of Technological Knowledge*. MIT Press, 1978.
- [Vinck, 2003] D. Vinck, ed. *Everyday Engineering. An Ethnography of Design and Innovation*. MIT Press, 2003.
- [Vitalari, 1985] N. P. Vitalari. Knowledge as Basis for Expertise in Systems Analysis: An Empirical Study. *MIS Quarterly*, 9 (3), 221-241, 1985.
- [Von Braun and Ordway, 1976] W. Von Braun and F. Ordway. *The Rockets' Red Glare*. Anchor Press, 1976.
- [Walsh et al., 1992] V. Walsh, R. Roy, M. Bruce and S. Potter. *Winning by Design. Technology, Product Design and International Competitiveness*. Blackwell, 1992.
- [Watson, 2003] J. Watson. *DNA: The Secret of Life*. Alfred A. Knopf, 2003.
- [Weber, 1922] M. Weber. *Wirtschaft und Gesellschaft: Grundriss der verstehenden Sozialologie*. Tübingen: J.C.B. Mohr, 1922.

- [Weingart, 1997] P. Weingart. From 'Finalization' to 'Mode 2': Old Wine in New Bottles? *Social Science Information*, 36, 591-613, 1997.
- [Weiss, 1979] C. H. Weiss. The Many Meanings of Research Evaluation. *Public Administration Review*, 39 (5), 426-431, 1979.
- [Weiss, 1982] J. Weiss. *The Making of Technological Man: The Social Origins of French Engineering Education*. MIT Press, 1982.
- [West, 1967] T. R. West. *Flesh of Steel: Literature and the Machine in American Culture*. Nashville, TN: Vanderbilt University Press, 1967.
- [Whalley, 1986] P. Whalley. *The Social Production of Technical Work*. Macmillan, 1986.
- [White, 1978] L. White, Jr. *Medieval Religion and Technology*. University of California Press, 1978.
- [White and Leifer, 1986] K. B. White and R. Leifer. Information Systems Development Success: Perspectives from Project Teams Participants. *MIS Quarterly*, 10 (3), 215-223, 1986.
- [Williams, 1983] R. Williams. *Keywords: A Vocabulary of Culture and Society*. Revised edition. New York: Oxford University Press, 1983.
- [Williams, 2002] R. Williams. *Retooling. A Historian Confronts Technological Change*. MIT Press, 2002.
- [Williams, 2003] R. Williams. Education for the Profession Formerly Known as Engineering. *The Chronicle of Higher Education*, 49 (20), B12, 2003.
- [Williams et al., 2005] R. Williams, J. Stewart and R. Slack. *Social Learning in Technological Innovation. Experimenting with Information and Communication Technologies*. Edward Elgar, 2005.
- [Winner, 1977] L. Winner. *Autonomous Technology: Technics-Out-of-Control as a Theme in Political Thought*. Cambridge, MA: MIT Press, 1977.
- [Wise, 1985] G. Wise. *Willis R. Whitney and the Origins of U.S. Industrial Research*. Columbia University Press, 1985.

[Wright, 2002] P. H. Wright. Introduction to Engineering. Third edition. New York: John Wiley, 2002.

[Yates, 1979] F. Yates. Giordano Bruno and the Hermetic Tradition. University of Chicago Press, 1979.

[Zandvoort, 1986] H. Zandvoort. Models of Scientific Development and the Case of Nuclear Magnetic Resonance. Reidel, 1986.

[Zussman, 1985] R. Zussman. Mechanics of the Middle Class. University of California Press, 1985.

Parte II

La influencia de la tecnología en la ética y los valores de las sociedades

POR QUÉ LAS TECNOLOGÍAS SON INTRÍNSECAMENTE NORMATIVAS

Hans Radder

1 INTRODUCTION

El título de este capítulo implica que las tecnologías son inherentemente normativas. Explicar y defender esta afirmación requiere, en primer lugar, un relato plausible de las nociones de "tecnología" y "normatividad". A tal efecto, la Sección 2 caracteriza una tecnología (tipo de) como un «sistema (tipo de) artificial y funcional con cierto grado de estabilidad y reproducibilidad», y aborda la cuestión crucial de cómo podemos realizar con éxito dichas tecnologías. A continuación, la sección 3 explica la noción de una norma como «una directiva socialmente integrada sobre lo que las personas deben (o no deben) decir o hacer», y examina varios aspectos importantes de cómo funcionan las normas en las prácticas reales. A continuación, la sección 4 introduce la distinción entre tecnologías normativas contingentes e inherentes y proporciona un análisis detallado de la cuestión de por qué las tecnologías son intrínsecamente normativas. Después de un esquema general del argumento de esta alegación, las Secciones 4.1 a 4.4 abordan los aspectos centrales de la normatividad inherente de las tecnologías sobre la base de cuatro enfoques diferentes, organizados en orden cronológico. Estas secciones discuten la normatividad de la tecnología en el caso del relato de Langdon Winner sobre la naturaleza política de los artefactos, en mi propio análisis del control material/social necesario para realizar tecnologías estables y reproducibles, en la teoría del guión del diseño tecnológico defendida por Madeleine Akrich, y en la noción de planes de uso propuestos por Wybo Houkes y Pieter Vermaas. Se evalúan los méritos y los problemas de estos enfoques y se examinan sus implicaciones para la cuestión principal de este capítulo. La sección 4.5 utiliza los análisis y ejemplos de las secciones anteriores para ilustrar varios aspectos importantes del papel de la normatividad en la práctica tecnológica. La quinta y última sección resume el argumento de la alegación de que las tecnologías son intrínsecamente normativas y explora brevemente la cuestión de si hay otras formas en que se puede decir que las tecnologías son inherentemente normativas. Queda claro que este capítulo se centra en la filosofía de la tecnología. Sin embargo, dado que un objetivo central de las ciencias de la ingeniería o de la tecnología es contribuir al diseño e implementación de tecnologías, este capítulo es esencial también para los científicos de ingeniería o tecnológicos. El punto básico de relevancia es que, si aspiran a anticipar la implementación exitosa de sus diseños, los científicos de ingeniería y

tecnológicos deben ser firmemente conscientes de la normatividad inherente de las tecnologías.

2.- TECNOLOGIA

Cualquier discusión filosófica sistemática sobre la normatividad de la tecnología debe basarse en un relato plausible de la idea misma de la "tecnología". Este es, por supuesto, un tema enorme, que ha sido tratado en detalle en un gran número de estudios (para revisiones extensas, véase Van der Pot [1994]; Mitcham [1994]; Mitcham y Schatzberg). Quedará claro que todos esos estudios no pueden abordarse aquí. Lo que se va a hacer en esta sección es esbozar un relato teórico de la tecnología que, se espera, es a la vez plausible y adecuado como punto de partida para una discusión en profundidad sobre el tema de este capítulo. En parte, este relato emplea nociones que son bastante comunes en la filosofía de la tecnología; en parte, se basa y desarrolla varias ideas tomadas anteriormente. La teoría resultante de la tecnología tiene dos partes interrelacionadas. Se empieza con una caracterización de una (tipo de) tecnología como un (tipo de) sistema artificial, funcional con un cierto grado de estabilidad y reproducibilidad, y se explica las nociones clave de esta caracterización. En la segunda parte, se examina las cuestiones de cómo, dónde y cuándo podemos realizar y mantener con éxito estas tecnologías, que revelarán una serie de características adicionales igualmente importantes de las tecnologías.

2.1 Una primera caracterización de las tecnologías

Los elementos distintos de esta caracterización de las tecnologías pueden describirse, breve y formalmente, de la siguiente manera. Un sistema es cualquier agregado (o colectivo) de entidades materiales que interactúan mutuamente dentro de una determinada región de espacio y tiempo. Por lo tanto, un sistema posee no sólo una dimensión espacial sino también temporal, lo que nos permite ver los procesos como sistemas. Aunque la noción de un sistema también puede utilizarse de maneras más sustanciales, esta definición modesta es apropiada en el contexto actual. También puede expresarse diciendo que las tecnologías tienen un carácter sistémico, porque son el resultado de reunir y mantener, juntas a dos o más entidades materiales. Por definición, todo lo que no está incluido en el sistema es su entorno. La parte pertinente del medio ambiente comprende las condiciones para el buen funcionamiento de la tecnología en cuestión. Así definida, la noción de un sistema incluye la calificación «dentro de una determinada región de espacio y tiempo». Esta

importante cualificación implica que, al pensar en tecnologías reales, siempre debemos tener en cuenta su(s) ubicación(es) espaciotemporal(es).

Un sistema artifactual es un sistema que es el resultado de la intervención humana en el mundo material y social. Una interpretación mínima de la frase «es el resultado de» es que tales sistemas artificiales simplemente no existirían sin esta intervención de los seres humanos. En la práctica tecnológica, estas intervenciones suelen ser intencionadas, pero esto no es necesario en la interpretación mínima. Un sistema artifactual es funcional si su potencial para desempeñar algún papel destinado por uno o más agentes humanos, se puede realizar mediante la inserción del sistema en un entorno adecuado. Así, la noción de funcionalidad se refiere a la vez a las potencialidades de un sistema tecnológico, a la realizabilidad del sistema y las partes pertinentes de su entorno, y a las intenciones de uno o más agentes humanos (por ejemplo, responsables políticos, financistas, diseñadores, fabricantes o usuarios). Por consiguiente, este concepto no presupone una distinción de principios entre funciones «adecuadas» (las destinadas por los diseñadores) y funciones «inadecuadas» (las que pretenden otras personas). La frase "se puede realizar" significa que la tecnología en cuestión se puede realizar realmente en alguna región del espacio y el tiempo (tal vez todavía en el futuro). Este requisito de la realizabilidad efectiva de la función de una tecnología excluye las condiciones de realización que son puramente ficticias o meramente «en principio» e implica que «ser funcional» depende, en parte, de características específicas del medio ambiente.

Además, el sistema debe poseer un cierto grado de estabilidad. Es decir, debe ser capaz de realizar su función en una variedad de situaciones y durante un período sustancial de tiempo. Además, diferentes sistemas del mismo tipo deben poder presentar la misma función, es decir, el sistema debe ser reproducible. Por lo tanto, la noción de reproducibilidad también muestra la importancia de distinguir entre sistemas tecnológicos como muestras y sistemas tecnológicos del mismo tipo o de diferentes tipos. Como veremos, las nociones de estabilidad y reproducibilidad son cruciales para una comprensión adecuada de las tecnologías. Sin embargo, en las teorías filosóficas de la tecnología, a menudo se dan por sentados o no se tienen en cuenta en absoluto. A modo de ejemplo, considere una muestra de una lavadora. Este dispositivo en particular, constituye un sistema en el sentido de un agregado de partes que interactúan mutuamente. Por lo tanto, sus lados contienen el agua, mientras que parte del calor de esta agua calentará las otras partes. Dada la interpretación mínima de la

noción de sistema, dónde trazar el límite entre el sistema y el medio ambiente es una cuestión de enfoque pragmático. Es decir, dependiendo de nuestros propósitos, podemos definir el sistema tecnológico como más o menos inclusivo. Por lo tanto, aparte de la lavadora, este sistema puede incluir la toma de corriente o incluso la central eléctrica, la fábrica de polvo de lavado, y así sucesivamente. Por supuesto, estas diferentes definiciones del sistema irán junto con diferentes delineaciones del entorno correspondiente. La lavadora es obviamente artificial, ya que esta máquina no existiría sin la intervención humana. Su función más común es limpiar la ropa de las personas que la poseen o la utilizan, pero también podría ser utilizada principalmente como una mesa. Los diseñadores, fabricantes, propietarios y usuarios esperan que el dispositivo no se descompondrá permanentemente después de su primera ejecución, pero que funcionará de una manera estable durante algún período de tiempo. Cuánto tiempo exactamente no se puede arreglar de antemano, porque depende de la calidad de la construcción de la máquina y del entorno específico en el que se supone que funciona. Hasta ahora, hemos considerado una lavadora en particular, una muestra de esta tecnología. Por lo general, se están produciendo muchas máquinas similares del mismo tipo, y tanto los productores como los usuarios esperan que cada una de estas lavadoras del mismo tipo, funcionen de la misma manera y sean estables. Es decir, asumen la reproducibilidad de las muestras de esta tecnología.

¿Qué tan general es esta cuenta de la tecnología? ¿Cubre todas y cada una de las tecnologías que se nos ocurran? Por ejemplo, ¿es cada tecnología un sistema en el sentido de un agregado de partes que interactúan mutuamente? En principio, podemos imaginar casos límites de "tecnologías" que son de una sola pieza, es decir, sin partes. Sin embargo, también debemos darnos cuenta, de que a menudo es el caso de que las tecnologías que parecen homogéneas a primera vista, son en realidad el resultado de un proceso de composición artística. Por lo tanto, la taza de café y la cuchara en mi escritorio pueden mirar primero para ser homogéneo, pero la taza ha sido construida a partir de una serie de diferentes materiales sintéticos y la cuchara, de un número de metales diferentes. Mantener la taza como una configuración estable requiere una interacción continua entre sus componentes, y lo mismo se aplica a la cuchara. Además, ¿es una tecnología siempre artificial, en el sentido de ser hecha artísticamente por algún ser humano o seres? Una vez más, podría haber ejemplos raros de "tecnologías" que no son artificiales. Piensa en una piedra que es recogida para ser usada como arma. Por último, desde un punto de vista puramente lógico,

cabe cuestionar la necesidad de incluir la noción de reproducibilidad en nuestra caracterización de las tecnologías. Sin embargo, aunque no es lógicamente necesario, en la práctica real generalmente se considera deseable tener al menos la posibilidad de producir más de una muestra del mismo tipo de tecnología. En resumen, si bien la funcionalidad y la estabilidad son características necesarias de cualquier tecnología, las características del sistema, artefacto y reproducibilidad se aplican "casi universalmente", y sin duda, cubren los casos interesantes e importantes. Por lo tanto, las nociones de sistema, artefacto, funcionalidad, estabilidad y reproducibilidad son cruciales para una adecuada comprensión y evaluación de las tecnologías reales.

2.2 Cómo realizar y mantener las tecnologías

Hasta ahora, esta caracterización de las tecnologías es probablemente bastante plausible, pero también es bastante limitada. Por lo tanto, debe ampliarse significativamente planteando y respondiendo a las preguntas de cómo, dónde y cuándo podemos darnos cuenta y mantener tales (tipos de) sistemas artificiales y funcionales con un cierto grado de estabilidad y reproducibilidad. Hay dos problemas básicos que deben ser resueltos. En primer lugar, como indica la palabra «artificial», es necesario hacer técnicamente tecnologías que funcionen con arte. En primer lugar, tenerlos disponibles requiere una intervención humana activa. En segundo lugar, dado que el mundo puede, y a menudo lo hace, cambiar de manera sustancial en el transcurso del tiempo, mantener un sistema tecnológico estable y reproducible, también requiere una intervención humana activa. A veces esta intervención es a pequeña escala y rutinaria, más a menudo es elaborada y exige una atención continua. Es por eso que las tecnologías, si se espera que sigan funcionando, no pueden dejarse en sí mismas. ¿Cómo abordar estos dos problemas básicos? En primer lugar, necesitamos la capacidad de, literalmente, armar un sistema tecnológico que tenga el potencial de realizar la función requerida. Esto significa que necesitamos tener a nuestra disposición los materiales, recursos, habilidades y conocimientos que se requieren para diseñar, construir y utilizar el sistema tecnológico en primer lugar. En segundo lugar, dado que queremos que la tecnología sea estable y reproducible, necesitamos ejercer dicho control para mantener un sistema que funcione constantemente dentro de su dominio espacial previsto y durante el período de operación requerido. Una característica crucial de las tecnologías es que este control no debe aplicarse simplemente al sistema en cuestión, sino que debe extenderse a los aspectos pertinentes de su entorno. Como veremos con más detalle en la Sección 4, en este contexto,

"controlar" significa principalmente "estar seguros y, si es necesario, asegurarse" en lugar de "comprobar explícitamente". Volvamos a la lavadora para ilustrar este boceto de cómo podemos darnos cuenta y mantener una cierta tecnología (tipo de). Claramente, armar una lavadora requiere mucho conocimiento sobre una variedad de procesos necesarios para realizar la función. ¿Cómo hacer que el dispositivo sea resistente al agua y lo suficientemente fuerte, cómo para calentar el agua, cómo construir el centrifugado-secador, cómo programar todo el ciclo de lavado, y así sucesivamente? En la práctica tecnológica, a veces sólo tenemos conocimientos sobre la realización de estos procesos, a veces poseemos un conocimiento más detallado y explícito de dichos procesos. Por supuesto, el conocimiento como tal no es suficiente. También necesitamos tener a nuestra disposición los materiales para construir una lavadora que funcione. Esto incluye no sólo las partes del dispositivo en sí, sino también el agua, la energía eléctrica y el polvo de lavado. Además, necesitamos los recursos (como herramientas) y las habilidades para armar el dispositivo. Por último, con el fin de disponer de una lavadora estable y reproducible, deben cumplirse una serie de condiciones adicionales. En primer lugar, el suministro de agua limpia, energía eléctrica segura, polvo de lavado eficaz, y similares, así como debe garantizarse el drenaje de agua sucia. En segundo lugar, los usuarios de la máquina deben tener las habilidades necesarias para operarla. Esto puede requerir simplemente la capacidad de seguir las instrucciones del manual del usuario. Sin embargo, también puede incluir ajustar estas instrucciones a las circunstancias locales (por ejemplo, áreas de agua más duras o más blandas) o incluso inventar nuevas "instrucciones" para hacer frente a nuevos problemas locales. En tercer lugar, sólo se puede garantizar una cierta medida de estabilidad y reproducibilidad si hay suficientes instalaciones de mantenimiento y reparación especializadas. Vemos que es el requisito de estabilidad y reproducibilidad en particular, lo que exige una conexión entre nuestro sistema tecnológico y su entorno más amplio. Debido a que todo tipo de factores psicológicos, sociales y culturales pueden influir en la estabilidad y reproducibilidad de un sistema (tipo de), este entorno no es sólo un sistema ambiente físico. Si algunos usuarios se quedan desempleados, ya no pueden pagar su factura de electricidad y son cortados por la compañía de servicios públicos, su lavadora (muestra) ya no funcionará. O bien, si surge un estancamiento importante y duradero de los suministros de energía porque los recursos se han agotado y, por lo tanto, las centrales eléctricas enteras tienen que apagarse, la mayoría o todos los tipos actuales de lavadoras se volverán inútiles en términos de su función de limpieza. Otra conexión importante entre

un sistema tecnológico y su entorno más amplio, se deriva de la noción de función. En la práctica real, "funcionar" no es una cuestión de todo o nada, sino una cuestión de grado. Una tecnología puede funcionar perfectamente, lo suficientemente bien, sólo OK o mal, y así sucesivamente. Pero si una tecnología funciona perfectamente, lo suficientemente bien, sólo OK o mal, también depende de las características y requisitos del usuario (y por lo tanto en el entorno de la tecnología). Una radio portátil simple puede funcionar bien cuando proporciona música de fondo para una persona musicalmente no especializada, pero el mismo artefacto funciona mal para un conocedor que realmente tiene la intención de escuchar los detalles de una sinfonía compleja. Además, este ejemplo muestra que el funcionamiento de una tecnología también depende de la disponibilidad de alternativas, es decir, mejores o peores opciones existentes para realizar la misma función. En una situación en la que también está disponible un equipo estéreo de alta fidelidad, el funcionamiento de una radio portátil se evaluará de manera diferente a una situación en la que esta radio es el mejor ejemplo de función indicada que existe.

2.3 Algunas implicaciones filosóficas

Las implicaciones teóricas y prácticas de esta teoría con respecto a la cuestión de por qué las tecnologías son intrínsecamente normativas se discutirán en la Sección 4. Aquí se mencionará brevemente algunas otras implicaciones filosóficas. En primer lugar, los sistemas tecnológicos son, por definición, materiales. Esto excluye los sistemas de entidades no materiales (como las instituciones), que a veces se denominan "tecnologías sociales". En términos más generales, creo que debemos resistirnos a la tendencia a llamar a cualquier procedimiento orientado a objetivos (como, por ejemplo, "dar un comando" o incluso "interpretar un poema") una "tecnología", por la sencilla razón de que esto haría de casi cualquier cosa una tecnología y, por lo tanto, socavaría la utilidad de la propia noción de tecnología. A continuación, el enfoque en los sistemas artificiales también diferencia la teoría de los relatos de la tecnología en términos de conocimiento, es decir, la tecnología como los logotipos de techne (véase [Layton, 1974; Mitcham, 1994, Capítulo 8]). La teoría de la tecnología presentada aquí reconoce explícitamente la importancia del conocimiento tecnológico (tanto el saber-cómo como el saber-que), sin embargo, su enfoque principal es la realización de sistemas funcionales y artísticos con un cierto grado de estabilidad y reproducibilidad. Además, las conexiones estructurales entre el sistema y el medio ambiente, incluido el entorno social, implican que no existe un contraste fundamental entre las denominadas

«tecnologías independientes» (por ejemplo, una bicicleta) y los «sistemas de infraestructura a gran escala» (por ejemplo, el sistema de transporte de automóviles), en el sentido de que sólo el segundo sería un sistema «socio-técnico», mientras que el primero sería un artefacto «no social». Sin embargo, el énfasis en la importancia de las condiciones sociales para el buen funcionamiento de las tecnologías no significa que la "tecnología" y la "sociedad" estén inextricablemente entrelazadas en una "web sin costuras". A este respecto, sigo la crítica contundente de la supuesta inextricabilidad de esta web en [Gingras, 1995]. Después de todo, el objetivo de la teoría tecnológica propuesta es hacer distinciones útiles entre determinados sistemas materiales y las partes pertinentes de su entorno material, por un lado, y sus condiciones y efectos sociales específicos, por otro. Por último, el enfoque en la realización y sus condiciones sociales no implica una interpretación anti-realista del funcionamiento de las tecnologías, que es la visión habitual en los enfoques constructivistas sociales de la tecnología (por ejemplo, [Bijker, 1995]). Como en el caso de la ciencia experimental, las potencialidades que permiten la realización estable y reproducible de una tecnología pueden explicarse en un sentido realista como independiente del ser humano, es decir, como no ser construidas por la intervención humana y las prácticas sociales (véase [Radder, 1996, Cap. 4]).

Como se hará más claro en el transcurso del presente escrito, la teoría de la tecnología propuesta tiene como objetivo integrar, en los términos de Carl Mitcham, elementos tanto de la ingeniería como de la tradición de las humanidades en la filosofía de la tecnología (véase [Mitcham, 1994]). Por un lado, explica lo que significa diseñar y hacer tecnologías de trabajo. Por otro lado, reflexiona sobre el tipo de mundo que está implícito y requerido para que estas tecnologías funcionen.

3 NORMATIVIDAD

La segunda noción clave que debe explicarse, dado el tema desarrollado, es la noción de normatividad. Aunque el término normatividad se utiliza a menudo en la literatura académica, su significado no es muy claro. Como una especie de término de jerga, denota más o menos algo así como "el tema de las normas" o "el papel de las normas" o, aún más vagamente, "cuestiones que tienen que ver con las normas". Por razones de conveniencia, también utilizaré el término normatividad en este sentido, ciertamente vago. Sin embargo, necesitamos además, una caracterización más precisa de la noción más básica de

"norma" y del adjetivo correspondiente "normativo". En esta sección, se discutirá, en primer lugar, de manera general, la cuestión de la naturaleza y el papel de las normas. La siguiente sección, entonces, se centrará en la normatividad tecnológica y abordará nuestra pregunta principal de por qué las tecnologías son inherentemente normativas.

En el nivel más básico, una norma es una directiva socialmente integrada sobre lo que la gente debe (o no debe) decir o hacer. Un fraseo algo más débil de la misma idea, es que las normas pertenecen a aquellas acciones y afirmaciones que se consideran deseables (o indeseables). Las acciones y afirmaciones a las que pueden aplicarse las normas se consideran accesibles al público. La incorporación social implica que de no seguir la(s) norma(s) aceptada(s), puede dar lugar a algún tipo de sanción(es). (Aunque la teoría de la tecnología que se presenta en este escrito, difiere de las opiniones de Jürgen Habermas en aspectos importantes, la primacía de las acciones y afirmaciones accesibles al público y la inclusión de la noción de incrustación social están en consonancia con su enfoque de la cuestión de la normatividad. Por ejemplo, Habermas [1971, p. 92] establece que las normas "definen las expectativas recíprocas sobre el comportamiento y . . . debe ser entendido y reconocido por al menos dos sujetos en funciones. Las normas sociales se aplican a través de sanciones. Su significado se objetiviza en la comunicación del lenguaje ordinario". Algunos filósofos aplican las normas a las creencias y deseos privados, además de las creencias y deseos expresados públicamente. Debido a sus presunciones racionalistas o moralistas, esta extensión de la normativa del dominio público al ámbito privado está destinada a ser impugnable.) A continuación, el adjetivo «normativo» puede definirse como «implicar una o más normas». (Por lo tanto, las declaraciones normativas son declaraciones sobre lo que uno debe (o no) hacer o decir. Otra opción es llamar a las declaraciones normativas en el sentido anterior "prescriptivas" y luego incluir declaraciones prescriptivas y evaluativas en la clase de declaraciones normativas. Este es el enfoque elegido por Maarten Franssen. Aunque prefiero mantener una distinción conceptual y empírica entre normas y evaluaciones, en principio ambas opciones son posibles desde el punto de vista terminológico. Dado que el enfoque de Franssen, asigna primacía a las declaraciones evaluativas sobre artefactos (las declaraciones prescriptivas, se afirma, sigue y sigue de las declaraciones evaluativas), los dos capítulos son a este respecto complementarios.) Por definición, las normas aceptadas presuponen juicios de valor (positivos) de las (objetivos) acciones que debemos realizar y de las

afirmaciones (significado de las) que debemos hacer. Por lo tanto, la norma que no debemos decir mente claramente, presupone que "hablar la verdad" se considera un valor positivo. En cuanto a la relación inversa, es importante darse cuenta de que en la práctica, el mismo valor puede conducir a recomendaciones normativas bastante diferentes. La mayoría de la gente respaldará el valor de la integridad científica pero, sin más especificaciones, esto no nos dice qué normas esto implica para la dirección de la práctica científica (para más información sobre los valores, véase Van de Poel mas adelante).

3.1 Normatividad en la práctica

Además de estas definiciones básicas, necesitamos una explicación adicional de la naturaleza de las normas y del papel que desempeñan en la práctica real. En primer lugar, desde una perspectiva teórica podemos distinguir entre diferentes tipos de normas: normas epistémicas («el buen conocimiento debe ser explicativo»); normas metodológicas («la investigación médica debe utilizar el enfoque doble ciego»); normas tecnológicas («un buen dispositivo debería ser eficiente»); normas sociales ('cuando te presentas, debes estrechar la mano'); políticas («todos los gobiernos deben ser controlados democráticamente») y normas morales («nadie debe matar animales sin ninguna razón en particular»). Sin embargo, en la práctica, clasificar las normas en tipos puede ser menos sencillo. ¿Por qué el requisito de la investigación de doble ciego es metodológico y no epistémico? ¿Es la norma de la democracia puramente política, o bien puede clasificarse como social o moral? Además, en la práctica, a menudo se entrelazan diferentes tipos de normas. Científicos médicos que siguen la metodología de la investigación doble ciego al mismo tiempo actúan de acuerdo con las normas sociales de su profesión. Por lo tanto, distinguir diferentes tipos de normas puede ser útil desde una perspectiva teórica, pero no siempre reflejará las formas en que las normas se están empleando en la práctica. Una segunda cualificación se refiere al alcance de las normas. Supongamos que tenemos la norma que 'la gente debe hacer o decir x'. Entonces el alcance de esta norma puede variar por dos razones. El número de personas que son, o se puede esperar que se enfrentan a x puede variar, o el número de veces que ocurre x, o se puede esperar que ocurra, puede variar. Por lo tanto, una norma puede tener un alcance grande, moderado o pequeño. "Uno debe respetar la dignidad de otras personas" está destinado a aplicarse a todos los seres humanos en todas las situaciones en las que se encuentran con sus semejantes. En cambio, el alcance de «en situación S un científico social debe utilizar el método estadístico m» puede ser bastante limitado, en particular

cuando la situación no se presenta con mucha frecuencia. En relación con la variedad de alcance, la importancia atribuida a una norma en particular y las sanciones que pueden aplicarse a las personas que no están a la calidad de ella, también pueden diferir sustancialmente. En tercer lugar, las normas pueden ser explícitas o implícitas. En los ejemplos anteriores, todas las normas se formularon explícitamente. Sin embargo, a menudo, formulamos las cosas de una manera más implícita. Así, en determinados contextos se podría decir: «en los Países Bajos nos damos la mano a la hora de presentarnos» o «su diseño no es muy eficiente». Por lo general, en tales contextos será lo suficientemente claro como para que esas frases estén destinadas a ser normativas. Sin embargo, las normas también pueden estar implícitas en un sentido más profundo. Las ilustraciones importantes son las normas que están implícitas en un vocabulario prevaleciente o en una práctica estándar. Por lo tanto, los debates políticos pueden enmarcarse de tal manera que la "democracia representativa" es la única noción legítima de democracia. O los científicos médicos pueden apoyar implícitamente el método de doble ciego en su práctica como el único método correcto para probar hipótesis. En ambos casos, una reclamación normativa es operativa, lo que también tiene el efecto de excluir reclamaciones o acciones alternativas. Una tarea crítica importante de la filosofía siempre ha sido desenterrar normas tan profundas e implícitas que están ocultas en vocabularios y prácticas rutinarias dominantes.

Cuarto, es obvio que las normas no siempre se obedecen. Esto también sucede en el caso de normas que son ampliamente aceptadas dentro de una determinada práctica o cultura. Sin embargo, aunque las normas pueden ser impugnadas, cambiadas o abolidas, también poseen un carácter regulativo y no son rechazadas inmediatamente ante el comportamiento de ruptura de normas. Lo que es más, la posibilidad (y probablemente incluso la realidad) de ir en contra de una norma parece ser una de sus características esenciales. Además, las normas que no se siguen tienen consecuencias empíricas. Después de todo, el ladrón prefiere trabajar por la noche y en cualquier caso intenta ocultar o evitar todos los rastros que puedan conducir a su exposición. Por lo tanto, sería erróneo concluir que las normas que no se siguen no existen o son intrascendentes en la práctica, porque no se están siguiendo. Por último, incluso si las normas se acuerdan generalmente, no determinan lo que la gente real dirá o hará en situaciones reales. Esto es cierto por (al menos) dos razones. La primera es que una norma en sí misma no nos dice si y cuando se aplica. Considere la norma que al introducirse, uno debe estrechar la mano. La

aplicación o no de esta norma depende en gran medida del contexto: del tamaño del grupo, de la naturaleza de la interacción social, del país en el que se vive, etc. Una historia similar tiene por 'no te detendrás'. En casos de guerra y defensa propia, ¿podemos hablar de matar en el sentido de la norma? El argumento general es que el establecimiento de si se aplica o no una norma requiere o no un juicio contextual que tenga en cuenta todos los aspectos relevantes de la situación (véase Pritchard). Otra razón por la que las normas no determinan el comportamiento es la siguiente: en la práctica, a menudo es el caso de que diferentes normas son operativas, que recomiendan acciones o afirmaciones que no se pueden hacer o hacer simultáneamente. No mentir requeriría decir siempre la verdad, pero no ofender a la gente implica innecesariamente que hablar la verdad no siempre es apropiado. Una vez más, la norma que se seguirá en estos casos depende en gran medida del contexto. Una conclusión general, en particular de los dos últimos puntos, es que las normas no determinan todos y cada uno de los detalles de lo que la gente de hecho dice y hace. Sin embargo, las normas aceptadas son claramente operativas en el sentido de guiar una práctica o cultura de una manera específica, en menor o mayor medida. Sin estas normas, la práctica o la cultura serían diferentes de lo que en realidad es.

4 POR QUÉ LAS TECNOLOGÍAS SON INTRÍNSECAMENTE NORMATIVAS

Habiendo explicado las características básicas de la tecnología y la normatividad, ahora abordaremos su relación. En vista de su amplia gama y su enorme impacto, cabe esperar que las tecnologías estén relacionadas con cuestiones normativas de innumerables maneras. No es el objetivo de este escrito, abarcar todas estas diferentes cuestiones normativas. En cambio, el enfoque se centra en la normatividad inherente de las tecnologías y el propósito de esta sección es explicar por qué todas las tecnologías son inherentemente normativas. Dada la cuenta de la tecnología, las normas y las reivindicaciones normativas en las secciones anteriores, una tecnología es inherentemente normativa si su realización implica una o más normas o afirmaciones normativas sobre qué decir o hacer. Las tecnologías que son normativas, pero no intrínsecamente, se denominarán contingentemente normativas. Aunque de vez en cuando se va a señalar la normatividad de las afirmaciones, en lo que sigue el enfoque se centrará en las afirmaciones normativas sobre qué hacer. En términos abstractos, el argumento de la alegación de que las tecnologías son intrínsecamente normativas es relativamente sencillo. En la Sección 2 hemos visto que las tecnologías pueden caracterizarse como sistemas funcionales y artísticos con cierto grado de estabilidad y reproducibilidad, y hemos discutido

los temas en juego en la realización de dichas tecnologías. Además, hemos establecido el papel crucial del entorno (material, psicológico, social o cultural) en la realización de las tecnologías de una manera estable y reproducible. Una conclusión importante de este análisis teórico es que el diseño, fabricación, uso y mantenimiento exitosos de una tecnología requiere una intervención específica y un control del entorno material, psicológico, social o cultural en el que se supone que funciona la tecnología.

Más concretamente, se deduce que las tecnologías son intrínsecamente normativas, porque su realización estable y reproducible en alguna región del espacio y el tiempo requiere que las personas de esa región se comporten de tal manera, que permitan, y no perturben, el funcionamiento previsto de la tecnología. Como hemos visto en la Sección 2, la parte relevante del medio ambiente comprende las condiciones para el buen funcionamiento de una tecnología. Esto implica que ciertos comportamientos de todas las personas que están, o podrían estar, presentes en esa parte del medio ambiente son necesarios, mientras que otros comportamientos están prohibidos. El punto es que no podemos simplemente asumir que esos comportamientos serán, y seguirán siendo, mostrados. Tenemos que tener en cuenta el hecho de que la parte relevante del mundo, incluyendo los comportamientos de los seres humanos, está, o puede ser, cambiado en cualquier momento. Por esta razón, un funcionamiento exitoso de una tecnología requiere un control de esos comportamientos.

La afirmación de que las tecnologías son intrínsecamente normativas es en parte teórica, es decir, derivada de la caracterización teórica de las tecnologías como sistemas funcionales y artificiales con cierto grado de estabilidad y reproducibilidad. En parte, la afirmación es empírica, porque la normatividad inherente de las tecnologías es necesaria por la modificabilidad real del comportamiento de los seres humanos en la parte relevante del entorno del sistema tecnológico.

Por lo tanto, deben cumplirse las condiciones para la realización exitosa de una tecnología. Es importante ver que este "cumplirse" es realmente una norma, por dos razones diferentes. En primer lugar, como hemos visto, las normas presuponen valores y el objetivo de seguir las normas es contribuir a la consecución de estos valores. Por lo tanto, darse cuenta de las condiciones para el éxito tecnológico es normativo porque contribuye al valor de tener una tecnología que funcione bien. En segundo lugar, también puede darse el caso de

que la realización de estas condiciones se considere normativamente indeseable, porque choca con otros valores, más pesados, sociales o morales. Volveremos a tratar estos problemas en la Sección 4.2.

Además, de esta explicación del argumento de la normatividad inherente de las tecnologías, es crucial ver lo que no está implícito en este argumento. Como cabe esperar en el caso de un argumento para la normatividad inherente de las tecnologías, el argumento es de carácter general: explota una caracterización general de lo que significa tener una tecnología en funcionamiento, se basa en una comprensión empírica general de la complejidad y variabilidad de nuestro mundo material y social, y su conclusión es un requisito normativo general sobre el comportamiento de los grupos de personas. Sin embargo, si una tecnología en particular puede o no ser (en su totalidad o parcialmente) realizada con éxito es un asunto contingente. Lo mismo se aplica a la cuestión de qué comportamiento específico se considera que es normativamente requerido para esta tecnología. Un punto similar se refiere a la cuestión de quién ejerce el control requerido: puede ser incorporado explícitamente en la realización general de la tecnología por los diseñadores, o puede ser una cuestión de autocontrol por parte de sus usuarios, o puede explotar el control que ya se ha realizado por alguna otra razón, y así sucesivamente. En resumen, en cualquier caso particular es una cuestión contingente si las personas involucradas seguirán o no las normas requeridas, cuál será el contenido específico de estas normas y cómo se realizará el comportamiento requerido en la práctica. Estas cuestiones prácticas no se corrigen mediante el argumento general y deben estudiarse empíricamente centrándose en las prácticas tecnológicas pertinentes. En las siguientes partes de esta sección, se centrará el debate en cuatro puntos de vista más específicos que son directamente relevantes para la cuestión de la normatividad inherente de las tecnologías. Este enfoque sirve para varios propósitos. En primer lugar, concreta y desarrolla una argumentación bastante abstracta presentada hasta ahora: ¿qué significa, en términos concretos, decir que «las personas de la parte pertinente del entorno de un sistema tecnológico deben comportarse de tal manera que permitan, y no perturben, el funcionamiento previsto de la tecnología»? Además, ilustra los diferentes aspectos del papel de las normas, tratados en la Sección 3, para el caso de la práctica tecnológica. Al mismo tiempo, este enfoque se ajusta a la idea de proporcionar una exposición y discusión de cuatro enfoques diferentes a la filosofía de la tecnología y su relevancia para las cuestiones de la tecnología y la normatividad. Los cuatro enfoques, que en su mayoría se han

desarrollado independientemente entre sí, están organizados en orden cronológico. En cada caso, primero presentaremos estos enfoques en sus propios términos. A continuación, discutiremos brevemente algunos de sus méritos y problemas. Y finalmente investigaremos lo que implican para la cuestión de la normatividad inherente de la tecnología.

4.1 Artefactos contingentes e inherentemente políticos

La primera vista es la de Langdon Winner. En un artículo conocido, expone y defiende la afirmación de que los artefactos tecnológicos tienen política. Más adelante en esta sección, explicaremos la relación entre política y normatividad. Pero primero se debe presentar y discutir la afirmación de Winner en detalle. Al comienzo de su trabajo, Winner explica su punto básico de la siguiente manera.

Se trata de la afirmación de que las máquinas, estructuras y sistemas de la cultura material moderna pueden ser juzgados con precisión no sólo por sus contribuciones a la eficiencia y la productividad y sus efectos secundarios ambientales positivos y negativos, sino también por las formas en que pueden encarnar formas específicas de poder y autoridad. [Winner, 1986, pág. 19]

Subraya que son los artefactos tecnológicos en sí mismos, y no sólo sus entornos sociales o económicos, los que pueden tener propiedades políticas [Winner, 1986, p. 20]. Si bien todo el mundo podría ponerse de acuerdo en el segundo, es el primero el punto crítico. Winner distingue dos formas en que los artefactos tecnológicos pueden ser políticos. Las tecnologías del primer tipo pueden llamarse contingentemente políticas, en contraste con las tecnologías inherentemente políticas. Dado que el fraseo de las reivindicaciones y la distinción entre los dos tipos de tecnologías políticas es bastante importante, cito el pasaje pertinente en su totalidad. En primer lugar, se encuentran los casos en los que la invención, el diseño o la disposición de un dispositivo o sistema técnico específico se convierte en una forma de resolver un problema en los asuntos de una comunidad en particular. Vistos a la luz adecuada, ejemplos de este tipo son bastante sencillos y fáciles de entender. En segundo lugar, los casos de lo que se puede llamar "tecnologías intrínsecamente políticas", sistemas artificiales que parecen requerir o ser fuertemente compatibles con determinados tipos de relaciones políticas. Los argumentos sobre casos de este tipo son mucho más problemáticos y están más cerca del corazón del asunto. [Winner, 1986, pág. 22] La naturaleza política de las tecnologías del primer tipo se debe a sus consecuencias. Una vez realizadas, estas tecnologías pueden tener

implicaciones específicas y duraderas para las formas en que los diferentes grupos de personas viven sus vidas. Aquí Winner introduce una distinción adicional. En algunos casos, las tecnologías pueden diseñarse intencionalmente teniendo en cuenta los efectos políticos. Sin embargo, Winner destaca, que muchos de los casos más importantes de tecnologías políticas están arraigados en un proceso social en curso que no es el resultado de una política consciente de cada pueblo. El caso más citado es el ejemplo de las implicaciones políticas intencionales de Winner. Observa que muchos de los puentes sobre las vías verdes de Nueva York en Long Island son inusualmente bajos. Estos puentes fueron diseñados en la década de 1930 por Robert Moses, uno de los planificadores y constructores de ciudades más influyentes de Nueva York desde la década de 1920 hasta la década de 1970. La explicación de Winner es que los puentes fueron construidos intencionalmente tan bajo por Moses con el fin de excluir los autobuses, que son demasiado altos para caber debajo de los puentes, de estas rutas de Long Island. El punto político es que estos puentes bajos limitaban el acceso de los pobres y negros, que no tenían automóviles y solían viajar en transporte público en autobús, a la playa de Jones, un parque público favorito destinado a las clases blancas, altas y medias altas. Así, los pasos elevados concretos «inocentes» encarnaban un «sesgo de clase social y prejuicio racial en forma física» [Winner, 1986, págs. 22-23]. La cosechadora mecánica de tomates ejemplifica un caso de una tecnología en la que los efectos políticos no fueron planeados conscientemente por sus diseñadores. Sin embargo, este dispositivo —o mejor aún, una serie cada vez mejor de versiones del mismo— conllevaba consecuencias políticas significativas que encajan perfectamente en un patrón social más amplio. Por lo tanto, en las zonas rurales de California, la introducción a gran escala de cosechadoras mecánicas de tomate produjo un aumento en la producción y los beneficios causando una fuerte disminución del número de productores. Al mismo tiempo, provocó la quiebra de un gran número de productores más pequeños y la pérdida de muchos puestos de trabajo en la industria del tomate.

Winner destaca que, en los casos discutidos hasta ahora, las consecuencias políticas estaban supeditadas, es decir, no fueron dictadas por los requisitos tecnológicos de estos (tipos de) artefactos como tales. Un diseñador diferente podría haber construido un tipo más alto de puente (una contingencia en el diseño); y en una situación sin pequeños productores y sin una importante industria del tomate (una contingencia en las condiciones de producción), los efectos políticos de la introducción de cosechadoras mecánicas de tomate

habrían sido diferentes. En el caso del segundo tipo de tecnologías políticas la situación es diferente. Aquí, se afirma que los artefactos tecnológicos son inherentemente políticos. Una vez más, Winner distingue dos versiones de este tipo.

Una versión afirma que la adopción de un sistema técnico determinado requiere realmente la creación y el mantenimiento de un conjunto particular de condiciones sociales como entorno operativo del sistema. [. . .] Una segunda versión, algo más débil, del argumento sostiene que un determinado tipo de tecnología es fuertemente compatible con, pero no requiere estrictamente, relaciones sociales y políticas de una franja en particular. [Winner, 1986, pág. 32]

La "requiere" de la primera versión es una cuestión de juicios de necesidad práctica. Por lo general, se considera que el funcionamiento eficaz, eficiente y seguro de grandes veleros, ferrocarriles, centrales nucleares y similares depende de una organización social centralizada y autoritaria concomitante. Del mismo modo, la "fuerte compatibilidad" entre una tecnología determinada y un entorno político específico es de nuevo una cuestión de juicio práctico en un contexto social determinado. Por lo tanto, muchas personas consideran que la energía solar es mucho más fácilmente compatible con las formas democráticas y locales de organización social que otras formas de producción de energía.

4.1.1 Algunas críticas del SCT y su refutación

Tanto en filosofía de la tecnología como en estudios de ciencia y tecnología (brevemente, SCT) la afirmación de Winner de que los artefactos tienen política a menudo ha sido discutida, a veces con aprobación y a veces críticamente. En algunos casos, el vínculo con la argumentación de Winner es bastante débil. Por lo tanto, Joseph Pitt critica las opiniones de Winner y afirma que "las herramientas y los sistemas técnicos son intrínsecamente e ideológicamente neutrales" [2000, p. 72], pero no aborda los argumentos específicos de Winner sobre la naturaleza inherentemente política de los artefactos tecnológicos. Artículo de Jane Summerton "¿Tienen los electrones la política? Construyendo identidades de usuario en electricidad sueca" [Summerton, 2004] tampoco discute la cuenta de Winner, a pesar de lo que se sugiere en el título de su artículo. En particular, este documento deja sin estar claro el sentido en que las identidades de usuario construidas socialmente (la política) son requeridas por las configuraciones específicas de electrones que

atravesan los cables eléctricos y dispositivos eléctricos suecos (los artefactos). Sin embargo, algunos otros autores de SCT, han abordado las opiniones de Winner más de frente, y han sacado una serie de conclusiones bastante críticas. En esta sub-sección, se describe brevemente y se evalúa dos ataques agudos contra la afirmación de Winner de que los artefactos tienen política: uno de Bernward Joerges y uno estrechamente relacionado de Steve Woolgar y Geoff Cooper. En conjunto, estas críticas pueden resumirse en cuatro afirmaciones, algunas relativas a los ejemplos discutidos por Winner y otras relacionadas con su argumentación general. Los comentarios críticos se centran en la cuenta del ganador de los puentes de Moses. El primero y principal punto es que los puentes bajos no impidieron en absoluto a los negros y pobres de visitar las playas de Long Island. De hecho, se afirma que estas playas eran accesibles tanto a través de rutas alternativas de coches como, lo que es más importante, a través del transporte público alternativo en autobús y en tren. Joerges concluye que la historia del puente es "contrafactual" [1999a, p. 411] y "un poco de estafa" [1999b, p. 451]; y según Woolgar y Cooper [1999, pp. 442-443], su 'contraevidencia' ha demostrado que "el ejemplo es simplemente incorrecto". Un segundo punto de discordia se refiere a las intenciones que Moses tenía en la construcción de sus vías verdes y puentes. ¿Diseñó intencionalmente estas vías verdes y puentes fuera de los prejuicios de clase social y los prejuicios raciales? Joerges [1999a, p. 418] afirma que Moses "nunca persiguió esquemas explícitamente racistas" y sugiere interpretaciones alternativas para el caso en cuestión, que él afirma que son más plausibles. Los dos últimos puntos son más generales. El tercer punto cuestiona la noción de "las consecuencias de una tecnología". Como indica el título de su artículo, Woolgar y Cooper enfatizan fuertemente la ambivalencia de los artefactos tecnológicos. En particular, afirman que las tecnologías no tienen "consecuencias definitivas" sobre las que se podría contar una "historia definitiva" (como la de Winner). El cuarto y último punto es una crítica de la afirmación general de Winner de que los artefactos tienen política. Por lo tanto, Joerges afirma haber demostrado que "lo que Winner afirma sobre los artefactos técnicos es dudoso para cualquier artefacto técnico, no sólo para los puentes bajos de Moses" [Joerges, 1999b, p. 450]. Del mismo modo, Woolgar y Cooper afirman que, dependiendo de la historia que se está conteniendo, "la tecnología ... hace y no tiene política" [Woolgar y Cooper, 1999, p. 443]. Permítanme ahora evaluar estas críticas sobre la base del relato de las opiniones de Winner presentada en la primera parte de esta sección. El núcleo del primer punto de la crítica es que los puentes bajos no impidieron que los pobres y negros accedieran a las playas, debido a la

disponibilidad de formas alternativas de llegar allí. Sin embargo, este hecho como tal, es totalmente compatible con las declaraciones de Winner, como muestra una lectura precisa de los pasajes pertinentes. Por lo tanto, Winner afirma que los puentes bajos limitan el acceso a las playas o, en general, que las tecnologías influyen en la forma de vida de las personas involucradas [Winner, 1986, p. 23 y p. 28]. Habida cuenta de estas afirmaciones, un debate sensato (principalmente empírico) podría centrarse en el grado de limitación y el tipo de influencia que, dado el entorno específico, conlleva las tecnologías objeto de debate. Los críticos de Winner, en cambio, basan su ataque en la mala interpretación de que los puentes impidieron completamente el acceso a las playas, que uno tenía que utilizar las rutas de los puentes bajos. El punto es importante porque, como muestra el fraseo cuidadoso de Winner, el mundo de la tecnología no es un mundo de regularidades universales.

El segundo punto de crítica cuestiona el relato de Winner sobre las intenciones de Moses. Por supuesto, no siempre es fácil establecer las intenciones de alguien, ciertamente no en el caso de las figuras históricas. Sin embargo, es posible hacer argumentos de verosimilitud. En este sentido, mi opinión es que el caso necesita más investigación. Por un lado, hay algunas pruebas de las intenciones racistas de Moses; por otro, merece la pena explorar la interpretación alternativa de Joerges de Moses como promotor de la sociedad automovilística o incluso como ecologista temprano [1999a, pp. 416-420], aunque no es (todavía) plausible tal como está. Pero incluso si la interpretación de Joerges resultara plausible en una inspección más detallada, es importante ver que el alcance de su crítica es bastante limitado. En primer lugar, dado que sus interpretaciones no parecen ser incompatibles, Joerges y Winner pueden tener razón. En segundo lugar, y lo que es más importante, Winner insiste repetidamente en que, en el caso de los artefactos políticamente políticos, las consecuencias políticas más significativas y que ocurren con mayor frecuencia no son el resultado de las intenciones de uno o unos pocos diseñadores individuales. El tercer punto expuesto, en particular por Woolgar y Cooper, es que las tecnologías no tienen consecuencias definitivas. En la medida en que este punto está destinado a seguir el uso de "consecuencias políticas" por parte de Winner, y por lo tanto se aplica a las tecnologías políticas contingentemente, es totalmente compatible con el punto de vista de Winner, e incluso se declara explícitamente por sí mismo. En todos los casos citados anteriormente [incluido el caso de los puentes bajos], las tecnologías son relativamente flexibles en diseño y disposición y son variables en sus efectos. Aunque uno puede imaginar

un resultado particular, producido en un entorno particular, también puede imaginar fácilmente cómo un dispositivo o sistema más o menos similar podría haber sido construido o situado con consecuencias políticas muy diferentes. [Winner, 1986, pág. 29] Además, en ningún momento del texto de Winner se puede encontrar incluso una sugerencia de que ve su historia como 'definitiva'. En cuanto a la crítica de Woolgar y Cooper está destinada a aplicarse a cualquier tecnología, nos lleva al punto final. Este punto final es una crítica general de la afirmación general de que los artefactos tecnológicos tienen política. Aquí, sin embargo, el hecho desconcertante es que ninguno de los críticos ha abordado, y mucho menos refutado, la afirmación central de Winner. Se han centrado en lo que Winner designa como la versión menos significativa del tipo menos interesante de sus reclamos. Es decir, apenas han mencionado el caso de artefactos contingentemente políticos no intencionados y han ignorado por completo los casos fuertes de artefactos inherentemente políticos. Por lo tanto, sus críticas generales no están justificadas.

4.1.2 La normatividad inherente de los artefactos políticos

La conclusión es que las críticas SCT a la posición de Winner son superficiales y, en su mayor parte, intrascendentes. Por lo tanto, tiene sentido proceder y examinar la conexión entre el relato de Langdon Winner sobre la naturaleza política de los artefactos y la cuestión de la normatividad inherente de las tecnologías. ¿En qué sentido se puede decir que los artefactos políticos son (inherentemente) normativos? La respuesta es diferente para los dos tipos de tecnologías políticas. En el caso de la primera versión de las tecnologías inherentemente políticas, la conexión con la normatividad es sencilla. Dada la elección de una tecnología en particular (por ejemplo, un sistema ferroviario a gran escala), también debe crearse y mantenerse la organización social necesaria como entorno operativo del sistema (una estructura organizativa centralizada). En el caso de la segunda versión, la relación es menos directa. La "fuerte compatibilidad" entre un tipo de artefacto y algún tipo de acuerdo sociopolítico no requiere estrictamente la realización de este acuerdo. En un sentido más débil, se puede decir que tales artefactos sugieren o refuerzan la disposición. El caso de los artefactos políticos contingentemente es diferente. Estos artefactos tienen efectos políticos particulares, pero sus consecuencias normativas dependerán de los detalles del contexto. Por lo tanto, estas tecnologías claramente no son inherentemente normativas. Los puentes bajos de Nueva York están condicionados contingentemente a la norma de que no se debe permitir a los pobres y negros en las playas de Long Island. Del mismo modo, la

cosechadora de tomate está contingentemente relacionada con la norma de que el valor económico de una producción cada vez más eficiente debe prevalecer sobre el valor social de mantener el empleo.

4.2 Sistemas cerrados y sus implicaciones normativas

En la sección 2, se caracterizó una tecnología como un sistema artificial y funcional con cierto grado de estabilidad y reproducibilidad. Una tecnología de trabajo debe poseer cierto grado de estabilidad y reproducibilidad. El objetivo de esta sección es analizar este requisito con más detalle y explicar sus implicaciones normativas. Como hemos visto, mantener un sistema tecnológico estable y reproducible requiere el control tanto del sistema como de los aspectos relevantes de su entorno. La naturaleza y las implicaciones de este control pueden analizarse con más detalle con la ayuda de la noción de la 'cercanía' del sistema tecnológico como una condición necesaria importante para lograr la estabilidad y reproducibilidad. Por lo tanto, el enfoque de esta sección se centra en las implicaciones normativas del cierre tecnológico. Esto conduce a un enfoque que es similar en espíritu, pero más detallado que (y distinto en el contenido de) la cuenta de Winner. Dada la variabilidad de nuestro mundo material y social, la estabilidad y reproducibilidad no vienen automáticamente, sino que nos obligan a cerrar el sistema tecnológico mediante el control de las interacciones relevantes entre este sistema y su entorno. En escritos anteriores, se analizó estas interacciones para iluminar las relaciones conceptuales-teóricas y empíricas entre la ciencia y la tecnología (experimentales). Aquí se explota este análisis con el fin de abordar la cuestión de la normatividad inherente de la tecnología. Como hemos visto, podemos distinguir tres tipos básicos de interacciones entre el sistema tecnológico y su entorno: interacciones requeridas, prohibidas y permitidas. Las interacciones necesarias deben producirse y mantenerse activamente para permitir la estabilidad y reproducibilidad de la tecnología. Las interacciones prohibidas son aquellas interacciones que perturbarían el funcionamiento estable y reproducible de la tecnología en cuestión, y por lo tanto, tales interacciones, de tener lugar, deben ser eliminadas o imprevistas. Por último, las interacciones permitidas se producen, o pueden, pero no tienen ninguna influencia (habilitante o perturbadora) en el funcionamiento estable y reproducible de la tecnología. Por lo tanto, la realización y el mantenimiento de una tecnología de trabajo requiere el poder y el control para llevar a cabo las interacciones requeridas y para eliminar o prevenir las interacciones prohibidas.

Podemos resumir esta cuenta, definiendo un sistema tecnológico cerrado como un sistema para el cual se han realizado y mantenido las interacciones requeridas, y para el cual las interacciones prohibidas se han eliminado o impedido. Dado que la cercanía es necesaria para el funcionamiento estable y reproducible de una tecnología (en una determinada región del espacio y el tiempo), si queremos tener una tecnología de trabajo, tenemos que ser capaces de cerrar el sistema tecnológico en esa región. . (En teoría, uno podría pensar en la posibilidad de cerrar un sistema transformando todas las interacciones prohibidas en las permitidas. En la práctica esto no es posible, sin embargo, debido a la complejidad fundamental y la variabilidad de los procesos materiales y sociales que tienen lugar en los entornos en los que se supone que funciona una tecnología. Es decir, no existen tecnologías estrictamente infalibles. Por supuesto, esto no excluye la posibilidad de transformar un sistema tecnológico en particular, en uno más estable cambiando algunas interacciones prohibidas en las permitidas. Un ejemplo interesante es la reciente investigación sobre los "materiales de auto-curación". En el caso del hormigón armado, por ejemplo, la intrusión de agua puede cambiarse de una interacción prohibida a una interacción permitida mediante la adición de ciertas bacterias a las estructuras de hormigón.)

Hasta ahora, se trata de un análisis teórico. En consonancia con la explicación general de la introducción a esta sección, nada está implícito hasta ahora sobre la realizabilidad de sistemas tecnológicos particulares y cerrados, o sobre el "nosotros" que desea que la tecnología se realice y los "nosotros" que están obligados a ejercer el control pertinente. Además, lo que se necesita para cerrar un sistema en particular, también dependerá de cómo hayamos especificado el funcionamiento requerido de la tecnología en primer lugar. Por lo tanto, análogo al enfoque de la sección 2, el análisis teórico debe complementarse abordando la cuestión de si los sistemas tecnológicos cerrados pueden realizarse en la práctica real y, en caso afirmativo, cuán particulares pueden realizarse sistemas tecnológicos cerrados. Se discute esta cuestión con la ayuda de dos ejemplos concretos. Considere primero el ejemplo de una lente de contacto. La tecnología de lentes de contacto constituye un sistema pero, como se explicó en la sección 2, cómo delinear este sistema es una cuestión de enfoque analítico. Podemos centrarnos en sistemas relativamente pequeños (la lente sola, lente y ojo, líquidos de limpieza y los procedimientos de usuario y similares), pero también podemos incluir sistemas mucho más grandes (fábricas para producir líquidos limpiadores, instalaciones optométricas para hacer

chequeos y similares). Los acuerdos sociales concomitantes incluyen disposiciones de atención médica, sistemas de seguro, etc. Vamos a centrarnos en el sistema de lentes de contacto. Para cerrar este sistema tenemos que examinar las interacciones entre este sistema y su entorno. Una interacción importante requerida es el suministro de suficiente humedad al ojo y a la lente. En parte, esto se hace a través de nuestros conductos lagrimales, en parte mediante la aplicación de líquido artificial. Este último requiere, como mínimo, instalaciones de producción para estos líquidos y un poco de regulación social a su alrededor. En algunos casos, en estos días incluso, puede requerir pasar con éxito los dispositivos especiales de detección en los aeropuertos; si su líquido limpiador es confiscado, después de algún tiempo su lente ya no funcionará mientras no haya líquido nuevo disponible. Una interacción prohibida obvia es la intrusión de polvo y suciedad en la lente y el ojo. Esto puede evitarse mediante la observación de procedimientos higiénicos adecuados, mediante el uso de gafas de sol en climas calurosos y con viento, y así sucesivamente. Esto implica que para los niños pequeños, los pacientes de Alzheimer y los trabajadores en circunstancias sucias, no se puede esperar que la tecnología funcione de manera estable y reproducible. Por último, en el caso del sistema ojo-lente, hay una serie de interacciones permitidas. El sonido de las personas que hablan y las radios que reproducen música inducen interacciones permitidas. Las personas que fuman y el clima húmedo también están permitidos, pero sólo dentro de ciertos límites. Lo que muestra este ejemplo es que la realización y el mantenimiento de las interacciones requeridas y la eliminación o prevención de las interacciones prohibidas requiere una intervención sustancial en el entorno en el que se supone que funciona la tecnología. Esta intervención y control es al mismo tiempo material y social. En los asuntos humanos, la realización material de una tecnología de trabajo, implica siempre una realización social concomitante de las condiciones pertinentes necesarias para que la tecnología funcione de manera estable y reproducible (véase también Sorensen). En el caso de las lentes de contacto, los usuarios están obligados a ejercer la autodisciplina siguiendo los procedimientos higiénicos pertinentes, se advierte a los niños que no toquen los líquidos limpiadores, se otorga un certificado a aquellos optometristas que han superado con éxito los cursos de formación y las oficinas gubernamentales supervisan los aspectos ambientales de las fábricas de líquidos de limpieza. La situación típica es, de hecho, una en la que una variedad de actores (en lugar de un solo actor) se involucra en la creación y el mantenimiento de la intervención y el control necesarios de los aspectos relevantes del entorno del sistema tecnológico.

Como hemos visto en la Sección 2, el funcionamiento de una tecnología, puede ser una cuestión de grado. Una tecnología en particular puede funcionar de manera óptima, razonablemente bien, simplemente bien, mal o en absoluto. Por supuesto, en el último caso no es necesario ejercer ningún control. En los otros casos, cuanto más altas sean las normas para el funcionamiento de la tecnología, más fuertes deben ser las restricciones normativas. Por lo tanto, en el caso de la lente de contacto, una higiene deficiente todavía podría conducir a un funcionamiento correcto (al menos por un tiempo limitado), pero seguir los procedimientos de limpieza adecuados es realmente necesario para un funcionamiento óptimo.

Como segundo ejemplo, considere el caso de la tecnología de energía nuclear. Una vez más, se pueden elegir diferentes arreglos como nuestro sistema focal. Podemos centrarnos en el reactor, en el reactor más en otros aparatos y operadores presentes en una central eléctrica, en la minería y el transporte de combustible nuclear, en el almacenamiento de residuos nucleares radiactivos, etc. Y de nuevo están los acuerdos sociales concomitantes, como las regulaciones para la elección de lugares adecuados para las plantas, las medidas de seguridad para los trabajadores y las personas que viven en el vecindario de las plantas, los tratados contra la proliferación de la tecnología nuclear, el sistema de donación de Greenpeace para los críticos de la tecnología de la energía nuclear. Es evidente que un relato exhaustivo de esta tecnología incluiría un gran número de acuerdos materiales y sociales.

A modo de ejemplo, concentrémonos en el propio reactor nuclear como nuestro sistema tecnológico. Con el fin de cerrar este sistema, necesitamos controlar sus interacciones con su entorno. En este caso, las interacciones requeridas incluyen asegurar un suministro suficiente de combustible nuclear y, bastante diferente pero igualmente importante, asegurar el empleo de operadores y técnicos calificados, disciplinados y confiables. En cuanto a las interacciones prohibidas, es necesario evitar la intrusión en los edificios de los reactores por parte de saboteadores terroristas. Por último, aunque el número de interacciones permitidas será mucho menor que en el caso del sistema de lentes de contacto visual, no están completamente ausentes. Presumiblemente, tocar música y la presencia de un poco de polvo y suciedad en el edificio del reactor no hace daño, mientras que fumar podría ser un caso límite en vista del riesgo de incendio.

El cierre del sistema general de tecnología de energía nuclear exige un control eficaz de las interacciones requeridas y prohibidas durante todo el período de funcionamiento de todos los componentes de este sistema tecnológico. Una vez más, este control no puede limitarse a los arreglos materiales, sino que también se refiere al comportamiento de todas las personas que interactúan, o podrían interactuar, con el sistema tecnológico. En particular, en el caso de la eliminación segura de residuos altamente radiactivos, se trata de un problema no resuelto y, habida cuenta del período extremadamente largo durante el cual debe ejercerse un control efectivo, un problema irresoluble.

Los casos de lentes de contacto y tecnología de energía nuclear también muestran claramente que la cercanía no es suficiente para el funcionamiento de una tecnología. El control efectivo de las interacciones pertinentes con el medio ambiente no es suficiente para obtener un sistema tecnológico que funcione bien. Además, este sistema debe poseer las potencialidades adecuadas que le permitan desempeñar su papel previsto cuando está incrustado en el entorno adecuado.

4.2.1- Algunos puntos para el debate

¿Qué tan plausible es este relato de la cercanía como condición necesaria para la estabilidad y reproducibilidad de las tecnologías? Brian Wynne afirma que el enfoque es valioso pero incompleto, y sugiere agregar los siguientes tres puntos.

- (a) Cierre del sistema como el ideal perseguido por . . . los tecnólogos nunca pueden ser completos, y es más problemático cuanto más social y físicamente extendido es un sistema tecnológico. . . .
- (b) b A medida que la ciencia se convierte cada vez más en un recurso económico en la competencia industrial, se amplifican las propiedades arbitrarias de las tecnologías como experimentos sociales encubiertos y autoritarios. Esto se debe a que la prisa por explotar el conocimiento científico como tecnología comercial permite que se anticipe menos tiempo y acceso social para que se anticipen problemas e interferencias más amplios del sistema. . . .
- (c) Por lo tanto, las tecnologías pueden considerarse como la imposición arbitraria del poder, y sus discursos, incluidos los discursos analíticos de riesgo científico, como la

servidumbre ideológica del experimento social del poder.
[Wynne, 1988, págs. 163-164]

Sin embargo, aparte de algunos aspectos de la letra c), la mayoría de estas «adiciones» ya están implícitas en el enfoque esbozado hasta ahora. La letra a) se tiene en cuenta haciendo hincapié en el carácter condicional del análisis teórico: si queremos realizar una tecnología, deberíamos ser capaces de cerrar los sistemas tecnológicos en cuestión. En la práctica, es posible cerrar con éxito los sistemas tecnológicos, pero de ninguna manera está garantizado. Además, cuanto mayor sea la extensión espaciotemporal de un sistema tecnológico, más difícil será cerrarlo. Por lo tanto, si cabe esperar o no que cerrar un sistema determinado sea factible y deseable, es una cuestión empírica y normativa crucial, que no puede resolverse únicamente sobre la base de un análisis teórico. De hecho, hacer estas distinciones y conexiones específicas entre cuestiones teóricas, empíricas y normativas ha sido una característica persistente de este enfoque de la filosofía de la tecnología. Del mismo modo, la letra b) reitera las conclusiones que se adicionaron, de un análisis del debate neerlandés sobre la viabilidad y la conveniencia de la energía nuclear durante la década de 1980 [Radder, 1986, págs. 674-678].

Además, el último punto de Wynne puede ser totalmente respaldado en la medida en que se refiere al uso de análisis de riesgo para cerrar el sistema de producción de energía nuclear. Sin embargo, como una afirmación general tenemos que ser más cuidadosos. La idea básica del análisis anterior es que las tecnologías pueden hacer algo por nosotros (para ingenio, funcionar de una manera estable y reproducible), si estamos dispuestos a pagar un precio a través del cumplimiento del control y disciplina material y social necesarios. Sin embargo, la cuestión de si este control y disciplina constituyen o no una «imposición arbitraria del poder» no puede responderse sobre la base de un análisis teórico, ya que esto también requiere una investigación empírica sostenida y un debate normativo. De hecho, uno de los puntos del análisis anterior es estimular un debate más democrático sobre los pros y los contras de tecnologías específicas. No se puede negar que las decisiones prácticas a menudo están fuertemente influenciadas por las relaciones de poder prevalecientes. Sin embargo, también se producen casos de aceptación libre y democrática del control y la disciplina requeridos. En las circunstancias actuales, me veo obligado a aceptar el precio que viene con la realización de la energía nuclear, pero estoy optando por pagar el precio de usar lentes de contacto.

En este punto, parece haber un contraste significativo con el enfoque de Winner. Winner [1986, p. 22] define la política como «los arreglos de poder y autoridad en las asociaciones humanas, así como las actividades que tienen lugar dentro de esos acuerdos». Tanto su vinculación de poder y autoridad, como sus ejemplos del ejercicio del poder, sugieren fuertemente que considere que la política es intrínsecamente represiva y coercitiva, especialmente en lo que respecta a los grupos sociales desfavorecidos. Por el contrario, prefiero definir la política como (apuntar a) la gobernanza de la sociedad a través de la configuración de nuestro mundo material y social de maneras específicas, y así excluir la realización de mundos alternativos [Radder, 1996, Chap. 7]. En las sociedades modernas esto incluye esencialmente la realización de sistemas tecnológicos específicos. Esta gobernanza puede llevarse a cabo mediante el ejercicio autoritario de la coacción y la represión, pero también mediante la deliberación democrática y la toma de decisiones. Lo que sucederá en circunstancias concretas es una cuestión práctica y normativa que no puede ser decidida por una definición a priori y teórica de la noción de poder.

Otra cuestión relativa a la verosimilitud del análisis anterior se refiere a la idoneidad de la noción de cercanía. Debido a que la cercanía no excluye la presencia de interacciones requeridas y permitidas, no debe confundirse con el aislamiento completo. En su lugar, puede ser útil en comparación con la cercanía de una puerta. La puerta de una habitación no debe aislarla completamente. Sus interacciones requeridas con el medio ambiente pueden incluir dejar entrar a las personas apropiadas, así como suficiente aire fresco. Sus interacciones prohibidas pueden incluir dejar pasar demasiado ruido o personas no deseadas como ladrones. Por último, sus interacciones permitidas pueden incluir ruidos suaves o conducción de pequeñas cantidades de calor. A pesar de esta explicación, el término "cercanía" podría seguir siendo confuso, en particular debido al importante papel de las interacciones requeridas. Por esta razón, puede ser aconsejable abandonar este término por completo y centrarse en la idea de (intentar) controlar las interacciones requeridas y prohibidas en lugar de en el término "cercanía" como tal. Después de todo, es el relato de las interacciones entre el sistema tecnológico y el entorno lo que constituye el núcleo del análisis anterior.

4.2.2 La normatividad inherente de los sistemas «cerrados»

Por último, está la cuestión de la normatividad de las tecnologías, y especialmente de su ser inherentemente normativo. El análisis de esta sección

implica que las tecnologías son normativas en el siguiente sentido: el requisito de estabilidad y reproducibilidad exige que las personas que están o pueden estar involucradas en la realización de la tecnología en cuestión deben cooperar en la realización de las interacciones requeridas y no deben obstruir la prevención o eliminación de las interacciones prohibidas. Especialmente en el caso de los sistemas tecnológicos integrales, esta normatividad es significativa y la cuestión de cómo se puede hacer que las personas involucradas sigan las normas es de crucial importancia. Además, si la teoría de la tecnología y el análisis anterior es correcta, las tecnologías son intrínsecamente normativas. Esta implicación no es meramente conceptual, porque también se basa en el hecho empírico de la variabilidad de los mundos material y social en los que se supone que funcionan las tecnologías. Es esta variabilidad la que requiere la intervención, el control y la disciplina necesarios para obtener tecnologías estables y reproducibles.

Por lo tanto, en un sentido ontológico, las tecnologías son inherentemente normativas. Responder a la cuestión epistemológica de qué normas específicas deben seguirse para realizar y mantener una tecnología en particular es una cuestión de inferencia práctica. Supongamos que x es el resultado de una determinada tecnología, que puede lograrse mediante el ejercicio del control c . Sobre la base de las premisas: «se quiere cumplir x » y «a menos que se haga c , x no se logrará», se concluye que «debe hacerse c » (véase también De Kroes»). Epistémicamente, la segunda premisa es la crucial. Dependiendo del grado de verosimilitud de esta premisa, la afirmación normativa "que se debe hacer c " puede considerarse realmente necesaria, tan recomendable, como tal vez algo bueno que hacer o como no es evidente. Normativamente, la primera premisa es al menos tan crucial. Una pregunta importante es ¿quién es el "uno" que quiere lograr x ? Los enfoques críticos de la tecnología (por ejemplo, [Feenberg, 1999]) insisten en que esta pregunta debe responderse de manera democrática. Sobre la base de los análisis de esta sección, podemos añadir que las cuestiones tanto de la viabilidad como de la conveniencia de realizar tecnologías de trabajo, deben desempeñar un papel esencial en la toma de decisiones democráticas sobre la aceptabilidad de estas tecnologías [Radder, 2008].

4.3 El guión de los artefactos tecnológicos

Otro enfoque que es directamente relevante para el tema de este escrito, se centra en la relación entre el diseño y el uso de artefactos tecnológicos. Este

es el llamado enfoque de guiones, propuesto por Madeleine Akrich. Un guión es un escenario que anticipa un tipo específico de usuarios y el uso de una tecnología determinada. La afirmación es que los diseñadores de un artefacto en particular, poseen o desarrollan una representación específica de los usuarios y el uso previstos. El guión, entonces, es el resultado de 'inscribir' esta representación en el diseño físico de la tecnología. Akrich desarrolla esta idea de la siguiente manera. Así, los diseñadores definen actores con gustos, competencias, motivos, aspiraciones, prejuicios políticos y el resto específicos, y asumen que la moral, la tecnología, la ciencia y la economía evolucionarán de maneras particulares. Sin embargo, inmediatamente hace hincapié en que esta definición puede fracasar y que la suposición puede resultar errónea. Lo que realmente sucederá con un diseño tecnológico es esencialmente contingente y, en lugar de un objeto tecnológico exitoso, los diseñadores pueden terminar produciendo una quimera.

Sin duda, puede ser que ningún actor se presente para desempeñar los papeles previstos por el diseñador. O los usuarios pueden definir roles muy diferentes por su cuenta. . . . Por lo tanto, si estamos interesados en objetos técnicos y no en quimera, no podemos estar satisfechos metodológicamente con el punto de vista del diseñador o usuario por sí solo. Tenemos que ir y venir continuamente entre el diseñador y el usuario, entre el usuario proyectado del diseñador y el usuario real, entre el mundo inscrito en el objeto y el mundo descrito por su desplazamiento. [Akrich, 1992, págs. 208-209]

Obviamente, el fracaso es más probable cuando la distancia (física o sociocultural) entre diseñadores y usuarios es grande. Este es el caso, por ejemplo, de los procesos de transferencia de tecnología entre diseñadores de países desarrollados y usuarios de países en desarrollo. A modo de ejemplo, Akrich analiza el intento de transferencia de un kit de iluminación fotoeléctrica de Francia a ciertos países africanos. El kit consistía en un panel fotoeléctrico para convertir la energía solar en electricidad, una batería para almacenar la energía eléctrica y una lámpara para producir la luz. En un intento de hacer el kit 'infalible', los diseñadores habían tratado de excluir cualquier interferencia (como una fuente potencial de daño) por los usuarios locales y las condiciones locales. Para este propósito, el diseño incluía circuitos de corriente directa, cables de conexión de longitud fija, enchufes no estándar y baterías impermeables. Por lo tanto, el guión definió a los usuarios como no calificados, y les prescribió que no interfirieran de ninguna manera con el dispositivo. Sin embargo, de hecho, este guión resultó ser inviable, ya que impidió un ajuste

suave a las circunstancias locales: las reparaciones no podían ser realizadas por electricistas locales; no fue posible reemplazo de componentes rotos y así sucesivamente. El resultado fue que los técnicos locales de instalación y mantenimiento "se enfrentaron a considerables dificultades" y que los usuarios "perdieron el control sobre la instalación".

El enfoque de guiones se ha adoptado en otros estudios de tecnología y su idea básica se ha aplicado a muchos otros casos. Un ejemplo rápido es el bache de la carretera. Su guión prescribe que los usuarios de la carretera, en particular los conductores de automóviles, tienen que frenar el dolor de infligir daños sustanciales a sus coches o a sí mismos. El estudio de Ellen van Oost sobre el desarrollo de afeitadoras eléctricas por la compañía Philips desde finales de la década de 1930 constituye un caso más extendido. En el transcurso de este período, surgió una diferenciación específica de género entre las afeitadoras eléctricas para los hombres y para las mujeres. Los diseñadores se basaron en representaciones estereotipadas del usuario masculino y femenino, e inscribieron estas representaciones en los diferentes diseños de afeitadoras eléctricas. Al hacerlo, ambos reprodujeron y reforzaron estos estereotipos de género. Van Oost [2003, p. 206], resume sus conclusiones de la siguiente manera:

Enmascarar la tecnología fue un elemento sistemático del guión de género del afeitado de la Señora. Los métodos utilizados incluían el uso de perfume para enmascarar el olor del aceite, vincular la afeitadora con el lápiz labial, transformar la afeitadora en un conjunto de belleza y eliminar los tornillos visibles. El guión de la Dama se afeita, esconde la tecnología para sus usuarios tanto de una manera simbólica (presentándose como un conjunto de belleza) como de una manera física (por no tener tornillos que permitirían abrir el dispositivo). La trayectoria de diseño de la dama se basó en una representación de las usuarias como tecno-fóbicas.

El diseño de las afeitadoras para hombre, en cambio, expuso estos dispositivos como los últimos productos de alta tecnología y sugirió la competencia tecnológica de sus usuarios. Una vez más, se enfatiza que el impacto de estos guiones de diseño en los usuarios no debe verse de una manera determinista, sino más o menos convincente, dada la naturaleza del contexto sociocultural más amplio.

4.3.1 El alcance y las limitaciones del enfoque del guión

En algunos aspectos, el enfoque de la aproximación por guión es similar a los puntos de vista que se examinan en las secciones 4.1 y 4.2. Por ejemplo, el caso de la transferencia del kit de iluminación fotoeléctrica podría reconstruirse fácilmente para ajustarse al análisis de Winner de artefactos inherentemente políticos o al análisis de las condiciones materiales/sociales necesarias para realizar tecnologías estables y reproducibles. En algunos otros aspectos, sin embargo, hay diferencias cada vez más grandes entre estos análisis y el enfoque de guión. En primer lugar, el diseño y el uso constituyen sólo una parte de la realización de una tecnología como un sistema artifactual y funcional con un cierto grado de estabilidad y reproducibilidad. Junto al diseño está la producción, y además de su uso, está la regulación social, por mencionar sólo dos aspectos adicionales de las tecnologías. Y aunque las nociones de usuarios y uso pueden ser empleadas de una manera relativamente amplia, como lo hace Akrich en su relato de la transferencia del kit de iluminación fotoeléctrica, muy a menudo se toman de una manera mucho más estrecha, como en el caso de los usuarios de afeitadoras eléctricas discutidos por Van Oost. Además, a veces se sugiere y a veces se indica explícitamente, que el comportamiento anticipado de los usuarios es necesario para el funcionamiento de los artefactos (véase, por ejemplo, [Van Oost, 2003, p. 195]). Sin embargo, no siempre está claro lo que implica este "trabajo". El caso del kit de iluminación fotoeléctrica es relativamente sencillo, ya que esta tecnología no funciona si la lámpara no puede brillar debido a deficiencias en su contexto de uso. Sin embargo, en el caso del afeitado de la Señora, la relación entre la representación inscrita y el funcionamiento de la afeitadora es mucho más dispersa. Presumiblemente, en este caso, trabajar principalmente en cantidades, equivale a ser económicamente exitoso en términos de ventas.

Por último, en línea con el descriptivismo del enfoque SCT, los análisis de guiones, se limitan a las descripciones de las prácticas tecnológicas reales. No existe un nivel teórico (relativamente independiente) en el que sea posible distanciarse del curso real de los desarrollos tecnológicos. Por esta razón, no existe un nivel normativo que permita una evaluación normativa de las tecnologías. Las evaluaciones normativas —por ejemplo de los estereotipos de las mujeres como tecno-fóbicas— carecen del enfoque del guión. Además, Akrich [1992, p. 222, insisto] sostiene que «podemos decir que los objetos técnicos cambiaron, estabilizaron, naturalizaron o despolitizaron las relaciones sociales, sólo con el beneficio de la retrospectiva». Aparentemente, se supone que el mundo está tan radicalmente supeditado, que no se pueden hacer afirmaciones

plausibles sobre el futuro. La implicación es que cualquier política tecnológica deliberada y orientada al futuro no tiene sentido. Dentro del enfoque del guión, el problema prospectivo de cómo dar forma a las tecnologías futuras no se puede plantear con sensatez. A este respecto, este enfoque contrasta fuertemente con las demás cuentas que se examinan en esta sección. Sí, no tenemos ninguna certeza sobre lo que sucederá en el futuro. Sin embargo, lo que esto implica, es que la deliberación sobre futuros más deseables o menos deseables es esencialmente falible (pero no inútil).

4.3.2 Guiones y normatividad (inherente)

¿Qué pasa con la normatividad inherente de las representaciones inscritas de uso y usuarios? ¿Los guiones de artefactos tecnológicos implican normas? Al responder a estas preguntas podemos hacer uso de los puntos de comentarios anteriores. Como hemos visto, algunos de los ejemplos del enfoque de guiones, como el kit de iluminación fotoeléctrica, se puede demostrar que exhiben una conexión inherente entre las tecnologías particulares y las normas específicas que se deben seguir para que la tecnología funcione de una manera estable y reproducible. Del mismo modo, en el caso del sistema tecnológico que consiste en una carretera, un bache, un coche y un conductor, el trabajo estable y reproducible requiere que el conductor respete la norma de conducir lentamente al acercarse a la protuberancia. Sin embargo, el enfoque del guión, no incluye una caracterización general de las tecnologías. Como suele ocurrir en los enfoques empíricos, se supone que ya sabemos lo que es una tecnología, o que una tecnología es lo que los actores que se están estudiando llaman una tecnología. Por esta razón, la cuestión general de si las tecnologías son o no inherentemente normativas no puede responderse sobre la base del enfoque de guión. Además, en bastantes casos, el "trabajo" también se define en términos de éxito económico. En estos casos, como el diseño y el uso del afeitado de la Señora, los posibles vínculos entre el funcionamiento y la normatividad del artefacto son claramente contingentes.

4.4 Artefactos, planes de uso y funciones

Un segundo enfoque que se centra en la relación entre diseño y uso es el enfoque de plan de uso defendido por Wybo Houkes y Pieter Vermaas. Es comparable al enfoque de guión en su materia, pero muy diferente en su método y estilo filosófico. La idea básica es que el diseño de un artefacto tecnológico incluya esencialmente, o debería incluir, un plan de uso. Los procesos de diseño

se consideran no sólo la descripción de un tipo de artefacto, sino también, o incluso principalmente, la construcción de un plan de uso adecuado.

La noción de un plan de uso es fundamental para nuestro análisis acción-teórico. Definiendo un plan de manera algo vaga como una serie de acciones consideradas dirigidas a objetivos, un plan de uso del objeto x es una serie de acciones de este tipo en las que las manipulaciones de x se incluyen como contribuciones para lograr el objetivo dado. [Houkes y Vermaas, 2004, p. 57]

Además, los planes de uso deben comunicarse a los usuarios potenciales. Para este propósito, hay una variedad de medios disponibles: manuales de usuario, instrucciones o demostraciones explícitas, anuncios de televisión, señales de uso añadidas al artefacto, etc. Al construir nuevos planes de uso, los diseñadores pueden aprovechar su propia creatividad, en los recursos de las tradiciones socioculturales o en los conocimientos científicos y tecnológicos disponibles.

Al elaborar este relato, se introducen otras dos distinciones: entre el uso estándar y el no estándar, y entre el uso racional e irracional. Se afirma que los planes de uso basados en tradiciones socioculturales y las prácticas de diseño científico o de ingeniería dan lugar a un uso estándar. El uso no estándar puede surgir de usuarios individuales (innovadores o idiosincrásicos). Por ejemplo, el uso estándar de un destornillador lo emplea para sujetar tornillos; usarlo para abrir una lata de pintura puede llamarse uso innovador no estándar, mientras que su empleo para matar mosquitos sería visto como un uso idiosincrásico no estándar. Además, el uso racional o adecuado se distingue del uso irracional o inadecuado. Los usos apropiados, eficaces y eficientes se denominan "racionales". De los usos mencionados de un destornillador, los dos primeros ejemplifican el uso racional (lo que implica que el uso racional y estándar no coincide), mientras que el tercero es presumiblemente un caso de uso irracional. En la práctica actual, se dice que la distinción entre uso estándar y no estándar es una cuestión de grado, y lo mismo parece aplicarse al contraste entre el uso racional e irracional. Por otra parte, en el transcurso del tiempo, determinados usos de artefactos pueden clasificarse de manera diferente. Los usos estándar o racionales pueden llegar a ser no estándar o irracionales y viceversa. Finalmente, Houkes y Vermaas enfatizan el contraste de su filosofía teórica de la acción de los artefactos con teorías de artefactos que se centran en las funciones.

En su opinión, no es la función de un artefacto la principal noción, sino su plan de uso y el uso.

En resumen, nuestra teoría de las características de la función utiliza planes, justificación y comunicación como conceptos centrales. En términos generales, una función de artefacto es cualquier rol desempeñado por un artefacto en un plan de uso que está justificado y comunicado a los usuarios potenciales. Por lo tanto, las funciones son relativas al plan: no tiene sentido atribuir funciones a un objeto que no está, metafóricamente hablando, incrustado en un plan de uso. [Houkes y Vermaas, 2004, p. 66]

La justificación mencionada implica dar buenas razones para la creencia de que el artefacto es capaz de desempeñar el papel relevante y para la creencia de que la ejecución del plan de uso contribuye a la realización de su objetivo. En el caso de un diseñador profesional, la justificación del plan de uso se basará principalmente en conocimientos científicos o tecnológicos; en el caso de un usuario innovador, por lo general se basará en su conocimiento experiencial.

4.4.1 Méritos y problemas del enfoque del plan de uso

El enfoque de plan de uso, como se resume brevemente anteriormente, posee varios méritos. La concepción relacional de las funciones tecnológicas es muy superior a los relatos objetivistas que tratan de explicar las funciones exclusivamente sobre la base de las características de los objetos tecnológicos. Esta concepción es compatible con la definición de funcionalidad presentada en la Sección 2. Además, dado que la noción de un plan de uso es similar a la idea de un guión, comparte las características valiosas del enfoque de guión. Como hemos visto, un guión es una representación específica de los usuarios potenciales que está inscrito en el contenido técnico de un artefacto. Si interpretamos la noción de "contenido técnico" de una manera amplia, un guión puede incluir no sólo las señales de uso material del artefacto en sí, sino también manuales de usuario e instrucciones explícitas sobre, o demostraciones del artefacto (comparar con [Houkes y Vermaas, 2003, p. 40]).

Sin embargo, la similitud entre el guión y el enfoque de plan de uso también implica que el segundo comparte algunas de las limitaciones y problemas del primero. Para empezar, las nociones de uso y los usuarios en el enfoque de plan de uso parecen ser aún más estrechas que las del enfoque de guión. Tanto los ejemplos como la explicación general sugieren encarecidamente que los usuarios se identifiquen con consumidores individuales o usuarios

finales de artefactos simples y familiares. Desde esta perspectiva, un trabajador de fábrica que usa un artefacto fabricado en otra fábrica como parte del proceso de producción para otro artefacto se excluye de la consideración. Además, el enfoque parece estar restringido a artefactos aislados y sus usuarios inmediatos. Este punto se ilustra comparando la cuenta limitada de un plan de uso para una lavadora propuesta por Houkes y Vermaas [2003, pp. 36-37] con el análisis exhaustivo de esta tecnología proporcionado en la Sección 2 de este escrito. El punto general es que los «aspectos relevantes del entorno de una tecnología» incluyen mucho más que sólo a sus usuarios inmediatos.

Además, la distinción entre uso adecuado o racional y uso indebido o irracional implica un cierto sesgo a priori, ya que el requisito de que una filosofía de la tecnología "superponga" la distinción propiamente inapropiada [Houkes y Vermaas, 2004, p. 53] tiende a privilegiar los puntos de vista de los diseñadores o ingenieros. El problema es que términos como "adecuado" o "racional" e "inapropiado" o "irracional" poseen connotaciones peyorativas considerables. Pero, ¿qué sentido tiene denunciar a alguien que mata mosquitos con un destornillador por comportarse de manera inadecuada o irracional? O, para ofrecer un ejemplo de la vida real, ¿por qué los filósofos a priori deberían condenar a priori como inapropiado o irracional cualquier intento de "racionalización democrática", como el "hackeo" del sistema de Minitel francés a principios de la década de 1980? A este respecto, el enfoque de guión es más abierto de mente. Relacionado con esto está el hecho de que la noción defendida de la racionalidad de un plan de uso se limita a su utilidad para un usuario individual. La implicación es que un plan para diseñar y utilizar cámaras de gas para matanzas masivas es totalmente racional. Houkes y Vermaas [2004, p. 70, nota 16] reconocen tales problemas, pero piensan que se pueden resolver complementando sus suposiciones básicas, centradas en el diseñador. Sin embargo, parece más plausible, que este «complemento» tenga que subvertir su distinción entre usos racionales e irracionales, debido a la posibilidad de que un plan de uso que sea racional (respectivamente, irracional) de acuerdo con las definiciones de Houkes y Vermaas pueda ser irracional (respectivamente, racional) según una noción más amplia de uso adecuado.

4.4.2 Planes de uso y normatividad inherente

La pregunta final es de nuevo: ¿son las tecnologías, de acuerdo con este enfoque de plan de uso, intrínsecamente normativa y, en caso afirmativo, en qué sentido? Aunque los autores de este enfoque no proporcionan, hasta donde yo

sé, una definición explícita, podemos inferir que "una tecnología" se entiende como "un artefacto con una función justificada y un plan de uso". Significativamente, la justificación se refiere a las creencias de que el artefacto puede funcionar de la manera pertinente, y que el plan de uso previsto facilitará la realización de esta función. Si esta lectura es correcta, las tecnologías son intrínsecamente normativas porque implican que debe haber buenas razones para las creencias en cuestión. Este es claramente un tipo de normatividad epistémica. De hecho, como los autores enfatizan [Houkes y Vermaas, 2004, págs. 66-67], su teoría es principalmente una teoría (teórico de la acción) de las funciones de adscripciones de. No nos dice lo que significa para un artefacto tener una función. Por esta razón, la teoría no responde a la pregunta de si las tecnologías son inherentemente normativas en un sentido ontológico, o eso parece. Sin embargo, al relacionar los planes de uso con la cuenta de tecnología presentada en la Sección 2, es posible que podamos decir algo más. Después de todo, con el fin de tener un artefacto que funciona realmente, no es suficiente con prever algún plan de uso arbitrario que, en principio, facilite la realización de esta función. Lo que también es crucial es que este plan de uso es factible, que realmente se puede realizar en la región relevante del espacio y el tiempo de una manera estable y reproducible. De forma similar al enfoque de guión, en el enfoque de plan de uso se puede decir que las tecnologías son inherentemente normativas porque implican la norma de que los usuarios (previstos o reales) deben seguir los planes de uso de la manera prescrita para que los artefactos realicen su función prevista. Pero una vez más, dadas las limitaciones antes mencionadas para el uso y los usuarios, una variedad de otras normas inherentes permanecen fuera del alcance del enfoque del plan de uso.

4.5 Normatividad Tecnológica en la Práctica

En la Sección 3 hemos visto que, al estudiar el papel de las normas en la práctica real, es necesario tener en cuenta una variedad de aspectos. En esta sección, ilustraremos brevemente estas cualificaciones de normatividad en el caso de la práctica tecnológica. Se utiliza los ejemplos dados en las secciones anteriores, pero para evitar la repetición, no se volverán a abordar la cuestión de la normatividad inherente o contingente de estos ejemplos. Diferentes tipos de normas se pueden encontrar fácilmente en los ejemplos mencionados. Considere el caso de las lavadoras. Es evidente que el diseño de estas tecnologías debe ajustarse a las normas tecnológicas (por ejemplo, la eficiencia), las normas sociales (como la seguridad), las normas políticas (por ejemplo, la sostenibilidad) y así sucesivamente. También es obvio que estas distinciones no

siempre son claras. ¿Es la eficiencia un requisito tecnológico o económico? Del mismo modo, ¿la sostenibilidad cuenta como una norma política o moral? El alcance de las normas que están implícitas en la práctica tecnológica, o están relacionadas con ella, puede variar considerablemente. Suponiendo que el enfoque del plan de uso implica que las personas no deben comportarse irracionalmente, uno no debe utilizar un destornillador para matar mosquitos. Esto es obviamente una norma con un alcance relativamente pequeño: aunque se aplica a todos los seres humanos, el número de ocasiones para una posible aplicación de esta norma es limitado. Por el contrario, la norma de que las mujeres no deben tener ningún interés en la tecnología (ejemplificada a través del diseño del afeitado Lady) tiene claramente un alcance mucho mayor.

Muchas tecnologías (por ejemplo, una lavadora o una lente de contacto) incluyen un manual de usuario u otros tipos de instrucciones para los usuarios. Estas instrucciones hacen explícitas las normas relativas a cómo deben comportarse las personas para que las tecnologías funcionen según lo previsto por sus diseñadores, fabricantes o vendedores. Cuando las normas están físicamente inscritas en los artefactos tecnológicos, están claramente implícitas y, tal vez, intencionalmente se dejan implícitas. Por lo tanto, la norma de que la playa de Jones no debería ser accesible a la gente pobre de la ciudad de Nueva York estaba implícitamente inscrita en el diseño físico de los puentes sobre las vías verdes de Long Island. Como hemos visto, la pregunta de si esta inscripción normativa implícita fue hecha intencionalmente por Moses es respondida de manera diferente por Winner y sus críticos.

Por supuesto, también en la práctica tecnológica, las normas pueden romperse y se romperán. En el caso de la energía nuclear, especialmente en lo que respecta al aspecto del almacenamiento de residuos nucleares altamente radioactivos, se puede prever que esto es muy probable. En el ejemplo de los usos africanos de los kits de iluminación fotoeléctrica, resultó ser el caso de la retrospectiva que las personas involucradas no se comportaron como deberían de acuerdo con el guión de la tecnología. En el caso de las lentes de contacto, es posible que un usuario no pueda ejercer la higiene requerida en un día determinado. Por lo tanto, dependiendo del caso en cuestión, las consecuencias de no ajustarse a tales normas pueden ser desastrosas (como en la energía nuclear), un problema sustancial (como con los kits de iluminación) o menos consecuentes (por ejemplo, cuando la falta ocasional de higiene causa una infección ocular menor que se puede curar al no usar las lentes de contacto durante uno o dos días).

En aras de la argumentación, supongamos (con los defensores del enfoque del plan de uso) que la gente no debe actuar de manera irracional. Aun así, algunas personas podrían cuestionar la aplicabilidad de esta norma al caso de matar mosquitos con un destornillador. Después de todo, podrían juzgar que la norma de racionalidad no se aplica a los casos en los que el uso del artefacto no hace ningún daño (incluso si este uso parece ineficiente o ineficaz). Por último, la cuestión de las compensaciones entre las normas opuestas puede ilustrarse con los casos de lentes de contacto y tecnologías de energía nuclear. En el caso de la lente de contacto, muchas personas permiten que sus normas estéticas supervisen las normas que vienen con la autodisciplina y el control requeridos. En cambio, en el caso de la energía nuclear, muchas personas prefieren apegarse a las normas de seguridad a largo plazo sobre las normas de posibles beneficios económicos a corto plazo.

5 CONCLUSION

Las tecnologías son intrínsecamente normativas. Es decir, la realización (real o prevista) de una tecnología en una determinada región del espacio y el tiempo implica una o más normas sobre lo que las personas que (podrían) interactuar con el sistema tecnológico deben, o no deben, hacer. Estas personas deben comportarse de tal manera que permitan, y no molesten, el funcionamiento de la tecnología en cuestión. Este argumento se basa tanto en la caracterización teórica de las tecnologías previstas en la sección 2 como en el hecho de que no puede darse por sentada la realización adecuada de las condiciones hábiles y no perturbadoras para que la tecnología funcione según lo previsto. Para concretar este argumento, las Secciones 4.1 a 4.4 proporcionan análisis detallados de varios aspectos importantes de la normatividad inherente de las tecnologías, mientras que la Sección 4.5 aborda algunas de las complejidades de la cuestión de la normatividad tecnológica en la práctica real.

Es obvio que las tecnologías pueden ser contingentemente normativas, o normativamente relevantes, de innumerables maneras. Este escrito se ha centrado en la cuestión más específica de la normatividad inherente de las tecnologías. Otra cuestión interesante es si el argumento que figura al principio de la sección 4 recoge la única manera en que las tecnologías pueden ser intrínsecamente normativas. Por supuesto, siempre es difícil afirmar tener una respuesta definitiva a tal pregunta. Pero lo que se puede hacer es excluir algunas de las otras formas en que se puede alegar que las tecnologías son

intrínsecamente normativas. Al concluir el escrito, se examinará brevemente otros dos posibles argumentos para la normatividad inherente.

En primer lugar, además de tener funciones, y en gran medida independientemente de ellas, las tecnologías también pueden tener significados simbólicos. Tipos específicos de coches pueden contar como símbolos de estatus social y ciertos diseños pueden ser vistos como especialmente de moda o estéticamente agradables. Tales significados simbólicos implicarán ciertas afirmaciones normativas, como la norma social de que 'como mejor jugador de fútbol, debería conducir un Porsche'. Claramente, los significados simbólicos y las normas asociadas desempeñan un papel importante en el caso de muchos artefactos tecnológicos. Sin embargo, debe quedar igualmente claro que hay muchos productos tecnológicos que no poseen un significado simbólico. Por lo tanto, incluso si un tipo particular de coche puede llevar un significado simbólico, esto muy probablemente no se aplicará a los tipos de pernos empleados en su construcción. Sin embargo, estos pernos también son sistemas funcionales y artificiales con cierto grado de estabilidad y reproducibilidad, y por lo tanto también son tecnologías. En términos más generales, unas pocas tecnologías, o probablemente la mayoría, simplemente se dan por sentadas y se utilizan sin previo aviso. Por lo tanto, las normas derivadas de los significados simbólicos de las tecnologías dependen del contexto y están supeditadas: no son inherentes a las propias tecnologías.

Una segunda afirmación sobre la tecnología y la normatividad dice que "los artefactos deben desempeñar su función". Esta afirmación está explícitamente destinada a capturar un tipo de normatividad inherente de los artefactos tecnológicos. Sin embargo, como Maarten Franssen muestra, el fondo de esta supuesta normatividad artificial no se puede encontrar en los artefactos mismos. (De hecho, ¿qué sanción se aplicaría a un determinado artefacto si violara esta norma?). En cambio, estas normas derivan de una creencia justificada en el buen funcionamiento de esos artefactos. Para que este punto sea más concreto, considere este ejemplo. Si compro un artefacto barato en el mercado de pulgas o si consigo un artefacto hecho por un amigo (que sé que no es particularmente útil), estos artefactos pueden funcionar, pero no hay ninguna expectativa de que estos artefactos 'deberían funcionar'. En estos casos, el dicho se aplica que 'no se debe mirar los dientes a un caballo regalado'. Esto demuestra que, en la medida en que las expectativas normativas están presentes; se basan en algún tipo de contrato o acuerdo social (formal o informal), generalmente entre el fabricante o vendedor y el comprador del

artefacto. Cuando un contrato de este tipo o tal acuerdo no existe, no existe una expectativa justificada y, por lo tanto, no existe una «normatividad artística». Por lo tanto, ni los significados simbólicos ni las expectativas justificadas implican que las tecnologías sean intrínsecamente normativas. Sin embargo, Este debate no debe entenderse en el sentido de que las normas contingentes son, por definición, menos significativas que las normas inherentes. Dada una tecnología en particular, sus normas inherentes bien pueden ser juzgadas menos importantes que algunas de las normas contingentes relacionadas. En términos más generales, si se considera que las normas inherentes o contingentes son más (o menos) significativas dependerá en gran medida del contexto específico de los sistemas tecnológicos y de su entorno material y social.

ARTEFACTOS Y NORMATIVIDAD

Maarten Franssen

1 INTRODUCCIÓN: ARTEFACTOS, FUNCIONES DE ARTEFACTOS Y SU DIMENSIÓN NORMATIVA

La característica definitoria básica que distingue los artefactos de los otros objetos tangibles con los que se llena nuestro entorno es relacional e histórica. Los artefactos son objetos que han sido hechos por personas para un propósito particular. Dos objetos pueden ser idénticos en todas sus propiedades físicas, sin embargo, uno puede ser un objeto natural mientras que el otro es un artefacto. Esto puede parecer algo muy inverosímil para los productos de consumo ordinarios que son el artefacto prototípico para la mayoría de las personas, pero los ejemplos están lejos de ser imaginarios: los diamantes artificiales o los rubíes, por ejemplo, se utilizan mucho en varias ramas de la industria. La característica definitoria limita los artefactos a una subclase de la clase de todas las cosas que son hechas por los seres humanos, en el sentido de resultar de un acto intencional que consiste en la modificación y remodelación de los cuerpos materiales. Otros elementos de esta clase, por ejemplo los productos de desecho, como los gases de escape y el aserrín, y otras cosas que son los subproductos o efectos secundarios de la acción humana, como huellas dactilares de manos y pies, no son artefactos, porque, aunque el proceso del que resultan se realiza (presumiblemente) con un propósito y el fabricante es consciente de producirlos, el hecho de que se hacen es aceptado en lugar de lo previsto y el fabricante no tiene ningún propósito para ellos. Por lo general, es decir, ya que para cada uno de estos ejemplos se puede imaginar un caso donde se hacen con un propósito y por lo tanto artefactos: aserrín para llenar una

muñeca, gases de escape para suicidarse, huellas dactilares para desviar a alguien. Podría decirse que todo lo que se puede hacer se puede hacer para servir a un propósito y, por lo tanto, puede clasificarse como un artefacto.

Esta definición anterior de un artefacto es ambigua con respecto a la relación entre "hecho" y "para un propósito". El propósito se puede asociar con el proceso de creación del objeto o con el propio objeto resultante. Esta ambigüedad está estrechamente relacionada con una distinción importante entre dos tipos de artefactos: por un lado, obras de arte, y por otro lado, artefactos útiles como herramientas, instrumentos y productos de consumo, en resumen, como se los llamará, artefactos técnicos. Se ha argumentado que en el caso de las obras de arte, el propósito para el que se hacen es la realización de la obra de arte en sí. Los artefactos técnicos, en cambio, se hacen para servir a un propósito que todavía está en el futuro mientras se hacen. Están hechos para ser utilizados, y generalmente el único propósito de hacerlos es ponerlos a disposición para su uso futuro. Por supuesto, puede suceder que alguien haga un artefacto con el fin de servir a un propósito que tiene precisamente en ese momento, con el fin de usarlo de inmediato cuando se termina y descartarlo después, pero incluso entonces, el propósito del acto de hacer el artefacto es diferente del propósito para el cual se está haciendo el artefacto. Para ser utilizado de una manera particular y por lo tanto habilitar o apoyar a su usuario para realizar un resultado determinado, es lo que se llama la función de un artefacto. Sin embargo, esto no puede servir como un fuerte contraste con las obras de arte. Me parece innegable que las obras de arte —es decir, pinturas, esculturas, historias, actuaciones musicales— también sirven para fines: crear ciertos estados mentales o condiciones en las personas. Sin embargo, nos referimos a la consecución de tal propósito a través de una obra de arte utilizando la obra, sigue habiendo una clara diferencia en la forma de uso que toma para ambas categorías: el uso de obras de arte se agota por la percepción de ellas, mientras que el uso de un artefacto técnico implica una interacción causal mucho más complicada y bidireccional entre el usuario y el artefacto, que se puede denominar manipulación en un sentido amplio.

Aunque los artefactos técnicos están hechos para ser utilizados con un propósito, no necesitamos recurrir a un artefacto cuando buscamos el uso de un objeto como intermediario entre nosotros y el logro de algún objetivo que tenemos. La utilidad de un objeto reside en sus propiedades físicas, y podemos utilizar cualquier objeto que esté disponible siempre y cuando tenga, aproximadamente, las características requeridas. Podemos usar una roca para

martillar un palo en el suelo, para cortar una cuerda, para evitar que se deshaga un poco de tela, y así sucesivamente. De hecho, históricamente, la clase de artefactos se originó en las primeras modificaciones de tales objetos naturales, con el fin de hacerlos (ligeramente) más aptos para el propósito para el que se estaban utilizando. Al utilizar 'objetos encontrados' para un propósito, por supuesto no estamos restringidos a objetos naturales; también podemos usar artefactos para propósitos que no tienen relación con el propósito que fueron hechos para servir, como sucede cuando usamos, por ejemplo, un martillo como contrapeso. Al hacer esto, en cierto sentido, ignoramos su estado de artefacto; tenemos en cuenta sólo las de sus propiedades físicas que nos ayudan a alcanzar nuestros objetivos, tal como lo haríamos con un objeto natural.

El mero uso de que un objeto sea natural o artificial, para un propósito, debe distinguirse de la fabricación de un artefacto. La realización de un artefacto es la modificación intencional de una o varias de las propiedades de un objeto natural (donde 'objeto' incluye un grupo de cosas), lo que resulta en la creación de un artefacto. Sin embargo, La noción de modificación es muy amplia, y si esto es todo lo que separa la clase de artefactos de la clase de objetos naturales utilizados, las dos clases se convierten, por así decirlo, contiguas. Si, durante la caminata semanal a través de la foresta local, en un momento en que recojo una rama muerta y la despojo de todas las ramas incómodas para usarlo como un bastón, y en otro momento recojo otra rama muerta y después de la inspección cercana se decide que no hay ramas incómodas que necesitan ser removidas, parece inútil insistir en que se está usando fichas de dos tipos bastante diferentes de cosas como un bastón de caminar en estas dos ocasiones, uno un objeto natural puro y simple y el otro un artefacto. Sin embargo, no es necesario resolver este asunto para tener una comprensión adecuada de la diferencia entre los objetos naturales utilizados para un propósito y los artefactos diseñados y, presumiblemente, utilizados para un propósito. Si, por el contrario, el objeto que usamos con un propósito —cualquier propósito— ya es un artefacto, no lo creamos como un artefacto, sino solo como una muestra de un nuevo tipo de artefacto.

También debe tenerse en cuenta que muchos artefactos técnicos no se utilizan directamente, por así decirlo. Muchos artefactos son componentes realizando una función en el interior de otro artefacto, que es el que, en términos correctos, se utiliza. Lo que hacemos con los componentes es instalarlos, no usarlos. Si alguien utiliza un artefacto ensamblado, no utiliza al mismo tiempo sus componentes, aunque sólo sea porque el usuario con suficiente frecuencia no

tiene en absoluto, idea de que la mayoría de estos componentes están allí. En este escrito hablaremos de todos los artefactos como si se utilizaran, pero "utilizados" deben interpretarse en un sentido amplio, como "usados o instalados".

Las consideraciones anteriores pueden servir como introducción a la clase de artefactos. Lo que se desea discutir en esta contribución es una propiedad que todas las entidades de esta clase parecen tener, y que las entidades que no pertenecen a ella parecen carecer: apoyan algún tipo específico de juicios. En primer lugar, apoyan declaraciones evaluativas como "Este es un buen ejercicio" y "Las bombas de la marca X no son muy buenas", o "Esta cámara normalmente funciona bien" y "La radio en la sala no está funcionando bien". Con respecto a los hechos artísticos, tales declaraciones se consideran generalmente para tener sentido, mientras que no están en orden en lo que respecta a los objetos naturales. No hay distinción entre los buenos y los pobres entre piedras, estrellas, electrones, robles, etc. Sin embargo, parece, que ciertos elementos biológicos son una excepción a esto: decimos que alguien tiene mal corazón, o un buen par de pulmones, y también hablamos de buenos perros guardianes y pobres vacas lecheras. Cualquier explicación de por qué los artefactos, a diferencia de los objetos naturales per se, admiten declaraciones evaluativas, debe ser capaz de explicar por qué se cree que determinados elementos biológicos también los apoyan.

Un ejemplo de un segundo tipo de juicio apoyado por artefactos es 'esta máquina expendedora de café no funciona correctamente'. Generalmente usamos la expresión "mal funcionamiento" en caso de que un artefacto técnico no cumpla su función por completo, no sólo mal.

Es tentador interpretar una declaración de mal funcionamiento como una abreviatura de 'esta es una extremadamente pobre máquina expendedora de café', por la que simplemente se convierte en un ejemplo del tipo ya discutido. Sin embargo, esto puede estarse moviendo demasiado rápido. Incluso un artefacto pobre de un tipo en particular, todavía puede pasar de funcionar de forma discontinua a funcionar mal. Con esto no queremos decir que caiga un poco más en la escala del bien a pobre. Una máquina expendedora de café que funciona mal es, en ese momento preciso, una máquina expendedora de café muy pobre, pero una vez que se ha descubierto que un fusible ha explotado y una vez que ese fusible ha sido reemplazado, la máquina de repente se convierte de nuevo en la excelente o no tan excelente máquina expendedora de café que

era antes de que su fusible explotara. Hay más de una fuente o mecanismo en el trabajo detrás de estas cualificaciones.

Por último, existe un tercer tipo de declaración relativa a los artefactos, que está relacionada con las declaraciones de avería, pero tiene una forma que los separa claramente de las sentencias de mal funcionamiento o de las sentencias evaluativas. Al estar frente a una máquina expendedora de café que funciona mal, podemos decir que, aunque la cosa no nos hace una taza de café que es lo que debe hacer, o lo que se supone que debe hacer. Es exactamente por eso que llamamos mal funcionamiento de la máquina: aunque no realiza la función de hacer café, esto no cambia el hecho de que su función es hacer café, y esto es, por lo tanto, lo que debe hacer. Comparar nuestro tratamiento diferente de los objetos naturales: si hemos encontrado, día tras día, que las muestras de fluido, cuando se calientan, se expanden, pero finalmente, mientras se calienta una muestra de agua de 0° C a 4° C, descubren que no se expande, no es correcto decir que, aunque esta muestra en particular no se expanda, todavía debe expandirse. En su lugar, retiramos nuestra afirmación de que todas las muestras de líquido se expanden cuando se calientan.

Cualquiera de los tres tipos de declaraciones introducidas anteriormente se puede encontrar como evidencia de que los artefactos tienen, por así decirlo, una dimensión normativa. En el resto de este escrito investigaremos si estos juicios representan efectivamente una dimensión normativa inherente a los artefactos, y si es así, en qué sentido exacto. Pero antes de empezar a hacer eso, se debe señalar que un debate sobre la dimensión normativa de los artefactos técnicos no agota con mucho la dimensión normativa de la práctica de diseñar y hacer tales artefactos —es decir, la práctica de la ingeniería—ni la dimensión normativa de la práctica de utilizarlos o decidir sobre ellos— en resumen, la práctica de la tecnología en su conjunto. Como prácticas, estas actividades tienen una dimensión normativa al ser gobernadas por reglas, desde un micro-nivel relativo de decisiones de diseño individuales hasta un nivel macro económico relativo de las políticas empresariales y gubernamentales relativas a la implementación y regulación de tecnologías. La concepción de la normatividad asociada a la práctica tecnológica es en muchos aspectos, social: las normas y normas se conciben como institucionalizadas, como exigir expectativas coincidentes en las personas de toda la sociedad y como implicación de la existencia de sanciones por violación de normas. En este escrito nos enfocaremos en la dimensión normativa de los artefactos técnicos, más que en la dimensión normativa de la práctica tecnológica en general, y lo

haremos utilizando una concepción diferente de la normatividad, centrándonos en el individuo racional. Para una discusión sobre la dimensión normativa de la tecnología como práctica, véase los capítulos de Radder y Pritchard en escritos posteriores. Sin embargo, en la sección 5, se dicen algunas cosas que influyen en la tecnología como práctica social.

Por lo tanto, dada la observación de que, se aplican diversos tipos de juicios a los artefactos técnicos, y que estos juicios son ampliamente vistos como reveladores de que los artefactos tienen una dimensión normativa, o que la noción de función es inherentemente normativa, surgen dos cuestiones importantes. La primera es: ¿es correcta la interpretación de estos juicios en forma de artefactos? En particular: ¿los diversos ejemplos de una sentencia normativa articulan la misma «dimensión», y esta dimensión se identifica correctamente como normativa? La segunda pregunta es: ¿qué significa? En particular: ¿por qué se considera importante que se identifique esta supuesta dimensión normativa y de qué manera aumenta nuestra comprensión de los artefactos? En este escrito nos ocuparemos principalmente de la primera pregunta, pero también abordaremos la segunda.

2 LA NOCIÓN DE NORMATIVIDAD

¿Hay algo que une los juicios 'Esta es una cámara pobre', 'Esta es una cámara que funciona mal', y 'Hacer fotos es lo que se supone que debe hacer esta cámara', y ¿es algo correctamente identificado como normatividad? Para responder a esta pregunta, lo que necesitamos es una caracterización de la normatividad. Tradicionalmente, la normatividad tiene que ver en primer lugar con lo que es correcto. La corrección y su agravio opuesto conciernen a nuestras acciones: un acto particular de una persona en particular puede ser lo correcto o lo incorrecto que hacer en las circunstancias de esta persona, es decir, lo que esta persona debe o no debe hacer. La mayoría de los autores consideran que el ámbito de la normativa es más amplio que saber el hecho de lo que debemos o no debemos hacer. Las cuestiones relativas a la corrección o al idoneidad de las acciones pertenecen a la parte deóntica de la normativa. Otra parte de este dominio se refiere a lo que es bueno en lugar de correcto. La bondad y la maldad no se refieren a nuestras acciones, sino a las situaciones en las que actuamos y que nos hacen actuar, o a las situaciones que surgen de nuestras acciones. Así que lo que es bueno o malo, o lo que tiene valor, son en primer lugar estados de cosas. Sin embargo, aparte de los estados de cosas, también se dice que otras cosas que de alguna manera están relacionadas con las acciones tienen valor:

personas como creadores de acciones, motivos como las "unidades" de tales acciones, y objetos en la medida en que son el producto de tal acción: artefactos. Las cuestiones relativas al valor, pertenecen a la parte evaluativa de la normativa. Si se toma la normativa como un reino unificado, las declaraciones evaluativas y deónticas deben estar relacionadas. Sin embargo, ha habido poco consenso sobre cómo debe verse esta relación, en particular no en lo que respecta a cuestiones básicas como si la relación entre lo que es bueno y lo que se debe hacer es analítica o sintética, necesaria o contingente, o si lo que uno debe hacer depende o es reducible de lo que es bueno, o si lo que es bueno depende de lo que uno debe hacer, o si es independiente. A raíz de una reciente propuesta de Dancy [2005], calificaremos la normativa en general de la diferencia que los hechos sobre el mundo hacen a la pregunta qué hacer o creer o apuntar a. Un hecho normativo, más en particular, es el hecho de segundo orden de que un hecho o conjunto particular de hechos sobre el mundo es relevante para las deliberaciones de alguien sobre sus acciones, creencias o objetivos. Esta «definición» no caracteriza la normativa exclusivamente en términos no normativos; en cambio, saca a la luz la base subyacente a toda la normatividad, a saber, la relación de pertinencia entre la pregunta de qué hacer, creer o apuntar y los hechos sobre cómo es el mundo. Estos hechos que hacen una diferencia normativa no tienen por qué ser hechos naturales "puramente" tal como se entienden comúnmente. Incluyen hechos intencionales, es decir, hechos que indican lo que ciertas personas hacen, sienten, esperan y similares. Tales hechos importan tanto o incluso más a lo que motiva nuestro propio comportamiento como los hechos naturales; dolor de alguien, por ejemplo, sin duda es una razón para consolarla. Incluso los hechos normativos, si uno acepta su existencia, tal vez podrían tomarse para hacer una diferencia normativa, pero dado que estos hechos normativos pueden ser analizados como hechos de segundo orden que establecen la importancia normativa de otros hechos de menor nivel, la definición analiza en última instancia la normatividad en términos de una relación de pertinencia normativa que vincula los hechos no normativos (naturales y/o intencionales) con las acciones, creencias y objetivos de las personas.

Al hablar de hechos normativos, se puede ver que se toma una posición en el debate entre el cognitivismo y el no cognitivismo en la ética. Los cognitivistas consideran que las declaraciones sobre lo que debemos hacer pueden ser verdaderas o falsas y que hay hechos normativos "ahí fuera" que sirven como verdaderos responsables de las declaraciones normativas. Los no-

Cognitivistas sostienen que las declaraciones normativas carecen de valores de verdad; son un tipo diferente de cosa en comparación con las declaraciones descriptivas, que tienen valores de verdad. En cambio, las declaraciones normativas, por ejemplo, expresan una actitud que el orador tiene hacia las acciones o creencias de alguien. Sin embargo, en nuestra opinión, el análisis es independiente de si el cognitivismo o el no cognitivismo son "correctos". Una lectura no cognitivista de nuestra definición, interpretaría que una declaración normativa es una declaración que expresa que un hecho particular se considera pertinente para la pregunta de una persona qué hacer, creer o apuntar.

En cuanto a la caracterización general de la normativa adoptada aquí, las declaraciones deónticas —declaraciones que dicen que uno debe o no hacer algo— son, por supuesto, declaraciones normativas abreviadas directamente. Ellos resuelven la pregunta de qué hacer diciendo lo que uno debe hacer, pero lo hacen sin traer las características del mundo que fundamentan esta afirmación, o este hecho, si usted cree que la afirmación normativa informa de un hecho. Tenga en cuenta que en la caracterización adoptada de la normatividad, la relación entre una prescripción y el motivo para ella es básica, no la prescripción en sí. La amplia caracterización de la normatividad que se atiende aquí, también permite una interpretación de las declaraciones evaluativas como declaraciones normativas completas abreviadas, pero la abreviatura ahora se refiere más a la cuestión de qué hacer que los motivos para hacerlo. Una declaración evaluativa, diciendo de un objeto o una situación que es bueno o malo, indica que una característica particular del objeto o la situación es relevante para la pregunta de qué hacer, sin embargo, sin especificar, esta relevancia.

En efecto, aún queda por detallar la relación de pertinencia entre los hechos de primer orden y la cuestión de qué hacer, creer o apuntar. Se tomará como una razón para dar relación. Desde la obra de Joseph Raz [1975], la noción de una razón se ve como el concepto normativo básico. La normativa se refiere a las razones que tenemos, o tomamos para que, para hacer, creer o apuntar a algo. Sin embargo, si tenemos una razón para hacer algo, esto no hace el caso de que debamos hacerlo. Si algún hecho dentro de la totalidad de los hechos nos da una razón para hacer algo, esto no excluye que otro hecho nos dé una razón en contra de hacer esto si debemos o no hacer algo depende del equilibrio de todas las razones que tenemos a la vez o en contra de hacerlo.

Aunque podemos distinguir entre razones para hacer una cosa en particular, razones para creer algo y razones para apuntar a algo, estos tres

ingredientes de acción no están a la par. Muchas creencias y deseos se nos ocurren espontáneamente, no como resultado de ninguna deliberación. Si se preguntan si se debe formar la creencia de que hay un tomate rojo en la mesa frente a ti, sobre la base de este tomate rojo acostado en la mesa frente a ti, ya crees que hay un tomate rojo en la mesa frente a ti. Si te preguntas si hay alguna razón para apuntar a tener un helado de vainilla en este momento, que (plausiblemente) ya poseen el anhelo o el deseo de helado de vainilla en este momento. Las creencias básicas y los deseos o preferencias básicas (en el sentido cotidiano de la palabra en lugar del sentido técnico de la teoría de decisiones) son anteriores al razonamiento y la racionalidad. Al revisar o sopesar razones a la hora o en contra de creencias y deseos, esto generalmente se refiere a razones para retener o dejar caer una creencia formada previamente sobre la interpretación de la evidencia sensorial o para adoptar una creencia, como resultado de un razonamiento en lugar de evidencia sensorial directa, o se trata de adoptar como fin algún estado de cosas en particular o mantener o abandonar o reordenar algunos de sus objetivos adoptados anteriormente. Hablar en términos de actuar o creer o desear como la triple clasificación de las cosas para las que tenemos razones, puede pasar por alto la distinción, con respecto a creer, entre llegar a creer algo, sobre la base de la percepción sensorial directa, y retener o adoptar una creencia, y también puede pasar por alto la distinción, con respecto a desear, entre sentir un deseo de algo y mantener o adoptar algo como fin. Para sacar esto a la venta, hablaremos, en el resto de este escrito, de todas las razones como razones para hacer algo. Actuar no es, sobre este uso, idéntico a hacer algo; es una forma de hacer. Sin embargo, dado que no debemos perder la distinción entre racionalidad teórica y práctica, debemos distinguir las formas teóricas y prácticas de hacer.

Por último, antes de pasar a poner este análisis a trabajar para explicar la dimensión normativa de los artefactos técnicos, cabe señalar que la caracterización de la normatividad adoptada aquí es ciega al tipo de razones que pueden distinguirse, por ejemplo, ya sean razones morales, o razones prudenciales, o otras. Cualquier conflicto que uno pueda pensar posible, o incluso inevitable, entre diversos tipos de razones, en particular, entre razones morales y razones prudenciales, debe debatirse en la escala en la que se determina el equilibrio de razones.

3 DECLARACIONES EVALUATIVAS COMO DECLARACIONES NORMATIVAS

Con el aparato anterior en su lugar, no es difícil detallar cómo las declaraciones evaluativas que involucran artefactos técnicos, tales como 'esta cámara es buena, pueden ser interpretadas como declaraciones normativas. Por lo general, se toma, una declaración evaluativa apunta a una propiedad de lo que se evalúa como de una manera particular relevante para la pregunta de qué hacer. Para ser informativo, hay que especificar la naturaleza de la relevancia, pero hay una manera obvia de hacerlo en el caso de los artefactos técnicos. Los artefactos técnicos se utilizan para un propósito, por el cual el usuario tiene como objetivo realizar un resultado particular, que él o ella no sería capaz de realizar, o mucho menos satisfactoriamente, sin usar el artefacto. La "bondad" o "pobreza" de un artefacto se refiere a las características del artefacto que son relevantes para su uso. Hay que destacar que declaraciones evaluativas como "Este es un buen cuchillo" presuponen la existencia de tipos en los que se pueden agrupar artefactos, en este caso el tipo de 'cuchillo'. Es como cuchillo, que el artefacto se evalúa como bueno. Los artefactos están diseñados como tipos (incluso si sólo se fabrica una copia) para ser utilizados para lograr un propósito particular, que entonces es para lo que son, cuál es su función. Entonces podemos suponer que los tipos de artefactos son de hecho tipos funcionales. Un taladro es un artefacto utilizado para perforar agujeros; una sierra está hecha para aserrar a través de objetos, un martillo para martillar objetos puntiagudos en una superficie, y así sucesivamente. De hecho, nos referiremos a los artefactos como representantes de tipos funcionales, por ejemplo, el tipo K, y nos referiremos a la actividad constituida por su uso en términos de este tipo como K-esima. Sin embargo, es un error pensar que todos los tipos de artefactos son tipos funcionales. Para empezar, la noción de un tipo funcional es ambigua entre los objetos que se utilizan para un propósito particular y los objetos que se están utilizando para ser utilizados para un propósito particular [Franssen, 2008]. La primera categoría incluye objetos naturales, la segunda incluye objetos que nunca se pueden utilizar como diseñados o que pueden ser incapaces de ser utilizados, debido, por ejemplo, a un componente roto o faltante. A menos que se indique lo contrario, presupondrá que los tipos de artefactos a los que nos referimos, son los tipos que son por diseño, de modo que un artefacto en particular, diseñado para ser, por ejemplo, un taladro, de hecho clasifica como un taladro incluso cuando está funcionando mal. La idea de mal funcionamiento presupone que los tipos de artefactos son subtipos de tipos funcionales: de lo contrario no habría nada que nos impida llamar a un cubo de azúcar, un teléfono que no funciona

correctamente. Por implicación, el historial de diseño de un artefacto debe contarse entre sus características.

Pero incluso en el nivel de tipo, es decir, sin tener en cuenta el mal funcionamiento de las muestras, los tipos de artefactos que emergen del diseño técnico no coinciden con tipos puramente funcionales. Toma un cuchillo. Un cuchillo se utiliza para el corte, pero la clase de cuchillos no es idéntica a la clase de cortadores, es decir, instrumentos diseñados para el corte. Hay muchas maneras de cortar a través de algún material, y el uso de un cuchillo es sólo una de ellas; también se puede cortar con un hilo, con una antorcha de corte, con un rayo láser, con un chorro de agua de alta presión, y así sucesivamente. Se puede especificar la naturaleza de la actividad de uso, por ejemplo describiéndola como cortar por ejercer la presión en una dirección, o el corte a mano, y esto puede eliminar algunos de los instrumentos de corte enumerados (por ejemplo, la antorcha de corte), pero no eliminará todos excepto los cuchillos (por ejemplo, no el hilo). Sería difícil circunscribir la actividad de "cortar" de tal manera que el concepto de un cuchillo pueda definirse en términos de ello, en lugar de que presuponga el concepto de cuchillo. Consideraciones similares se aplican a todos los demás tipos de artefactos, con la inclusión de taladros, sierras y martillos. Nuestras definiciones de tipos de artefactos incluyen aspectos no funcionales, principalmente morfológicos en relación con su principio operativo, es decir, la forma en que "trabajan". Pero aunque la distinción entre tipos funcionales y tipos de artefactos es importante para un relato adecuado de la noción de función como tal, incluida la función de los elementos biológicos, no se cree que importe mucho el análisis de la dimensión normativa de los artefactos, y por lo tanto los trataremos como especímenes de categorías funcionales que son uno-uno relacionados con las prácticas de uso.

Ahora empezaremos a dejar claro cómo los juicios de artefactos evaluativos pueden interpretarse como hacer afirmaciones normativas. Una primera propuesta para interpretar una declaración como «x es una buena K» como la expresión de un hecho normativo, o la que se hace una reivindicación normativa, es la siguiente:

«x es una buena K» expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f que hacen x a K y que hacen que sea el caso de que si una persona p desea K, entonces p tiene una razón para utilizar x para K-ésimo.

Por ejemplo, si x es un cuchillo, entonces el uso que se haga de él es para cortar. Prima facie, en este análisis se analiza la declaración «x es una buena K»

en el sentido de que se indica dos hechos distintos a la vez: el hecho de que x es una K , y el hecho de que una persona p que desea K tiene una razón para utilizar x para K -ésimo. Esto es cierto, pero abordaremos esto más adelante en la siguiente sección. Por ahora, que se tenga en cuenta que la adición de la condición 'si una persona p desea K ' es necesaria y refleja que los artefactos, si se utilizan, se utilizan para un propósito. Si alguien no tiene un propósito apropiado, no tiene ninguna razón para usar x , independientemente de las cualidades de x .

Un punto importante contenido en este análisis es que las características particulares de x por sí solas no pueden dar a p una razón convincente o concluyente para utilizar x para K -ésimo, tal que p debería utilizar x para K -ésimo. Por muy bueno que sea x , un espécimen de una K , es posible que otro artefacto x' esté a la mano que sea superior a x en lo que respecta al K -ésimo. En este caso, en la medida en que hay cualquier artefacto que p debe utilizar, sería x' en lugar de x . Alternativamente, se puede tener razones fuertes, incluso concluyentes para no utilizar x de un tipo completamente diferente: puede ser ilegal para nosotros, utilizar x' , por ejemplo porque no poseo x .

Sea como fuere, la propuesta anterior no puede ser correcta. Supongamos que x es un cuchillo largo y afilado y que la señora P tiene la intención de tener cortada la garganta del Sr. P , debido a sus ronquidos fuertes. En el presente análisis se deduce que llamar al cuchillo un buen cuchillo es una forma de expresar el hecho normativo de que las características particulares del cuchillo, su nitidez, por ejemplo, dan a la Sra. P una razón para utilizar el cuchillo para cortar la garganta del Sr. P . Pero no puede ser correcto que a la Sra. P se le conceda una razón para poner el cuchillo en la garganta de su marido, simplemente porque ella desea hacerlo y un cuchillo que haría el trabajo está disponible. Hay actos por los que nunca se puede dar ninguna razón para realizarlo (salvo circunstancias tal vez extraordinarias), y el corte de la garganta de alguien para poner fin a sus ronquidos es uno de ellos. En este caso hay razones morales y tal vez también prudenciales en contra de hacerlo, ya que bien puede ser que en un momento posterior la Sra. P venga a lamentar su acto. Ya sea por la fuerza de una sola razón imperiosa o en el equilibrio de todas las razones, la Sra. P no debería cortar el cuello de su marido y no debería utilizar el cuchillo para hacerlo. Sin embargo, que ella no debe usar el cuchillo para cortar el corto ronquido de su marido no disminuye de ninguna manera la bondad del cuchillo.

Esta dificultad podría ser reparada dejando que la razón para utilizar el artefacto esté condicionada por un deseo o objetivo justificable, de tal manera que se pueda decir, que el usuario tiene una razón antecedente, ya que la siguiente segunda propuesta lo tiene:

'x es una buena K' expresa el hecho normativo que x tiene ciertas características f que hacen x a K y que hacen que si una persona p tiene una razón para K-ésimo, entonces p tiene una razón para usar x para K-ésimo.

Sin embargo, este movimiento parece perder el punto. Aunque es cierto que si x es una buena K, entonces si p tiene una razón para K, p tiene una razón para usar x para K-ésimo, me parece que esto no es más que una implicación de lo que 'x es una buena K' expresa. La bondad del cuchillo es un valor instrumental; el cuchillo es bueno como un instrumento en particular, en este caso, un cuchillo. Tal vez queramos negar que la Sra. P, tiene una razón para utilizar el cuchillo para cortar la garganta de su marido, pero eso no cambia en lo más mínimo el hecho de que el cuchillo es recomendable para cortar, abstraerse de la finalidad para la que se realiza el corte. Para que esto sea explícito, el análisis no debe ser en términos de razones simples, sino de lo que Broome [1999] llama "requisitos normativos" y Dancy [2000a] llama a tareas complejas. Las razones que las características del cuchillo proporcionan a una persona no son razones directas para una acción, sino razones para mantener una conexión entre lo que la persona pretende lograr, su fin, y lo que esta persona utiliza para satisfacer este objetivo, los medios hasta el final. El caso es similar, por ejemplo, a la racionalidad de la creencia de la siguiente manera. Puesto que p y $p \rightarrow q$ juntos implican q, puede parecer que si usted cree p y si $p \rightarrow q$, entonces usted debe creer q. Sin embargo, esto no sigue, ya que si usted no debe creer p, porque p es falso, entonces no es así que usted debe creer q. Lo que se debe hacer es algo complejo: se debe mantener una cierta conexión entre las creencias: (si se cree p y si $p \rightarrow q$, creer q). Hay dos maneras en las que se puede satisfacer este requisito: uno es creyendo q, el otro es detenerse a creer p, y si p es falso, este último es lo que debe hacer. Para uso instrumental, las características de un artefacto x no requieren de usted que (si desea K, se utiliza x para K-ésimo), simplemente le dan una razón para ver que (si desea K, se utiliza x para K-ésimo). Así que llegamos a una propuesta final:

'x es una buena K' expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f que hacen x a K y que hacen que una persona p tenga una razón para asegurarse de que (si p desea K, entonces p utiliza x para K-ésimo).

Hay dos maneras en que p puede satisfacer lo que las características de x le dan razón para: al aferrarse a su deseo de K y luego utilizar x para K-ésimo, o dejando caer el deseo a K. Y si p no tiene buenas razones para K-ésimo, entonces dejar su deseo es lo que tiene una razón concluyente para hacer.

El término «requisito normativo» introducido por Broome se refiere únicamente a un requisito estricto o a un deber complejo: x requiere y para p significa que p debe procurar que (si x es el caso, entonces y es el caso). La forma no estricta que se trata en el caso del valor instrumental es lo que Broome llama una recomendación normativa:

'x recomienda y para p' significa que p tiene una razón para ver esto (si x es el caso entonces y es el caso). Utilizando esta noción de una recomendación normativa, la propuesta final puede recibir la siguiente forma más corta:

'x es una buena K' expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f que hacen x a K y que hacen el caso de que el deseo una persona p a K recomienda que p utiliza x para K-ésimo.

La imagen reflejada de la propuesta anterior para interpretar las evaluaciones positivas como declaraciones normativas es la siguiente interpretación de las evaluaciones negativas como declaraciones normativas:

«x es una K pobre» expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f que hacen x a K y que hacen el caso de que el deseo de una persona p a K recomienda que p no utilice x para K-ésimo.

Sin embargo, en este caso, la referencia al deseo de p a K es superflua. Las características de x hacen que sea el caso de que cualquier persona p tiene una razón pro tanto para no utilizar x para K-ésimo. Si p no tiene ninguna razón para K, entonces esto da a p una razón concluyente para no utilizar x para K-ésimo, pero eso no hace nada para disminuir la razón independiente para no usar x que está basado en las características de p:

'x es una K pobre' expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f que hacen x a K y eso hace que sea el caso de que una persona p tiene una razón para no utilizar x para K-ésimo.

Lo que queda es, de nuevo, que uno no puede ir más allá de decir que p tiene una razón para no utilizar una x pobre, no que p no debe utilizar x. Por muy pobre que sea una K x, si no hay alternativa disponible p todavía puede tener

una razón para usar x , si sólo la necesidad de p para K -ésimo es lo suficientemente urgente. Las declaraciones evaluativas básicas expresan, por lo tanto, que las características del artefacto en sí son tales que proporcionan una razón por tanto, para o en contra del uso del artefacto para el propósito al que fue diseñado.

Un último punto a tener en cuenta es que el análisis propuesto simplifica considerablemente en el sentido de que, no tiene en cuenta una serie de cuestiones importantes relacionadas con el uso de artefactos. Aparte de la necesidad de p para K -ésimo o deseo para el resultado de K -ésimo, y características de x para f , por lo general otras condiciones deben ser satisfechas también. Tomemos el siguiente ejemplo: deje que x sea un buen coche, ya que tiene características tales que p , que necesita hacer las compras para la próxima semana, tiene una razón para usarlo para conducir al supermercado local. ¿Significa esto que p' tiene una razón para usar el auto para conducir a su escuela local? No si p' tiene doce años. En este caso ella definitivamente tiene una razón para no usar el coche para conducir a la escuela. [2002] argumentan que cada artefacto técnico está incrustado en un plan de uso que especifica qué operaciones del artefacto conducirán al estado final que corresponde a la función del artefacto. Un plan de uso contiene de forma tácita o explícita las circunstancias que deben obtener y las capacidades que el usuario debe mostrar para que estas operaciones conduzcan al estado final deseado. Un termómetro clínico no se puede utilizar con éxito para comprobar la temperatura de un horno, un taladro eléctrico sólo funcionará cuando se conecta a una toma de corriente eléctrica, una linterna necesita un nuevo conjunto de baterías, y una moto-sierra empuñada por alguien con potencia muscular insuficiente y sin entrenamiento, cortará algo más que la madera que necesita ser aserrada. Una interpretación más precisa de las declaraciones evaluativas positivas como normativa, por lo tanto, dice:

« x es una buena K » expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f que hacen x a K y que hacen el caso de que (1) p deseo a K y (2) la conformidad con el plan de uso para x de (i) capacidades p , (ii) el conocimiento , y iii) las circunstancias en las que p opera, recomiendan conjuntamente que p utilice x para K -ésimo.

La adición de las condiciones mencionadas en la cláusula (2) deja intacto el análisis básico, sin embargo, y habiéndolo señalado que me olvidaré de ellas en el resto de este capítulo.

4 DECLARACIONES DE FUNCIONAMIENTO Y MAL FUNCIONAMIENTO COMO DECLARACIONES NORMATIVAS

Los resultados de las secciones anteriores se pueden extender a instrucciones sobre artefactos que no son juicios evaluativos explícitos. Esto se aplica, por ejemplo, a la siguiente declaración:

«x es una K en orden de trabajo» expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f que hacen x a K y que hacen el caso de que un deseo p's de una persona a K recomiende que p utiliza x para K-ésimo.

En otras palabras, 'x es una K en orden de trabajo' dice que x es una K y que x es útil para K-ésimo. Definitivamente hay que añadir que x está en orden de trabajo; el mero hecho de que x es un artefacto de un tipo funcional particular K por diseño no es suficiente para recomendar su uso a cualquier persona con un deseo de K-ésimo, ya que x podría ser una muestra de ese tipo que no funciona correctamente.

Con las declaraciones de mal funcionamiento, hemos llegado a la segunda clase de declaración normativa que se distingue en la sección 1. Las declaraciones de mal funcionamiento no están a la luz de las declaraciones evaluativas y, por lo tanto, no está claro por qué se puede convencer tan fácilmente de que representen declaraciones normativas, sin un análisis que base esta interpretación, tal como se ha desarrollado aquí. Decir que algunos fallos técnicos de artefactos, es decir, que es incapaz de realizar la función para la que fue diseñado. Al igual que 'Este es un simulacro en el orden de trabajo', esto no contiene palabras evaluativas en absoluto. Sin embargo, una declaración de mal funcionamiento puede ser analizada como una frase normativa como las declaraciones evaluativas de la sección anterior, como sigue:

'x es una K que no funciona correctamente' expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f que hacen x a K y que hacen el caso de que una persona p tiene una razón para no utilizar x para K-ésimo.

Como en el caso de 'x es una K pobre', la referencia al deseo de p o a la razón de K es ahora superflua. ¿Debemos conservar el 'uso x' restringido para K-ésimo? Seguramente, si mal funcionamiento de x, entonces uno tiene una razón para no utilizar x corta todo. Sin embargo, esto, no es cierto, ya que el uso que se puede hacer de un artefacto no se limita para lo que está diseñado. Supongamos que p es dueño de un hierro quemado. No es cierto que p ahora tiene una razón

para no utilizar el hierro, ya que p puede desear utilizar el hierro como un pisapapeles, y sirve perfectamente para ese propósito. De alguna manera sirve a este propósito mejor que un hierro funcional, ya que ahora no hay conflicto de usos, queriendo planchar una camisa mientras se organizan los papeles en el escritorio.

Del mismo modo, parecería que la diferencia entre el funcionamiento deficiente y el mal funcionamiento debería sacarse a la luz diciendo que, mientras que uno todavía puede tener una razón para utilizar una K pobre para K-ésimo — cuando no hay mejor alternativa disponible y el valor asociado al resultado de K-ésimo apoya su hecho mal — uno no puede tener una razón para utilizar una K mal funcionamiento para K-ésimo, ya que una K que no funciona correctamente no le permitirá K en lo más mínimo. Así que tendríamos que decir que, en el caso de un mal funcionamiento K, p tiene una razón convincente o concluyente para no utilizar x para K-ésimo, en otras palabras, que p no debe utilizar x para K-ésimo. Si esto es correcto depende de la pregunta de cuán nítidamente se pueden definir las funciones de artefactos o cuán nítidamente se pueden suponer que se definen, una pregunta relacionada con el problema de los tipos funcionales a los que se hace referencia al principio de la sección 3. Supongamos que Jack tiene la intención de robar un banco pero descubre que su arma está atascada. ¿Tiene Jack ahora una razón concluyente para no usar el arma para el robo? Yo diría que no lo ha hecho, ya que razonablemente puede esperar que simplemente agitar el arma alrededor hará el trabajo. Esto, sin embargo, podría basarse en una interpretación demasiado agradable del tipo K al que pertenece x. Las armas no son para robar bancos, son para disparar, y Jack seguramente no debería usar su arma atascada para disparar.

Sin embargo, a menudo requiere un poco de pensamiento cuidadoso, lo que el uso de un artefacto en particular incluye y si uno siempre tiene una razón concluyente contra el uso de un artefacto que no funciona correctamente de acuerdo con un plan de uso que coincida con los requisitos de diseño. Las armas están hechas para disparar, pero también las armas antidisturbios y las armas de aire, y sería desaconsejable que Jack robara el banco con una pistola de aire. Las armas están hechas para disparar a matar y es sobre esa base que uno puede usar un arma para amenazar a la gente. Así que también se puede decir que un arma pertenece al tipo de artefacto de armas amenazantes, y como un representante de ese tipo, un arma atascada no tiene por qué clasificar necesariamente como un arma que funciona mal, mientras que un cuchillo con una hoja rota probablemente lo haría. Por lo tanto, los juicios evaluativos

relativos a los artefactos son muy sensibles a una coincidencia precisa entre el diseño y el uso. Un cuchillo para cortar pan no es un buen cuchillo para cortar tomates, y viceversa. Puede ser una pregunta inútil para hacer cuál de los dos es el mejor cuchillo, el cuchillo de cortar el pan o el cuchillo de cortar el tomate. Yo diría, sin embargo, que el hecho de que ambos son cuchillos implica que, si algo tiene que ser cortado, este por tanto, recomienda el uso de cualquiera de ellos para hacer el corte.

Incluso se puede argumentar que lo que hace que un artefacto sea bueno o pobre no sólo depende del tipo funcional pertinente a tener en cuenta, sino también de las circunstancias en las que se va a utilizar. Si todo está bien, estas circunstancias se han tenido en cuenta en los requisitos funcionales que guían el diseño y son atendidas en el plan de uso del artefacto. De dos violines, uno puede ser mejor para realizar un recital en interiores (y este será probablemente el violín que llamamos el mejor comportamiento) mientras que el otro es considerado el mejor violín para un concierto al aire libre en un día lluvioso. Y si hubiera un mercado para violines para comportamiento en días lluviosos, y una industria manufacturera correspondiente, ya no debería ser obvio qué violín será considerado el mejor tribunal de “todo”. O, extendiendo esto incluso a la evaluación de artefactos versus no artefactos, si en una situación de emergencia en condiciones caóticas, una herida necesita ser cortada, entonces el uso de una astilla de vidrio bien puede ser una mejor opción que recoger un cuchillo que está acostado allí, porque el cuchillo, por ser un cuchillo, puede haber sido utilizado de maneras que pondrán a la víctima en un mayor riesgo de infectarse que el uso de la astilla de vidrio. En la sección anterior se señaló que la noción de un tipo funcional es ambigua entre los objetos que se utilizan o se pueden utilizar para un propósito particular y los objetos que se están utilizando para ser utilizados para un propósito particular. También sugerí en la sección anterior que, en la cuenta que hemos adoptado, se analiza la declaración «x es una buena K» en el sentido de que se indicaban dos hechos distintos a la vez: el hecho descriptivo de que x es una K y el hecho normativo de que una persona p que desea a K tiene una razón para utilizar x para K-ésimo. De hecho, estas dos cuestiones están fuertemente relacionadas. En cuanto a la sentencia «x es una buena K», la siguiente propuesta de interpretación de la misma en referencia a hechos normativos lo pone de la mejor manera:

«x es una buena K» expresa el hecho de que x tiene ciertas características f que hacen x a K y expresa el hecho normativo de que x tiene

ciertas características físicas f que hacen que el deseo K de una persona p recomiende que p utiliza x para K -ésimo.

La declaración evaluativa ' x es una buena K ', por lo tanto, se puede ver como una conjunción de dos declaraciones, una que dice ' x es una K ' y la otra ' x es útil para K -ésimo' o ' x es útil como K '. He dejado abierto si ' x es una K ' es interpretable como un hecho normativo; esto será tomado en un momento. La segunda parte lleva la carga normativa que ha sido fundamental para mi análisis hasta ahora:

' x es útil como K ' expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características físicas f que hacen que sea el caso de que el deseo de una persona p a K recomienda que p utiliza x para K -ésimo.

Las características que recomiendan el uso de x para K -ésimo que la bondad de puntos para x , son necesariamente características físicas de x . Así es exactamente, como se distingue la bondad instrumental de otras formas de bondad que dan razones de uso. La bondad instrumental puede referirse a las propiedades del usuario, pero estas son de nuevo propiedades físicas; no se refieren a las propiedades individuales de la persona en particular que utiliza el artefacto. La bondad de un cuchillo, por ejemplo, reside en las propiedades físicas por las que permite a su usuario hacer cortes de una suavidad particular. Esto no se puede definir independientemente de la presión que se ejerce sobre el cuchillo, que debe ajustarse al humano promedio. Un cuchillo que es capaz de cortar suavemente pero sólo cuando se presiona con una fuerza de 100 kgf no es un buen cuchillo y posiblemente ni siquiera un cuchillo que es útil para el corte. Un cuchillo que hace cortes suaves cuando se manipula con presión normal es, entonces, un buen cuchillo, sin duda un cuchillo útil para el corte, y el deseo de alguien de cortar recomienda el uso de este cuchillo. Sin embargo, un cuchillo también puede tener propiedades no físicas de tal manera que el deseo de una persona en particular de cortar, recomienda el uso de este cuchillo: puede ser un cuchillo que esta persona recibió como regalo; su uso le recuerda al dador, por lo que su deseo de cortar recomienda el uso de este cuchillo en particular. Sin embargo, recomendaciones como estas, no tienen nada que ver con la calidad del cuchillo como cuchillo. Se puede pensar que estos casos están bloqueados porque las razones que se basan en propiedades no físicas sólo pueden ser razones para personas particulares, y el análisis, formalmente hablando, cuantifica sobre las personas. Sin embargo, esto no es así. Supongamos que sólo queda un cuchillo en la tierra. Entonces el deseo de cualquiera de cortar

recomienda el uso de este cuchillo, pero esto no hace que el cuchillo sea un buen cuchillo. Por lo tanto, las propiedades que tienen en valor una recomendación para el uso de un artefacto, donde la evaluación del artefacto refleja la fuerza de la recomendación, deben especificarse como propiedades físicas del artefacto. Del mismo modo, una declaración de mal funcionamiento como 'x es una K que no funciona correctamente' se puede ver como una conjunción de las dos sentencias 'x es una K' y 'x es inútil como una K'. Esta última conjunción, de nuevo, lleva la carga normativa de la recomendación use-(non):

x es inútil como K» expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características físicas f' que hacen que una persona p tenga una razón para no utilizar x para K-ésimo.

Estos resultados se pueden presentar como la formación de una jerarquía de hechos normativos sobre objetos en relación con el uso que podemos hacer de ellos: x puede ser útil para K-ésimo o puede ser inútil para K-ésimo. Si x es útil para K-ésimo, puede ser el caso de que x es un K de trabajo o que x no es un K, siendo un objeto natural o un artefacto diseñado para alguna otra función que no sea K-ésimo, pero que puede servir como una K, o hacer un K. Algunas xs, de nuevo, que son Ks son buenas Ks, al igual que algunas xs que pueden servir como Ks hacen particularmente buenos Ks. Si, en cambio, x es inútil para K-ésimo, puede ser el caso de que x no es una K y no hace una K tampoco, o que x es un Mal funcionamiento K.

Lo que queda ahora es ver si la mera adscripción de la función puede interpretarse como un hecho normativo. Dado que un espécimen de un tipo de artefacto puede ser un espécimen que no funciona correctamente, el hecho de que x es una K, no implica que tenga características tales que el deseo de alguien de K recomiende que esta persona utilice x para K-ésimo. Una forma de evitar esta dificultad es la siguiente propuesta: «x es una K» expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f' que hacen que el deseo de una persona a K, recomiende que p utilice un espécimen del tipo al que x pertenece para K-ésimo.

Si consideramos que «el tipo al que pertenece x» es el propio tipo funcional K, esta propuesta recoge el hecho de que los Ks "normalmente" tienen características que recomiendan su uso para K-ésimo —deben tener para clasificar como Ks—, pero no resuelve la dificultad de que para cualquier x en particular eso es una K, el hecho de que es una K no es suficiente para recomendar su uso. Si tomamos "el tipo al que pertenece x" como un tipo más

estrecho, un tipo de artefacto del tipo que se distingue de un tipo funcional en la Sección 3, la propuesta puede ser francamente falsa, debido a la posibilidad de un mal funcionamiento del tipo. El mal funcionamiento hasta ahora se trató como un fenómeno restringido al nivel de la muestra, por así decirlo: las muestras individuales pueden funcionar mal, pero la mayoría de las muestras que componen un tipo de artefacto funcionarán según lo diseñado. Podemos hablar de mal funcionamiento del tipo cuando un error en el plano que define el tipo hace que todos los especímenes fabricados de acuerdo con este plano fallen, aunque el diseño es una elaboración lo suficientemente correcta de un principio operativo particular para el tipo tan definido para contar como un tipo K. En artefactos complejos de alta tecnología hay numerosas oportunidades para tales errores. Además, las causas del mal funcionamiento también pueden colarse en los detalles que no se especifican en el plano. El cohete ruso Vostok-2M, por ejemplo, funcionaba correctamente cuando se utilizaba soldadura a base de estaño en un filtro particular en el sistema de combustible, pero funcionó mal cuando se utilizó soldadura a base de plomo. En el otro extremo del espectro, hay una categoría de productos de consumo basura donde el mal funcionamiento del tipo parece ser el resultado de una falta de esfuerzo. La propuesta alternativa de interpretar la mera atribución de artefactos como una expresión de un hecho normativo es la siguiente:

«x es una K» expresa el hecho normativo de que x tiene ciertas características f' que hacen que una persona p tenga una razón para creer que un deseo de p a K recomienda que p utiliza x para K-ésimo.

En nuestra opinión, esta propuesta es la expresión correcta de la idea de que K_s normalmente tiene características que recomiendan su uso para K-ésimo. Podemos decir que en esta propuesta, la mera sesión de funciones a un artefacto en particular coincide con la justificación del uso de ese artefacto. La declaración (verdadera) de que un objeto es un artefacto determinado expresa, por tanto, un hecho normativo de un tipo teórico solamente. He argumentado que las características f'' que hacen que un artefacto útil para K-ésimo deben ser características físicas del artefacto. Las características f' , por otro lado, que determinan si x es una K debe incluir características históricas que hagan referencia a las intenciones de los diseñadores de x si x debe ser considerado una K por diseño. Sin embargo, deben incluir características físicas, porque las intenciones de un diseñador (sería) no pueden ser suficientes para determinar artefacto de tipo K-gorro, como se argumentó en la sección 3. Los tipos funcionales y los tipos de artefactos son básicamente términos de éxito;

difícilmente podemos concebir la existencia de un artefacto tipo K si no hay objetos que tengan las propiedades físicas que permitan que se utilicen para K-ésimo. Aún así, las características f' no necesitan incluir todas las características físicas incluidas en f y pueden incluir otras adicionales. Un análisis adecuado requiere una investigación detallada de la forma en que se definen los tipos de artefactos y la forma precisa en que los artefactos individuales son miembros de este tipo. No intentaremos este análisis aquí.

Obviamente, casi siempre tenemos razón al esperar que un K-por diseño sea mejor para K-ésimo que un objeto que resulta ser útil para K-ésimo. Aunque no hay nada que lo requiera, es muy natural en la naturaleza del diseño de ingeniería analizar cómo el uso de un objeto en particular, ya sea natural o ya artificial, logra nuestro propósito, y concebir, sobre la base de ese análisis, formas en que se puede mejorar este objetivo, modificando el objeto. Mucho de lo que pasa en el diseño de ingeniería es el rediseño. Por lo general, para cada objeto x que es útil para K-ésimo, en un momento posterior habrá un objeto y que es una K por diseño y que es más útil para K-ésimo que x es.

Se podría argumentar, como objeción al análisis presentado en esta sección, que si « x es una buena K» y « x es una K de trabajo», o incluso simplemente « x es una K», puede interpretarse en el sentido de que expresa juicios normativos, entonces la distinción entre declaraciones evaluativas y descriptivas se evapora. Hay algo de verdad en esta observación, pero no lo veo como contando en contra del análisis. El contenido normativo de 'Esto es un cuchillo' tiene poca fuerza en las condiciones de nuestra vida diaria, pero hay circunstancias, por ejemplo, cuando uno tiene que improvisar con los pocos objetos que están a mano, donde 'Esto es un cuchillo' tiene la misma fuerza de recomendación normativa que 'Este es un buen cuchillo' tiene en circunstancias donde hay varios cuchillos disponibles. En el otro tamaño de la escala, juicios como "Este es un buen cuchillo" o "Este es un cuchillo pobre" pueden considerarse que tienen más contenido normativo que nuestro análisis les da. Sin embargo, me parece que el análisis llega hasta donde podemos llegar mientras estos juicios se tomen de forma aislada. Si nunca has usado un cuchillo antes, ¿cómo decidirías que el que está manejando ahora es un buen cuchillo? ¿El teléfono de Bell era un buen teléfono, o el fonógrafo de Edison era un buen fonógrafo?

Estas consideraciones sugieren que una sentencia de la forma « x es una buena K» tiene un significado que va más allá de la « x es útil para K-ésimo » sólo

en un entorno comparativo. En muchas ocasiones, cuando usamos la expresión, probablemente lo hagamos con un trasfondo implícito de otros Ks en mente. El significado de 'x es una K mejor que y' se puede hacer mucho más preciso, y su contenido normativo se puede especificar como diciendo que el deseo de cualquiera a K recomienda que ella utiliza x en lugar de y para K-ésimo. Sin embargo, no podemos fácilmente fortalecer esto para decir que el deseo de alguien de K requiere que él o ella utiliza x en lugar de y. Mínimamente, tanto x como y deben estar disponibles y no debe haber restricciones institucionales contra el uso de x. E incluso entonces, una persona con habilidades o discapacidades particulares podría ser instrumentalmente mejor usando y en lugar de x.

5 ENTENDER LO QUE LOS ARTEFACTOS DEBEN HACER

Nos dirigimos, finalmente, a la tercera clase de declaración distinguida en la sección 1, a la que 'este dispositivo debería hacer x' y 'este dispositivo se supone que debe hacer x' pertenecen. La forma en que se utilizan tales frases está obviamente relacionada con los dos tipos anteriores: Si x es un bien (o pobre) K, entonces se dice que x hace, o hace bien (o mal) lo que x, como una K, debe hacer, o lo que Ks debe hacer, y si x es un mal funcionamiento de K, decimos que x no puede hacer lo que x, como una K, debe hacer, o lo que Ks debe hacer. Sin embargo, el análisis de las sentencias evaluativas de las dos secciones anteriores no implica mucho acerca de cómo pensar en la frase «x, como K, debe hacer B» como una alegación normativa. Esta afirmación es deóntica en forma, pero claramente no puede interpretarse como literalmente deóntica, y bajo esa interpretación como normativa, como se esboza en la sección 2. La gente puede estar obligada a hacer algo, por tener razones concluyentes para hacerlo, pero no por objetos. Por lo tanto, estas declaraciones deben tomarse como una forma de hablar. Propongo que tales declaraciones, ya sean formuladas en términos de "debería", se entiendan típicamente en el sentido de que ciertas expectativas están en orden. Es decir, al decir que un elemento 'se supone que muestra el comportamiento B' o, equivalentemente, 'debe mostrar el comportamiento B', queremos decir que el orador está justificado en la espera de que se produzca el comportamiento B. Hay dos formas muy diferentes en las que tales expectativas pueden justificarse: las expectativas del orador pueden justificarse epistémicamente o pueden justificarse moralmente. La justificación epistémica implica las consideraciones estándar de la evidencia empírica y la implicación lógica. Estar moralmente justificado al esperar que algo ocurra, alternativamente puede expresarse diciendo que uno tiene derecho a que ocurra, por ejemplo

porque este acontecimiento era parte del contenido de una promesa. Como se muestra en el ejemplo siguiente, las lecturas epistémicas y morales de las declaraciones "debe", dirigidas a los artefactos a menudo se entremezclan y son difíciles de separar. Supongamos que se mete en su coche (y que está de un humor filosófico). Mientras giraba la llave de encendido, podría decir: 'Debería empezar ahora'. En parte se expresa una expectativa que se considera justificada. La base de esta justificación, el conocimiento, no es en este caso de carácter técnico -no sabe casi nada de motores- sino que consiste en el conocimiento en gran medida experiencial como miembro de una sociedad rica y altamente tecnológica. Sin embargo, en parte, la declaración "debe hacerlo" también expresa la creencia de que tiene derecho a su inicio. Si fuera tan poco confiable que no podía esperar que empezara, no valdría la pena la cantidad de dinero que pagó por ella; Ciertamente no habría pagado tanto si hubiera sabido antes que no podía contar con su inicio. Así que siente que puede sostener al fabricante, o, en el caso de un coche de segunda mano, el concesionario de coches, a su parte de un trato que se hizo.

Ahora supongamos que el coche no arranca. Lo llevará al garaje, donde un mecánico está ocupado con él por algún tiempo. Luego se limpia las manos, toma el asiento del conductor, y mientras gira la llave de encendido dice: 'Debería empezar ahora'. Con eso quiere decir que por lo que entiende el coche, ha reparado lo que obviamente estaba defectuoso y no ve ninguna otra razón por la que no debería empezar. Este es un 'debería' puramente epistémico. Luego viene a recoger el auto. Paga y se prepara para irse. Mientras gira la llave de encendido, dice: 'Debería empezar ahora'. Esto es principalmente un 'debería' moral; Está reclamando el derecho a su inicio. Después de todo, cuando un garaje devuelve un coche a su propietario como reparado hay la promesa (implícita) de que ahora está en orden de trabajo. Al decir que el coche debe arrancar ahora, expresa su convicción de que el garaje debe cumplir sus promesas, o debe atenerse a un trato justo: dinero para reparaciones. Sin embargo, un "debería" epistémico, expresando una vez más la expectativa de que se considere justificado sobre la base de probables, aunque no infalibles regularidades de carácter psicológico y sociológico en lugar de técnica, sería igual de bien en orden. Usted se preguntará cómo un garaje puede hacer pésimos trabajos de reparación y lograr sobrevivir en el mercado. Una diferencia importante entre los dos tipos de declaraciones, deben ser que las morales se aplican sólo a los artefactos, mientras que los epistémicos se extienden a cualquier objeto relacionado con el comportamiento del que formamos

expectativas. Cuando decimos que el objeto x 'debe' mostrar el comportamiento B, generalmente queremos decir que, aunque no podemos estar seguros de que el comportamiento B ocurrirá, estamos justificados en nuestra expectativa de que ocurrirá. Tomemos el siguiente ejemplo: 'Cuando suelte esta piedra (sosteniendo bajo el agua), debería hundirse'. Pero alguna corriente inesperada podría evitar que se hundiera, o podría resultar ser pómez, que puede flotar en el agua. Dependiendo del contexto, puede que ni siquiera parezca fuera de lugar decir: "Cuando deja ir esta piedra (sosteniéndola en el aire), debería caer". Tal vez sospecha vagamente que algún truco se va a jugar sobre ud. O puede ser que ud mismo tenga la intención de demostrar a una clase de estudiantes, que nunca se debe celebrar una declaración empírica para ser verdad con absoluta confianza. Los artefactos, por lo tanto, no son especiales en el que tenemos expectativas especiales con respecto a su comportamiento; sólo los terrenos en los que formamos nuestras expectativas son diferentes para los artefactos en comparación con los objetos naturales. Innegablemente, tanto en la lectura epistémica como en la moral, las declaraciones "deberían hacerlo" en cuestión, tienen una dimensión normativa. En la lectura epistémica, la normatividad reside en la noción de estar justificado para tener una cierta creencia, y en la lectura moral reside en la noción de tener un derecho a un comportamiento particular en otras personas, y por lo tanto de estas otras personas que tienen ciertos deberes. Ninguna de estas lecturas revela algo particular sobre los artefactos técnicos. Las declaraciones epistémicas de "debe hacerlo" reflejan aspectos de la racionalidad de la formación de creencias en general, y las declaraciones morales de "debe hacerlo" reflejan aspectos de la práctica normativa de prometer y contraer entre las personas.

De hecho, cuando, en la lectura moral de estas declaraciones "deberían hacerlo", las vemos como afirmando que la persona que pronuncia la declaración, el usuario del artefacto, tiene derecho a que el artefacto pueda desempeñar su función, esto implica que hay un deber para ver que este es el caso sobre los hombros de una o más personas. Por lo general, el diseñador o el fabricante o minorista —o varios de ellos— son responsables de cualquier expectativa decepcionada, lo que significa que 'deberían', en el sentido normativo de honor de sangre de tener razones concluyentes, para hacer algo al respecto— ya sea reemplazar un artefacto que no funciona por un trabajador o reembolsar al usuario, y compensar a aquellos que fueron perjudicados como consecuencia directa del mal funcionamiento del artefacto. Este "deber" consiste en parte en razones morales —una obligación moral directa de reparar los

daños y las pérdidas causadas por el comportamiento reprochable de uno—pero también en razones prudenciales, ya que los clientes decepcionados generalmente tomarán medidas legales contra los fabricantes o minoristas que no entreguen. (Véase también Pritchard, especialmente sobre las normas de atención.) Claramente, todo esto sólo se aplica a un, sin éxito, intentar utilizar un artefacto para la función para la que fue diseñado y vendido para, y para usarlo de acuerdo con las instrucciones de uso y en las circunstancias especificadas en el mismo. Si alguien utiliza un artefacto de acuerdo con su propio plan, basado en su propia investigación después de las capacidades de los artefactos, entonces si el plan falla, el usuario sólo puede culparse a sí mismo, si alguien, por mantener expectativas que resultan haber sido insuficientemente justificados. La noción de culpa puede ayudar a entender el uso del lenguaje deontológico también para las declaraciones epistémicas de "deber" , aunque no hay obligaciones involucradas. Formamos nuestras creencias sobre la base de nuestra interacción con otras personas y con la naturaleza, y esperamos que las respuestas que recibimos sean confiables en cualquier caso. Parece que le aferramos a la naturaleza parte de un trato que supuestamente hicimos con ella cuando la interrogamos, para usar la metáfora de Francis Bacon, tanto como a otras personas a la verdad de lo que nos están diciendo. Debido a que hicimos todo lo posible para comprobar si una creencia sobre ella es verdadera, la naturaleza debe ver que es verdad cuando parece que recibimos una respuesta positiva. Sugiero que esta es la razón por la que usamos una expresión para referirse a dos situaciones muy diferentes. Al formar nuestras creencias sobre el mundo y actuar sobre ellas, siempre corremos el riesgo de ser defraudados, ya sea por nuestros semejantes o por naturaleza; que es aparentemente cómo lo sentimos. Aunque creemos que la interpretación de las declaraciones de "se supone que debe hacer" o "debe hacer" sobre artefactos en el sentido de que expresa que ciertas expectativas están en orden se ajustan a la mayoría de los casos, no pretendo que tales declaraciones deban interpretarse invariablemente de esta manera. Dado que las expectativas morales justificadas a menudo, si no siempre, implican que hay deberes que descansan sobre los hombros de ciertas personas, las declaraciones de "se supone que deben hacer" o "debe hacer" a veces son simplemente una manera circunspectante o educada de decirle a una persona en particular que él o ella debe hacer algo, o al menos tiene una razón fuerte para hacer algo. Además, estas declaraciones a veces simplemente expresan una condición necesaria, siendo formas acortadas de declaraciones como 'Para caer en la categoría X, este artefacto debe hacer y', o 'Con el fin de contar como una X, este dispositivo debe ser como y'. Si tendemos a usar

'debería' aquí en lugar de 'debe' (pero rara vez 'deber'), esto puede ser porque se producen en contextos donde se presupone que hay alguien que tiene la capacidad y / o la responsabilidad de hacer que la cosa en cuestión hacer y o ser como y.

6 A PARTIR DE LOS ARTEFACTOS TECNICOS: LA NORMATIVIDAD DE LOS ELEMENTOS FUNCIONALES EN GENERAL

En la sección 1 se dijo que cualquier explicación de por qué los artefactos admiten declaraciones evaluativas debe ser capaz de explicar por qué se piensa que elementos biológicos específicos también los apoyan. Esto no parece demasiado difícil para declaraciones como "Este es un buen perro guardián" o "ella es una pobre vaca lechera". Podríamos interpretar estas afirmaciones como análogas a una declaración como 'Esta roca hace un buen martillo': como declaraciones que toman las propiedades físicas de determinados objetos naturales para darnos razones para usarlos con un propósito. El perro tiene propiedades que lo hacen apto para ser utilizado para vigilar la casa, y la vaca tiene propiedades tales que uno tiene una razón para no usarlo para obtener leche (aunque todavía podría tener una razón general para hacerlo si no hay otra fuente de leche disponible y usted está, por una buena razón, necesitado de leche). Sin embargo, Sucede muy raramente, que alguien usa un perro o una vaca con la que se encuentra en los campos para mantener un reloj (y luego lo libera) o para conseguir leche para poner en el café. Los perros guardianes y las vacas lecheras se ven mejor como tipos de artefactos genuinos, obtenidos mediante la cría meticulosa y el entrenamiento del "material natural". Una declaración como "Este es un buen perro guardián", por lo tanto, es bastante similar a una declaración como "Esta es una buena bomba de agua". Esto no funcionará para declaraciones como 'Ella tiene un buen corazón' o 'Su hígado es malo'. Tal vez se podría decir que nuestro corazón o hígado sirve a un propósito nuestro, el de mantenerse vivo, pero si lo hace, no es por ser utilizado por nosotros. No tenemos control voluntario sobre nuestros órganos vitales. Tenemos control voluntario sobre algunas partes de nuestro cuerpo, como nuestros brazos y piernas, y podemos decir con razón "Usa tus manos", pero exactamente las partes sobre las que tenemos control rara vez se juzgan como "buenas" o "malas". Podemos decir que alguien tiene buenos ojos y podemos decirle a esta persona que 'use sus ojos', pero estos no están debidamente relacionados: la bondad de los ojos se refiere a la nitidez de la visión, sobre todo, mientras que el uso de sus ojos se refiere a la dirección de la mirada (y la atención, pero eso es más una cosa del cerebro).Lo que vincula una declaración

como "Ella tiene un buen corazón" con 'Esta es una buena bomba de agua' es que tanto los corazones como las bombas de agua son elementos que se dice que tienen una función. La función del corazón en un cuerpo vertebrado es hacer circular la sangre; la función de una bomba de agua es hacer circular el agua en cualquier sistema del que sea un componente. Sin embargo, en nuestra opinión, es un error considerar el concepto de función como el concepto básico y apoyar intrínsecamente las declaraciones normativas. En el caso de los artefactos, la función de un artefacto se le relega mediante nuestro uso como tal. Tener el agua circulando en el sistema a la mano es nuestro propósito primario, y colocar la bomba de agua en el sistema con el fin de que nos permita lograr nuestro propósito es el uso de la bomba, que viene a continuación. Si atribuimos a una bomba de agua que todavía está en el estante, la función de hacer circular el agua en un sistema aún inexistente, podemos hacerlo porque el propósito y el sistema ya están presentes cuando la bomba está diseñada, en forma de los requisitos funcionales que guían el diseño de la bomba. Sin duda, este cuadro implica una cantidad considerable de simplificación. En nuestra sociedad, hay muchos elementos artificiales que generalmente se consideran "ser para" un propósito y "para ser utilizados", pero donde es dudoso que todas las formas relevantes de uso estuvieran representadas durante la fase de diseño. (Ejemplos son sistemas complejos a gran escala, como las infraestructuras, que actualmente se estudian mucho bajo el nombre de sistemas socio-técnicos; véase el capítulo de Bauer en Herder). Además, hay elementos sociales que pueden ser vistos como productos de diseño, que van desde cosas más o menos concretas, como el dinero, hasta completamente abstractos, tales como instituciones, conjuntos de reglas, leyes, etc. En la medida en que tiene sentido decir que se utilizan, lo que resulta particularmente dudoso en el caso de las normas y leyes, implican a muchos usuarios cuyas muchas formas de uso se desarrollan en el transcurso del tiempo, lo que hace imposible representar todo adecuadamente durante su diseño, incluso si fuera cierto que estos "artefactos" socio-técnicos y sociales están diseñados tal como lo son los automóviles y las computadoras. Sin embargo, su diseño es a lo sumo fragmentario y se extiende durante largos períodos de tiempo, a menudo en reacción a los cambios en la forma en que funcionan, inducidos por los cambios en los modos de uso. Las complejidades y las dificultades, especialmente desde el punto de vista del diseño (ingeniería), que conducen a haber comenzado recientemente a recibir una atención académica seria, y no se puede hacer más aquí que señalarlos.

La explicación de lo que queremos decir con la función de un objeto en términos intencionales, ciertamente no está disponible en el caso de los órganos biológicos y otros elementos biológicos a los que se atribuyen funciones, tales como rasgos y formas de comportamiento, ya que no hay propósitos y usos por parte de seres intencionales allí. Esto se extiende a su uso explicativo en las llamadas teorías funcionalistas en sociología y antropología social, ya que tales explicaciones eluden completamente las intenciones de las personas individuales. Depende de la forma precisa en que las funciones de los elementos biológicos o sociales se basen en otros términos que no sean propósitos y utiliza, si las atribuciones de funciones a elementos naturales o sociales apoyan declaraciones normativas de los diversos tipos que aquí se distinguen. Sin embargo, no hay consenso sobre la teoría correcta de las funciones de los elementos biológicos, y es muy cuestionada si la atribución de funciones a los elementos sociales está alguna vez en orden. Algunas teorías de la función niegan que los elementos biológicos puedan funcionar mal o que tenga sentido decir, de un hígado enfermo, que aunque no metaboliza como lo hacen otros hígados, 'debería hacerlo'. Las teorías de la función que permiten esto, por otra parte, permitirían mucho más de tales declaraciones que los biólogos están dispuestos a pronunciar, lo que indica que la relación de fundamentación entre la atribución de la función y la capacidad de afirmación de una declaración normativa no es "natural". De hecho, como se ha argumentado en la sección anterior, está claro cómo debemos interpretar las declaraciones "debería" dirigidas a artefactos, pero en esta interpretación son normativas de una manera que no revela nada sobre artefactos en particular, y esto se extiende sin modificaciones a declaraciones similares dirigidas a entidades biológicas o sociales: deben ser "leídas epistémicamente" como expresar expectativas justificadas de comportamiento, y de esta manera no revelan nada sobre elementos funcionales en particular. En la medida en que una teoría de la función admite una declaración de mal funcionamiento sobre las entidades biológicas o sociales, en mi opinión, son incapaces de especificar cómo son estas declaraciones normativas. En [Franssen, 2009] se aboga este punto con más detalle. ¿Cómo explicar, entonces, que declaraciones como "Ella tiene un buen corazón" o "Su hígado es malo" nos parecen tanto para nosotros? Cabe señalar que hacemos tales declaraciones casi exclusivamente en el caso de los órganos de los seres humanos. Una sugerencia es que se refieran al uso, pero no un uso sencillo para el "propósito" apoyado por su función biológica, presumiblemente "permanecer vivo" para la mayoría de los órganos. En su lugar, podríamos interpretar 'Ella tiene un buen corazón' como una abreviatura de 'Ella tiene un

buen corazón para ser o convertirse en una deportista', similar a decir de una roca en particular que es 'bueno para martillar'. Sin embargo, es difícil ver, para qué 'tiene un buen hígado' sería corto para; tal vez 'Tiene un buen hígado para convertirse en un alcohólico'? Creo que esta sugerencia falla. En cambio, mi sugerencia es que estos juicios normativos reflejen una creencia o esperanza de que la calidad del desempeño de estos órganos esté en cierta medida bajo nuestro control. Un corazón es malo porque podemos concebir mejorar su rendimiento, o reemplazarlo por uno mejor. Y de alguna manera todo el mundo tiene la posibilidad de hacerlo, a través del ejercicio o la abstinencia de malos hábitos como fumar y beber en exceso. Pero gracias a los avances tecnológicos, el alcance de esta posibilidad ha aumentado drásticamente. Podemos aumentar la función del corazón implantando un marcapasos o mediante cirugía coronaria, o podemos reemplazarlo por completo a través de un trasplante de corazón. Esta situación hace que nuestros órganos corporales sean cada vez más similares a los componentes de un artefacto técnico complejo, que se reemplazará cuando se rompen o cuando se dispone de una "actualización". Por lo tanto, naturalmente, la conversación de artefactos normativos nos parece estar en orden para estos órganos también, a pesar de que los órganos no están relacionados con los usos y propósitos de las personas de la misma manera que los artefactos, si están en absoluto relacionados.

7 VALOR NO INSTRUMENTAL EN ARTEFACTOS

Hasta ahora, las declaraciones evaluativas que hacen referencia a artefactos, se han interpretado exclusivamente como direccionadas al valor instrumental de estos. La bondad o la maldad de un artefacto en particular, por ejemplo, una bomba de agua, es su bondad o maldad como instrumento. ¿Pueden los artefactos figurar también en declaraciones evaluativas que se refieren al valor no instrumental? Dos tipos de valores para los que esto es prima facie plausible son el valor estético y el valor moral. (Cf. los capítulos de Van de Poel y de Schummer et al.) Un artefacto técnico puede ser juzgado hermoso o feo, y tales juicios parecen desempeñar un papel importante en grandes áreas de diseño de ingeniería, en particular el diseño industrial y la arquitectura. Un artefacto técnico también puede ser juzgado moralmente bien o, tal vez más comúnmente, moralmente malo. Los principales candidatos son las armas, en particular las que tienen como objetivo infligir heridas particularmente horribles, o instrumentos de tortura. ¿Cómo encajan estos juicios en nuestra discusión? En la Sección 2, se mencionó como los artefactos técnicos pueden tener dos tipos de valores, el valor moral y estético, pero estas formas se

relacionan con artefactos de una manera muy diferente. Tradicionalmente, el valor estético se atribuye tanto a la naturaleza como a los objetos naturales (animales, flores, cristales, paisajes) como a los artefactos. Muchas teorías clásicas del arte, incluso sostienen que la naturaleza es la fuente de toda belleza y que el arte humano tiene como objetivo imitar la belleza de la naturaleza. El valor moral, por otro lado, es, ciertamente después de la teoría de la evolución de Darwin, comúnmente negado a los hechos y objetos naturales (aunque esta posición ha sido recientemente atacada por los filósofos ambientales).

Apegados al relato de la normatividad adoptada aquí, para que estas sentencias evaluativas sean normativas, deben ser interpretables como indicando una manera en que las propiedades que tienen son relevantes para la cuestión de qué hacen, donde la relevancia no es ahora de una manera instrumental, el valor que los medios elegidos tienen para la realización de determinados fines. Una discusión que encaja, es la propuesta de Thomas Scanlon [1998] de que para que un objeto tenga valor debe tener características tales que uno tiene razones para adoptar una cierta actitud hacia él, o para elegir un cierto curso de acción con respecto a él. Si un objeto es bueno, uno tiene razones para promoverlo, para apoyarlo, para protegerlo, para admirarlo, y similares, y si un objeto es malo, uno tiene razones para evitarlo, para atacarlo, para ignorarlo, para deplorarlo, para detenerlo, para desecharlo, y así sucesivamente. Este análisis se aplica al valor estético y al valor moral. También puede dejar claro cómo se puede sostener que "el valor instrumental no es una forma de valor en absoluto", como lo hace Dancy [2000b, p. 159], siguiendo a Alf Ross. Un objeto tiene un valor instrumental si sus propiedades nos dan razones, o recomendaciones, para usarlo de una manera particular. Este uso es, como una especie de acción, totalmente neutral; no es una forma de promover o apoyar el artefacto, ni una forma de evitarlo o atacarlo, por lo que el mero acto de usar un artefacto no saca a la luz ni un valor positivo ni negativo que tiene el artefacto.

Los artefactos técnicos, entonces, tienen valor estético de la misma manera que las obras de arte, y tener este valor significa que tenemos razones para admirarlos, protegerlos, etc. La distinción entre la belleza o la fealdad de los artefactos técnicos en comparación con las obras de arte debe estar en las características que nos dan estas razones. Sobre esto, el análisis es silencioso. Algunas características se compartirán, como una forma amable, armonía en las dimensiones, esquema de color. También hay características que son típicas de los artefactos técnicos, por ejemplo, la elegancia lograda en el equilibrio de varios requisitos, o en la realización física de un requisito determinado.

La bondad moral o la maldad de los artefactos técnicos, por otro lado, es más difícil de establecer. Podemos sentir asco al ver el arma con la que un miembro de la pandilla solía matar a un ser querido, pero ¿cómo establecer que tenemos una razón para detestarla o evitarla? E incluso si podemos ver esta razón, ¿se puede extender esta razón a otras armas, de tal manera que estemos diciendo algo sobre las armas como tal, y no sobre un arma en particular? El pandillero puede haber sido impedido de matar a más personas porque le dispararon con otra pistola antes de que pudiera hacerlo. ¿Tenemos razones para luchar por la abolición de un arma en particular debido al daño que infringe, si al usarla, nuestro país fue capaz de derrotar a un régimen brutal y así poner fin a un período de matanza y miseria? Este es el conocido problema de la supuesta neutralidad de la tecnología como medio, y la idea de que el valor reside exclusivamente en los fines que se logran mediante el uso de la tecnología. (Para una discusión de la tesis de neutralidad, véase también el capítulo de Van de Poel.) Nuestra propia sugerencia, que no vamos a explicar aquí, es que los artefactos técnicos pueden ser llamados malos en un sentido moral si sus requisitos funcionales, las características que en cierto sentido lo definen, se refieren explícitamente a estados de cosas moralmente malos específicos como estados de meta que se realizarán mediante el uso del artefacto, de modo que se optimizará, a través de los métodos aceptados de diseño de ingeniería, para realizar precisamente estos resultados.

Supongamos que es menos controvertido establecer el valor moral de los artefactos en un sentido comparativo, es decir, de dos artefactos del mismo tipo funcional, afirmar que uno es moralmente mejor o moralmente peor que el otro. Si tenemos dos sierras eléctricas instrumentalmente equivalentes, una de las cuales es más peligrosa que la otra al presentar alguna forma inesperada pero fácil de electrocutar, tenemos buenas razones para llamar a la sierra más peligrosa moralmente peor que la más segura. Y de manera similar, en una forma más ligera, si un receptáculo de basura pública está diseñado de tal manera que evidentemente, invita a más personas más a menudo a dejar su basura en él que otro receptáculo de basura, podemos llamar al primero moralmente mejor que el segundo.

Estos ejemplos pueden sugerir que el valor instrumental es independiente del verdadero valor, ya sea valor moral o valor estético o aún de otra forma. No importa por la inferioridad moral de lo peligroso se ve si es o no la sierra instrumentalmente mejor o más pobre de los dos. Sin embargo, creer que el valor instrumental no está relacionado con el valor que poseen los

estados de cosas u objetos sería un grave error. Uno puede, mediante el uso de un cincel instrumentalmente pobre o un pincel de pintura para un trabajo de reparación en particular, dañando el trabajo y arruinar una precioso (ya sea en un aspecto monetario o emocional) pieza de mobiliario. Si, dado que uno va a utilizar un artefacto y dado que uno está justificado en hacerlo, uno tiene la oportunidad de elegir uno de un montón entero, generalmente habrá razones fuertes, si no un deber, para elegir uno instrumentalmente bueno.

8 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

En este escrito se ha demostrado que los artefactos técnicos tienen, en un sentido preciso, una dimensión normativa, inherente a su estado de objetos diseñados para servir a un propósito en su uso. Sin embargo, esta dimensión normativa no se expresa normalmente por el tipo de declaraciones que, a la vista de ella, parecen ser las declaraciones normativas más directas en las que los artefactos figuran, como "en circunstancias C, el artefacto x debe mostrar el comportamiento B". En su lugar, el lado normativo de los artefactos está representado por instrucciones como 'artefacto x es una buena K' o 'artefacto x no funciona bien'. Se ha mostrado cómo todas las declaraciones que entran en estas categorías permiten una lectura normativa sobre una caracterización general de lo que se trata la normatividad. El resultado es un análisis muy general. Su fuerza es, en nuestra opinión, que pone en el frente importantes características generales de la clase de artefactos. Es una consecuencia del hecho de que los artefactos están diseñados como tipos, como planos (aunque sólo se fabrica una sola copia) y que están diseñados para servir a un propósito, por el cual deben tener algunas características si van a pertenecer a un tipo funcional en primer lugar, que su uso es recomendable para nosotros. Exactamente aquí es donde los artefactos difieren de los objetos naturales. No es así que 'Esto es una roca', aparte de la declaración descriptiva que normalmente la tomamos, también se puede interpretar como una declaración normativa que dice que x tiene ciertas características (las propiedades típicas de las rocas) y que debido a estas características un deseo de hacer una cosa particular recomienda el uso de la roca para lograrlo. Las propiedades de las rocas no fijan el tipo de usos que se pueden poner a las rocas. Algunas rocas hacen buenos pisapapeles, pero la mayoría de las rocas no. Algunas rocas son buenas para martillar, pero la mayoría de las rocas no. Algunas rocas son buenas para aplastar escaparates, pero la mayoría no lo son. Aunque una roca en particular puede tener propiedades tales que una persona con la necesidad de cortar una cuerda se recomienda utilizar esta roca para el corte (de cuerda), no existe ningún tipo de

roca natural a la que pertenece, de tal manera que su pertenencia a este tipo puede ser tomada para expresar estas cualidades de corte de cuerda. No hay leyes físicas a las que respondan todas y sólo las "rocas del tamaño de las manos con bordes afilados". Aunque sólo sea porque el tamaño de nuestras manos no tiene por qué ser constantes a lo largo de los siglos. La medalla también tiene un retroceso. El contenido normativo de las declaraciones que se han analizado es escaso, en el sentido de implicar muy poco en lo que la gente debe hacer. Esto, sin embargo, es lo que se puede esperar de una investigación sobre las relaciones que el uso de artefactos y el rendimiento de artefactos tienen en la normatividad en general. Se ha trazado cómo los artefactos encajan en el patrón de lo que las personas hacen en el mundo y cómo ellos, de esa manera, participan en las consideraciones normativas que se aplican a la acción humana en general. Una deficiencia más sustancial es que nos hemos concentrado en el lado normativo de los artefactos una vez en existencia, que, por lo tanto, afecta principalmente a los usuarios de estos artefactos. Mucho menos se ha dicho sobre la entrada en la existencia de artefactos, es decir, en su diseño y fabricación, que afectarían a los diseñadores y productores de artefactos. Esta parte de la dimensión normativa de los artefactos se aborda en otros escritos sobre racionalidad en el diseño de ingeniería por Kroes, Franssen y Bucciarelli y sobre valores en el diseño de ingeniería por Van de Poel. El escrito de Pritchard se centra en las obligaciones y consideraciones morales que se aplican a los diseñadores y productores de artefactos técnicos.

Cerraremos este análisis de la normatividad en relación con los artefactos, señalando algunas dificultades en el relato filosófico adoptado de la normatividad que han salido a la luz en el curso de la aplicación, para una aclaración de la dimensión normativa de los artefactos técnicos. El relato filosófico tomó la noción de una razón, o de la relación de favorecer que una razón expresa, como primitiva. Una cuestión importante es, si es singularmente primitivo, lo que significa que todos los demás conceptos normativos pueden entenderse en términos de razones. Raz, Scanlon, Broome y Dancy [2005, n. 14] parecen creerlo. Ahora bien, si uno está dispuesto a aceptar conceptos primitivos, es decir, irreductibles y normativos (ignoraremos completamente la controversia entre naturalistas y no naturalistas), puede parecer una idea atractiva tener un solo concepto primitivo fundamentando nuestra charla normativa. Sin embargo, las consecuencias bien podrían ser menos atractivas. El análisis de Broome de las diversas formas en que las razones pueden afectarnos, le ha llevado a romper el dominio normativo en dos mitades, separando la

racionalidad práctica y teórica, por un lado, del deóntico, por otro.. En la racionalidad, sólo están funcionando los requisitos y las recomendaciones, o lo que Dancy llama deberes complejos, sin razones y deberes directos. Se ha analizado el valor instrumental como perteneciente aquí, utilizando las nociones de Broome de requisito normativo y recomendación normativa. La racionalidad pone restricciones a la totalidad de nuestras creencias e intenciones, señalando las creencias e intenciones particulares con las que otras creencias e intenciones (y fines, añadiría) pueden y no se pueden combinar. Nunca se puede derivar una razón para una acción en particular de manera aislada, porque la racionalidad no puede mirar más allá del conjunto de creencias e intenciones para ver si están, una por una, razonablemente fundamentadas. Entonces, Broome, se siente obligado a dudar si la racionalidad es normativa, es decir, dar razón, en absoluto (por ejemplo, [Broome, 2005]), y piensa que G.E. Moore bien puede tener razón en que "nunca se puede saber con certeza lo que debe hacer" [1999, p. 93]. Las razones de nuestras acciones residen en los hechos sobre el mundo —que incluye los hechos sobre el tipo de organismos que somos— y se encuentran allí en su mayoría ocultos. Dancy, cuyo tratamiento de las cuestiones relacionadas con la normatividad es, con mucho, el más completo, no está dispuesto a aceptar el veredicto de Moore de que, bien podemos desconocer la mayoría de las razones que tenemos porque carecemos de conocimiento de los hechos pertinentes. Tiene al menos dos estrategias para una salida. Una es introducir la noción de un "filtro epistémico" [2000a, p. 138], que impide que los hechos de los que no podemos tener conocimiento formen razones para nosotros. No está determinado por los hechos por sí solo, sin embargo, lo que podemos tener conocimiento de, y Dancy admite que su filtro epistémico es en parte de carácter normativo. Pero de esta manera invita a la normatividad a un lugar donde se mantendrá fuera del alcance de un análisis sólo en términos de razones. Otra estrategia está pensada para aquellos casos que pasan el filtro epistémico.

Supongamos que uno tiene una razón concluyente para no tomar el vuelo UA175 de Boston a Los Ángeles, ya que el avión va a ser secuestrado y deliberadamente estrellado, y aunque uno no sabe esto, se supone (como un ejemplo) que uno podría haber sabido, prestando atención cuidadosa, escuchando todas las conversaciones que suceden alrededor de uno, y así sucesivamente. Sin embargo, pocas personas, negarían que uno estaba justificado en tomar el vuelo. Dancy acepta esta intuición, pero dice que esta noción de ser justificado pertenece a la parte evaluativa más que a la parte deóntica de lo normativo. Aunque nuestro desafortunado pasajero aéreo,

estrictamente hablando, tomó un curso de acción equivocado, no lo culparemos por hacerlo, por ejemplo, haciéndole responsable del dolor que su muerte causó a sus familiares y amigos. Sin embargo, el descenso de estar justificado en el ámbito evaluativo no parece convertirlo en una noción menos normativa, pero Dancy no indica cómo se puede explicar la noción evaluativa de estar justificado en términos de razones. Además, sin perjuicio de su caracterización general de la normatividad, en su [2005], como la forma en que los hechos nos dan razones para las acciones (ampliamente concebidos), Dancy ha dado en otra parte, los argumentos para ser escéptico sobre la propuesta de Scanlon de una reducción general de la evaluación en términos de razones. Hay una propuesta para analizar "estar justificado" en términos de razones, volviendo, de nuevo, a Raz, que dice que lo que significa que alguien esté justificado en hacer algo es que esta persona tenga una razón para creer que él o ella tiene una razón para hacer esto. En el análisis de la interpretación normativa de la mera atribución de funciones, también se ha analizado que «estar justificado» significa «tener una razón para creer que uno tiene una razón para hacerlo». Sin embargo, esta estrategia puede ser defectuosa. Si los hechos hacen el caso de que cualquiera de los dos tiene una razón para hacer algo, digamos, X, o uno no tiene una razón para hacer X, entonces si uno no tiene una razón para hacer X, la creencia de que uno tiene una razón para hacer X es falsa. Y si la idea de que los hechos hacen el caso de que uno tiene una razón para hacer o no hacer algo, se extiende a razones para la adopción de una creencia, entonces, plausiblemente, uno sólo puede tener razones para creer cosas que son verdaderas, nunca creer cosas que son falsas. Por lo tanto, si uno no tiene una razón para hacer X, uno no puede tener una razón para creer que uno tiene una razón para hacer X. Puesto que sería muy difícil renunciar a nuestra convicción de que uno puede, sobre la base de las pruebas disponibles, estar perfectamente justificado en creer que uno tiene una razón para hacer X, para estar justificado en creer que uno tiene una razón no puede ser equiparado a tener una razón para creer que uno tiene una razón para creer que uno tiene una razón.

El análisis, en la Sección 5, de declaraciones que dicen que un artefacto "debería hacer tal y tal cosa" también hace uso fundamental de la noción de estar justificado, y aunque apenas se ha intentado, no se ve que todo podría ser reformulado en términos de razones. Además, la normatividad de la racionalidad teórica y práctica, que Broome, después de refundar la racionalidad en términos de requisitos complejos en lugar de razones, ahora desespere de salvarse, puede requerir un nuevo análisis en términos de justificación. Estos requisitos o

deberes complejos también plantean un problema para Dancy, ya que, en nuestra opinión, se enfrenta a grandes dificultades para demostrar que se basan en los hechos de la misma manera que las simples razones y deberes. Por lo tanto, el presente análisis de las sentencias normativas apoyadas por artefactos sugiere firmemente que existe un lugar para otra noción normativa, «estar justificada», que es independiente de la noción normativa (primitiva) de una razón y no es reducible de ella.

ESTÁNDARES PROFESIONALES

Michael S. Pritchard

1 INTRODUCTION

Como profesionales, se espera que los ingenieros se comprometan con altos estándares de conducta. El Preámbulo del Código de ética de la Sociedad Nacional de Ingenieros Profesionales (NSPE) lo dice de esta manera:

La ingeniería es una profesión importante y culta. Como miembros de esta profesión, se espera que los ingenieros exhiban los más altos estándares de honestidad e integridad. La ingeniería tiene un impacto directo y vital en la calidad de vida de todas las personas. En consecuencia, los servicios proporcionados por los ingenieros requieren honestidad, imparcialidad, equidad y equidad, y deben estar dedicados a la protección de la salud pública, la seguridad y el bienestar. Los ingenieros deben actuar bajo un estándar de comportamiento profesional que requiere el cumplimiento de los principios más altos de la conducta ética.

Aunque este preámbulo insiste en que se espera tal conducta de los ingenieros, esto no es una declaración predictiva sobre cómo los ingenieros, de hecho, se comportan a sí mismos. En general, se espera, los ingenieros se adhieren a altos principios de conducta ética. Sin embargo, el Preámbulo es una declaración normativa, una declaración sobre cómo los ingenieros deben comportarse. Esto se basa en el impacto que la ingeniería tiene en nuestra calidad de vida. Este impacto es el resultado del ejercicio de la experiencia que es la provincia de las personas con formación y experiencia en ingeniería. Tal experiencia conlleva su responsabilidad profesional.

Hablar de responsabilidad profesional de esta manera es entrar en el ámbito de la ética, o la moralidad. Las normas para los ingenieros pueden articularse en códigos. Estos códigos pueden ser declaraciones de principios

generales, como se encuentran en los códigos de ética de ingeniería. O pueden ser bastante específicos y prescriptivos, como los códigos de construcción. Muchos estándares de ingeniería también se entienden en términos de la "práctica aceptada" de los ingenieros, ya sea formalmente declarado o no. En cada caso podemos preguntarnos qué tienen, si las hay, las normas de ingeniería subyacentes de la base moral y lo que estas normas contribuyen a nuestra comprensión de las responsabilidades morales de los ingenieros.

William F. May señala la seriedad de la responsabilidad que conlleva la experiencia profesional. Tomando nota de nuestra creciente dependencia de los servicios de profesionales cuyo conocimiento y experiencia no se comparte o entiende ampliamente, May comenta:

[El profesional] será mejor que sea virtuoso. Pocos pueden estar en posición de desacreditarlo. La explosión del conocimiento es también una explosión de ignorancia; si el conocimiento es poder, entonces la ignorancia es impotencia. [Mayo de 1998, pág. 408]

El conocimiento que viene con la expansión de la experiencia profesional se limita en gran medida a los especialistas. Aquellos fuera de estos círculos de experiencia experimentan la explosión de ignorancia a la que se refiere Mayo. Esto incluye al público en general, así como a otros profesionales que no comparten esa experiencia. May concluye:

Una prueba de carácter y virtud es lo que una persona hace cuando nadie más está mirando. Una sociedad que se apoye en la experiencia necesita más personas que puedan pasar esa prueba. [Mayo de 1998, pág. 408]

Las observaciones de May se aplican tanto a los ingenieros como a los contadores, abogados, médicos y otros profesionales. Lo que esto significa es que, en su ignorancia, el público debe confiar en el desempeño confiable de los ingenieros, tanto como individuos, como miembros de equipos de ingenieros que trabajan juntos. No es sólo el público el que debe confiar en el desempeño confiable de los ingenieros. Los empleadores, colegas y compañeros de trabajo de los ingenieros también necesitan hacerlo. Por lo tanto, la necesidad de confianza y confianza mutuas es generalizada. Afortunadamente, nuestra moralidad común nos proporciona un recurso que elogia el establecimiento de esa confianza y nos permite comprender, apoyar y evaluar críticamente los estándares para un comportamiento profesionalmente responsable. Por lo tanto, un buen lugar para comenzar es con una discusión de la moral común. Esto

ayudará a sentar las bases para una consideración de la función y las limitaciones de los códigos de ética con respecto a los estándares profesionales para los ingenieros. A continuación se discutirá sobre las normas reglamentarias, las normas de práctica comúnmente aceptadas y la noción más amplia de un "estándar de atención", comúnmente invocado en entornos judiciales. A lo largo de todo, quedará claro que los ingenieros deben confiar en el buen juicio en lugar de meros algoritmos. Esto también será evidente en la discusión de las relaciones entre los estándares profesionales, por un lado, y la imaginación de la ingeniería, la innovación y el diseño, por el otro. Por último, se tendrán en cuenta las cuestiones relativas al alcance de las normas profesionales, en particular a la luz del rápido crecimiento del entorno internacional de muchas prácticas de ingeniería.

2 MORALIDAD COMUNAL

El filósofo Bernard Gert observa que, independientemente de nuestras diferencias individuales y culturales, hay algunas características universales de la naturaleza humana que proporcionan la base para un sistema de moralidad común, como nuestra falibilidad, racionalidad y vulnerabilidad [Gert, 2004]. Es cuidadoso de señalar que la moral común no es un sistema derivado de su teoría moral o de cualquier otro filósofo. La moralidad común precede a las teorías que intentan describirla o evaluarla. Aunque refleja la aceptación general de la gente reflexiva, la moralidad común no depende de la teorización de los filósofos morales. De hecho, Gert dice que la moralidad común es aceptada en todas las teorías filosóficas de la moralidad [Gert, 2004, p. vii]. Gert caracteriza la moralidad común en términos de un conjunto de reglas morales e ideales morales. No afirma que respaldemos explícitamente estas reglas e ideales a medida que las formula. Más bien, su relato se entiende mejor como una reconstrucción racional de las características básicas de nuestra vida moral, un relato que intenta representar fielmente algo implícito en nuestra vida moral. La lista de reglas e ideales de Gert se ofrece como una representación integral de las características centrales de la moral ordinaria. Para ilustrar, las reglas morales de Gert son:

- No mate.
- No cause dolor.
- No desactive.

- No prive de libertad.
- No prive de placer.
- No engañe.
- Mantenga sus promesas.
- No haga trampa.
- Obedezca la ley.
- Haga su deber.

Ninguna de estas reglas es "absoluta". Cada uno tiene excepciones legítimas. A veces incluso entran en conflicto entre sí. Sin embargo, las violaciones de estas normas requieren una justificación que pueda ser aceptada públicamente por todas las personas razonables. Que puede haber desviaciones justificadas de una regla moral es una característica central de la moralidad común. En casos controvertidos, es posible que las personas razonables no llegaran a las mismas conclusiones sobre qué hacer. Sin embargo, dado el acuerdo básico sobre los hechos en situaciones particulares, cabe esperar que la aceptación compartida de las normas morales dé lugar a un acuerdo generalizado sobre la mayoría de los asuntos.

Todos los agentes morales, dice Gert, están de acuerdo en que matar, causar dolor o discapacidad a los demás, y privar a otros de libertad o placer son moralmente incorrectos sin alguna justificación. Esto contrasta, por ejemplo, con dar un paseo o no dar un paseo, ninguno de los cuales normalmente requiere ninguna justificación. Del mismo modo, todos los agentes morales están de acuerdo en que engañar, romper promesas, engañar, violar la ley y descuidar deberes necesitan justificación moral. Gert concluye:

La afirmación de que existen normas morales que prohíben acciones tales como matar y engañar significa sólo que este tipo de acciones son inmorales a menos que puedan ser justificadas. Teniendo en cuenta este entendimiento, todos los agentes morales están de acuerdo en que existen normas morales que prohíben acciones tales como matar y engañar. [Gert, 2004, p. 9]

Teniendo en cuenta algo como el relato de Gert de la moralidad común, los ingredientes principales de los códigos de ética de las sociedades

profesionales de ingeniería no deberían sorprender. Casi todos ellos identifican la protección de la salud pública, la seguridad y el bienestar como el deber primordial de los ingenieros en el curso de su trabajo de ingeniería. También hacen hincapié en la fidelidad a los empleadores y clientes, la honestidad en su trabajo, la restricción del trabajo a áreas dentro de las cuales uno tiene competencia, la importancia de la confidencialidad, y evitar o minimizar los conflictos de intereses. A la luz del Preámbulo del Código de ética de la NSPE, estas son sólo las áreas de preocupación que uno esperaría que la moralidad común abordara.

Hasta ahora, simplemente se ha asumido que los códigos de ética de ingeniería tienen un lugar apropiado en la práctica de la ingeniería. Dada esta suposición, se puede llamar a la moralidad común para ayudar a formular sus disposiciones. Sin embargo, es importante examinar esta suposición en sí misma, ya que se han planteado serias preguntas sobre la función, las limitaciones e incluso la legitimidad moral de los códigos de ética para los profesionales.

3 CÓDIGOS DE ÉTICA

No existe un relato universalmente aceptado de las profesiones que las distinga de otras ocupaciones. Sin embargo, la ingeniería ejemplifica las siguientes características que, en conjunto, justifican considerarla como profesión:

1) La ingeniería requiere una amplia formación, gran parte de la cual es de carácter intelectual;

2) el dominio de este componente intelectual normalmente requiere educación formal en una institución de educación superior;

3) los conocimientos y habilidades que poseen los ingenieros hacen una contribución vital al bienestar de la sociedad en general;

4) los ingenieros ejercen un grado considerable de autonomía, o juicio profesional, en la prestación de sus servicios; Y

5) las sociedades de ingeniería suelen afirmar estar reguladas por normas éticas, como lo demuestran sus códigos de ética. Las primeras cuatro características se relacionan directamente con la preocupación de May con las virtudes de profesionales como los ingenieros. Sin embargo, cuando nos

dirigimos a los códigos de ética de la ingeniería, se pueden plantear preguntas sobre su estatus moral y alcance.

Los códigos de ética de la ingeniería se originan en determinadas sociedades profesionales: por ejemplo, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), el Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos (IEEE) y la Sociedad Nacional de Ingenieros Profesionales (NSPE). Como sugieren sus títulos, estas sociedades suelen estar confinadas dentro de las fronteras nacionales dentro de las cuales se adoptan. Incluso dentro de estos límites la membrecía es voluntaria, y sólo un pequeño porcentaje de los ingenieros en ejercicio realmente se unen. Además, hay cierta controversia sobre qué papel deben tener los códigos de ética de ingeniería.

Aunque reconoce que un código de ética puede ser necesario para que una profesión emergente obtenga el reconocimiento inicial, Heinz Luegenbiehl sostiene que los códigos de ingeniería han sobrevivido a su utilidad [Luegenbiehl, 1991, p. 137-138]. Supuestamente, los códigos constituyen un "conjunto de reglas éticas que deben gobernar a los ingenieros en sus vidas profesionales". Sin embargo, argumenta, los ingenieros en ejercicio rara vez consultan estos códigos, algunas de sus disposiciones están en conflicto entre sí y no proporcionan ninguna orientación para la resolución de estos conflictos, y los códigos son coercitivos en la intención, lo que desafía la autonomía normalmente atribuida a los agentes morales.

En respuesta, se podría decir que la utilidad de los códigos de ética de ingeniería no depende de que sean consultados regularmente por ingenieros en ejercicio. Si un código hace un buen trabajo de identificación de las obligaciones básicas de los ingenieros, se puede recurrir cuando sea necesario, por ejemplo, como Michael Davis señala, cuando un empleador espera que un ingeniero haga algo poco ético [Davis, 1991, p. 150- 167]. Davis considera que los códigos de ética de ingeniería aconsejan a los ingenieros cómo deben actuar como profesionales y como convenciones entre profesionales que les permiten cooperar para servir a un ideal compartido de servicio público mejor que si estuvieran solos.

Por lo tanto, para Davis, un código de ética es visto como un acuerdo entre los miembros de una profesión para comprometerse con un conjunto común de normas que sirven a los fines compartidos de su profesión. La obligación de cumplir con un código es una obligación para los compañeros

profesionales, y es una obligación de equidad entre sí: hacer su parte. Esto le da a un ingeniero una razón para querer unirse a una sociedad profesional con un código de ética. También da a los que ya están en esa sociedad razones para seguir apoyándolo y su código, y para trabajar en la contratación de nuevos miembros. Una ventaja para los ingenieros individuales es que, al unirse, conducirse éticamente en su trabajo de ingeniería ya no es sólo una cuestión de conciencia personal para ellos. Junto con otros, un ingeniero puede apelar al código de su sociedad y decir: "Como ingeniero, no puedo hacer esto". En la ética profesional, puede haber fuerza en los números.

El Código de ética de NSPE es el producto de la reflexión colectiva de sus miembros. En opinión de Davis, los miembros de NSPE están obligados a cumplir con las disposiciones del código debido a su acuerdo entre sí de que lo harán. Sin embargo, el código NSPE está redactado de tal manera que parece destinado a abordar las responsabilidades éticas de los ingenieros como tal, no sólo los miembros de NSPE. Teniendo en cuenta esto, las normas aprobadas por el código deben ser compatibles por razones distintas del hecho de que los miembros de NSPE respaldan públicamente y se comprometen con esas normas. Es decir, las normas deben ser compatibles por razones que son vinculantes incluso para aquellos ingenieros que no son miembros de NSPE. ¿Lo son?

Al responder a esta pregunta es importante tener en cuenta que el preámbulo del código no hace ninguna referencia a sus miembros que crean o se comprometen con el código NSPE. En su lugar, intenta describir el papel que desempeña la ingeniería en la sociedad, junto con los estándares de conducta que se requieren para que los ingenieros cumplan este papel de manera responsable. Por lo tanto, se presume que esta representación es apta independientemente de si los ingenieros son miembros de NSPE.

Los ingenieros y no ingenieros por igual pueden estar de acuerdo en que los ingenieros desempeñan el tipo de papel vital social representado por el Preámbulo. ¿Qué hay de las implicaciones normativas de ese papel? Aquí, también, los ingenieros y no ingenieros pueden estar de acuerdo, al menos ampliamente. Esto se debe a que, como ya se ha señalado, las normas éticas básicas aprobadas por el Código de ética de la NSPE están respaldadas por la moralidad común.

Sin embargo, incluso si se puede apelar a la moralidad común en apoyo de las disposiciones básicas de un código de ética de ingeniería, esto no garantiza que todas sus disposiciones estén libres de controversias, o incluso

contenido inapropiado. En parte esto se debe a que aquellos que deliberan sobre lo que se debe incluir en un código se puede esperar que tengan en cuenta, no sólo las consideraciones éticas, sino también las realidades del lugar de trabajo de los ingenieros. La mayoría de los ingenieros son empleados corporativos, y los objetivos corporativos pueden ser más o menos receptivos a, por ejemplo, las preocupaciones de ingeniería sobre los desarrollos tecnológicos sostenibles. Aunque algunas sociedades de ingeniería prominentes ahora incluyen declaraciones sobre las preocupaciones ambientales, la mayoría todavía se abstienen de hacer declaraciones explícitas sobre tales asuntos.

Una manera de minimizar la controversia es que las disposiciones de un código se indiquen de tal manera que haya un amplio margen de interpretación. De hecho, como es el caso de las reglas e ideales morales de Gert, esto es hasta cierto punto una necesidad práctica. Las situaciones reales no se pueden anticipar en todos sus matices relevantes, y el juicio es en sí mismo una de las señas de identidad de la práctica profesional. Por ejemplo, aunque a veces está claro lo que constituiría una falta de protección del público, la salud y la seguridad, a menudo no lo es. No proteger activamente la seguridad pública no cumplirá la norma de seguridad pública sólo si existe la responsabilidad de proporcionar ese nivel de seguridad. Pero, dado que no se puede esperar que ningún producto de ingeniería sea "absolutamente" seguro (al menos, no si va a ser un producto útil) y hay costos económicos asociados con mejoras de seguridad, puede haber una considerable controversia sobre lo que es un estándar razonable de seguridad.

4 CÓDIGOS Y NORMAS TÉCNICAS

Los códigos de ética de ingeniería normalmente establecen que se espera que el trabajo de los ingenieros se ajuste a los "estándares de ingeniería aplicables", como códigos técnicos y estándares. Estos códigos y normas tienen una vida propia, en el sentido de que no dependen de los códigos de ética de ingeniería para su origen o su vinculación. Han sido desarrollados y formulados en el transcurso del tiempo a medida que se ha desarrollado la práctica de ingeniería. Los códigos técnicos son requisitos legales que un organismo gubernamental aplica para proteger la seguridad, la salud y otros valores pertinentes [Hunter, 1977, p. 66-71]. Algunos ejemplos son los códigos de construcción, los códigos sanitarios y de salud y los códigos de incendio. Por lo general, las normas técnicas se consideran recomendaciones y no como requisitos legales. Variando en longitud de unos pocos párrafos a cientos de

páginas, por lo general son escritos por expertos en ingeniería que se sientan en los comités de normalización.

Los códigos técnicos a menudo se basan en normas, o pueden referirse a las normas como una forma obligatoria o posible de cumplir con los requisitos del código. Las normas pueden llegar a ser obligatorias por inclusión en un contrato comercial. Las normas se consideran a menudo como la especificación de criterios para las buenas prácticas de diseño, y como tal pueden ser relevantes en las reclamaciones de responsabilidad contra empresas o diseñadores [Hunter, 1977, p. 66-71].

Si bien los códigos técnicos son formulados por organismos gubernamentales, las normas técnicas (en las que a menudo se basan los códigos) no lo son. Las normas pueden ser internas a una empresa, a un consorcio de empresas o a toda la industria. Por lo general, las normas de toda la industria se formulan por consenso. Una razón principal para la estandarización en la industria es el deseo de intercambiabilidad y compatibilidad. La estandarización garantiza que las piezas de repuesto sean intercambiables con las originales. La estandarización también garantiza que diferentes productos puedan trabajar juntos o utilizar la misma infraestructura técnica.

Las normas de toda la industria generalmente se formulan a través de institutos nacionales de normalización, como el American National Standards Institute (ANSI) y la Organización Internacional de Normalización (ISO). ANSI es una federación privada de empresas e industria, desarrolladores de estándares, asociaciones comerciales, sindicatos, sociedades profesionales, consumidores, academia y agencias gubernamentales. ANSI ha acreditado a una serie de organizaciones, como la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), como estándares que desarrollan organizaciones. Estas organizaciones en desarrollo de normas supervisan el proceso de formulación estándar, que involucra a las partes interesadas pertinentes y que tiene que cumplir con los requisitos formulados por ANSI para garantizar la apertura, la transparencia, el equilibrio de intereses y el debido proceso. Las normas se logran por consenso.

Las normas europeas se formulan a través del CEN, el Comité Europeo de Normalización. El procedimiento es comparable al de ANSI, pero hay algunas diferencias significativas. El proceso se organiza principalmente a través de los organismos nacionales de normalización, que son miembros del CEN. La participación de las partes interesadas se organiza así a través de estos órganos. Además, una norma acordada por el comité técnico para una norma específica se

adopta como una norma europea armonizada, o no, por un voto ponderado de los organismos nacionales de normalización. Si se adopta una norma europea, los organismos nacionales de normalización están obligados a retirar las normas en conflicto y a adoptar una norma que se ajuste a la norma armonizada.

Aparte de las normas formuladas a través de organizaciones como CEN, ANSI e ISO, también se pueden distinguir las normas de facto. Estas normas no son aprobadas por las organizaciones de normalización, pero son ampliamente utilizadas y reconocidas por la industria como estándar. A menudo, tales normas se llevan a cabo a través del mercado. Teniendo en cuenta esto, las normas de facto no reflejan necesariamente los intereses y valores del público en general. Los consorcios industriales también pueden acordar voluntariamente normas, no sólo para promover la intercambiabilidad y la compatibilidad, sino también en un intento de crear una norma de facto que pueda dar una ventaja económica importante.

Por lo tanto, se puede ver que los códigos técnicos y las normas sirven una serie de valores. Sirven valores de utilidad y prudencial como la intercambiabilidad, la compatibilidad y la eficiencia. También sirven a valores morales como la seguridad, la salud, la sostenibilidad ambiental y la privacidad. Estos valores a menudo se traducen en códigos y estándares en términos bastante concretos. Por ejemplo, en los códigos y normas para los recipientes a presión, el valor de la seguridad se traduce en un cierto espesor de pared del recipiente, para evitar explosiones. En un código de construcción, la sostenibilidad puede traducirse en términos de cierta transferencia máxima de calor a través de las ventanas de un edificio en ciertas circunstancias.

Tales traducciones pueden, a veces, ser éticamente cuestionables, como veremos en el caso ASME/Hydrolevel que se describe a continuación. Otra área problemática es la seguridad en el diseño de automóviles. La mayoría de las pruebas de choque para los coches hacen hincapié en la seguridad de las personas dentro del coche y no en la seguridad de las personas fuera del coche [van Gorp, 2005]. Sin embargo, para aquellos dentro de un coche los riesgos son más voluntarios que para los ciclistas y peatones que son atropellados por el coche en caso de accidente. Además, los que están dentro del coche tienen la ventaja de utilizar el coche, mientras que los ciclistas y peatones sólo se enfrentan a los riesgos. Los factores, el grado de voluntariedad y la distribución de riesgos y beneficios, hacen que la aceptabilidad moral de los riesgos para las

personas fuera del coche sea más problemática que los riesgos para quienes están dentro del coche.

Esto significa que, desde un punto de vista ético, es importante examinar los códigos y normas actuales con un ojo crítico. Sin embargo, dada la necesidad de códigos y normas en la práctica de ingeniería, parece razonable poner una carga de prueba a aquellos ingenieros que tomarían excepción a ellos. Esto parecería ser una implicación de las dos últimas reglas morales de moralidad común de Gert: obedecer la ley y hacer su deber (aquí, sus responsabilidades relacionadas con el trabajo). Las otras reglas morales se pueden utilizar para evaluar si estas dos reglas deben llevar el día en casos problemáticos.

5 NORMAS ACEPTADAS DE PRÁCTICA DE INGENIERÍA Y EL ESTÁNDAR DE ATENCIÓN

Al exigir a los ingenieros que se ajusten a los estándares aceptados de la práctica de ingeniería, los códigos de ética de ingeniería insisten en el cumplimiento de los códigos técnicos y las normas. Estos códigos y normas tienen una intención reglamentaria. Pueden centrarse en los resultados deseados de la práctica de ingeniería, por ejemplo, en si el trabajo cumple ciertos estándares de calidad o seguridad. Los códigos técnicos y las normas también pueden exigir que se emprendan determinados procedimientos para determinar que se cumplen niveles específicos y mensurables de calidad o seguridad; o pueden requerir que se documenten los procedimientos que se utilicen, junto con sus resultados.

Igualmente importante, los códigos de ética de ingeniería suelen insistir en que los ingenieros se ajusten a los estándares de competencia, estándares que han evolucionado a través de la práctica de la ingeniería y que, presumiblemente son comúnmente aceptados, aunque sólo sea implícitamente, en la formación y práctica de ingeniería ordinaria. Los estándares reglamentarios y de competencia están destinados a proporcionar cierta garantía de calidad, seguridad y eficiencia en ingeniería. Sin embargo, es importante darse cuenta, de que también dejan mucho espacio para la discreción profesional en el diseño de ingeniería y su implementación. Esto requiere competencia. Hay pocos algoritmos para que los ingenieros sigan aquí. Las normas de rendimiento que no especifican procedimientos particulares a seguir o los materiales que se utilizarán dejan claramente espacio para la discreción profesional. Pero los códigos técnicos aún más específicos dejan espacio para la discreción (por

ejemplo, como en la ilustración del edificio Citicorp que se explica a continuación, ya sea para atornillar o soldar juntas). Por lo tanto, la necesidad de juicio de ingeniería no debe pasarse por alto.

En cuanto a la seguridad, por ejemplo, en lugar de dejar la determinación de lo que cuenta como seguro únicamente en manos de ingenieros individuales, las agencias gubernamentales pueden establecer normas de seguridad (como el Instituto Nacional de Normas y Tecnología, la Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo, o la Agencia de Protección Ambiental) u organizaciones no gubernamentales (como sociedades profesionales de ingeniería, ANSI, ISO y CEN). Sin embargo, los estándares de seguridad, así como los estándares de calidad en general, dejan espacio para una considerable discreción de ingeniería. Aunque algunos estándares tienen un alto grado de especificidad (por ejemplo, requisitos mínimos con respecto a la capacidad de una estructura para soportar vientos de cierta velocidad que golpean esa estructura en un ángulo de 90 grados), algunos simplemente requieren que los procesos estándar no especificados se desarrollen, sigan y documenten [Shapiro, 1997, p. 290].

Detrás de todos estos esfuerzos más específicos para articular códigos y normas particulares, se encuentra un estándar más amplio de atención en la práctica de ingeniería, un estándar apelado en la ley y sobre el cual los ingenieros experimentados y respetados pueden ser llamados a testificar en los tribunales en casos particulares. Aunque el estándar de cuidado se utiliza como un estándar en la ley, también puede ser visto como un estándar moral razonable, reflejado en la preocupación de la moral común para evitar y prevenir el daño, el sufrimiento y la muerte, entre otras cosas. También puede ser visto como instrumental en los esfuerzos de los ingenieros para proteger la seguridad pública, la salud y el bienestar en el curso de su trabajo, el deber primordial de los ingenieros, de acuerdo con prácticamente todos los códigos de ética de las sociedades de ingeniería en los EE.UU., y en la mayoría de los otros países también.

Joshua B. Kardon caracteriza este estándar de atención de esta manera [Kardon, 1999]. Aunque se puede esperar que algunos errores en el juicio y la práctica de ingeniería ocurran como una cuestión de curso, no todos los errores son aceptables:

Un ingeniero no está involucrado, ni es responsable de los daños por cada error. La sociedad ha decidido, a través de la jurisprudencia, que cuando

contratas a un ingeniero, compras los errores normales del ingeniero. Sin embargo, si se demuestra que el error ha sido peor que un cierto nivel de error, el ingeniero es responsable. Ese nivel, la línea entre el error no negligente y el error negligente es el "estándar de atención".

¿Cómo se determina esta línea en casos particulares? No corresponde por sí solos a los ingenieros determinar esto, pero desempeñan un papel crucial en la asistencia a jueces y jurados en sus deliberaciones:

Un evaluador de hechos, un juez o jurado, tiene que determinar cuál es el estándar de atención y si un ingeniero no ha alcanzado ese nivel de rendimiento. Lo hacen escuchando testimonios de expertos. Las personas que están calificadas como expertos expresan opiniones sobre el estándar de atención y sobre el desempeño del ingeniero demandado en relación con ese estándar.

Para que este proceso legal sea factible y razonablemente justo para los ingenieros, es necesario que exista una noción operativa de "práctica aceptada" en ingeniería que sea bien entendida por ingenieros competentes en las áreas de ingeniería en cuestión. Como lo pone Kardon:

Una buena definición de trabajo del estándar de atención de un profesional es: que el nivel o la calidad del servicio normalmente prestados por otros profesionales normalmente competentes de buena posición en ese ámbito, prestando simultáneamente servicios similares en la misma localidad y en las mismas circunstancias. [Kardon, 1999]

Habida cuenta de ello, no debemos esperar encontrar una declaración formal de lo que satisface específicamente la norma. Más bien, se está apelando a lo que comúnmente y normalmente se hace (o no se hace) por ingenieros competentes. Se espera que los ingenieros que tienen un cargo responsable por un proyecto, ejerzan una cuidadosa supervisión antes de poner su sello oficial de aprobación en el proyecto. Sin embargo, lo que requiere una supervisión cuidadosa variará con el proyecto en cuestión de maneras que resistan una articulación algorítmica de los pasos precisos a tomar y los criterios a utilizar. Dos casos bien conocidos son instructivos. En primera instancia, los encargados de la construcción del hotel Hyatt-Regency de Kansas City fueron acusados de negligencia profesional con respecto al catastrófico derrumbe de la pasarela en 1981. Aunque los responsables no autorizaron la salida fatal del diseño original del soporte de la pasarela, se determinó que el monitoreo responsable por su

parte les habría hecho conscientes del cambio propuesto. Si hubiera llegado a su atención, algunos cálculos simples podrían haberles hecho evidente que la estructura resultante sería insegura.

En este caso se determinó que los ingenieros a cargo no se quedaron seriamente por debajo de la práctica de ingeniería aceptada, lo que resultó en un incumplimiento del estándar de atención. Satisfacer el estándar de atención no puede garantizar que no se produzca un fallo. Sin embargo, no satisfacer el estándar de atención en sí no es aceptable. En cualquier caso particular, puede haber varias formas aceptables de cumplir con la norma. Mucho depende del tipo de proyecto en cuestión, su contexto específico y las variables particulares que (a veces impredeciblemente) entran en juego.

El segundo caso también implicó una desviación del diseño original, no observada por el ingeniero estructural jefe del Edificio Citicorp de 59 pisos de Manhattan [Morgenstern, 1995, p. 49-53]. A diferencia de la pasarela Hyatt Regency, esto no fue considerado como una cuestión de negligencia. El ingeniero estructural jefe William LeMessurier se sorprendió al saber que las principales juntas estructurales de Citicorp estaban atornilladas en lugar de soldadas profundamente juntas, como se requiere en el diseño original. Sin embargo, estaba seguro de que el edificio aún satisfacía más que adecuadamente el requisito del código de construcción de la ciudad de Nueva York de que los vientos que golpean la estructura desde un ángulo de 90 grados no representarían un peligro grave. Suponiendo que tuviera razón, es justo concluir que las soldaduras profundas o los pernos se consideraban compatibles con la práctica de ingeniería aceptada. El código no especifica cuál debe elegirse, sólo que el resultado debe satisfacer la prueba de viento de 90 grados.

Afortunadamente, LeMessurier no se contentó con la idea de que la estructura satisfizo el código de construcción de la ciudad. Dadas las características inusuales de la estructura de Citicorp, se preguntó qué pasaría si los vientos golpeaban el edificio diagonalmente en un ángulo de 45 grados. Esta pregunta parecía sensata, ya que el primer piso del edificio es en realidad varios pisos sobre el suelo, con el soporte en tierra del edificio siendo cuatro pilares colocados entre las cuatro esquinas de la estructura en lugar de en las esquinas en sí. Otros cálculos de LeMessurier determinaron que las juntas atornilladas hacían que la estructura era mucho más vulnerable a los vientos fuertes de lo que se había previsto. A pesar de satisfacer el código de la ciudad, el edificio era inseguro. LeMessurier concluyó que deben efectuarse correcciones. El estándar

establecido por el código de construcción de la ciudad era defectuoso. No se pudo confiar en el código para establecer criterios fiables para el estándar de atención en todos los casos.

De ello no debe concluirse que sólo hay una solución aceptable al problema conjunto. El plan de LeMessurier para reforzar las juntas atornilladas funcionó. Pero el plan original para soldaduras profundas aparentemente también lo tendría. Muchas otras soluciones aceptables pueden haber sido posibles. Por lo tanto, una variedad de diseños para una estructura en particular podría ser consistente con los estándares de ingeniería profesional.

El caso Hyatt-Regency es un claro ejemplo de falla culpable. El diseño original no cumplía con los requisitos del código de construcción. El cambio de diseño empeoró las cosas. El caso Citicorp es una clara ilustración de cómo la práctica estándar de ingeniería, de cumplir con los requisitos de código puede no ser suficiente. LeMessurier tiene el mérito de que descubrió el problema. No hacerlo no habría sido negligencia, a pesar de que la estructura era defectuosa. Sin embargo, una vez que el defecto fue descubierto, el estándar de cuidado requirió a LeMessurier para hacer algo al respecto, como claramente se dio cuenta. Además, parece que lo más importante en mente para LeMessurier era su sentido de responsabilidad moral por la seguridad de la estructura de Citicorp. Por supuesto, en cierta medida, la posibilidad de responsabilidad legal también puede haber sido un factor, pero el relato de LeMessurier sobre el curso de los acontecimientos, deja claro que su enfoque principal estaba en su responsabilidad moral de hacer todo lo posible para corregir el defecto en el edificio que él, y sólo él, había descubierto a través de su propia conciencia e iniciativa de ingeniería.

6 INNOVACIÓN Y ESTÁNDARES PROFESIONALES

Sin duda William LeMessurier se decepcionó al descubrir una falla grave en el edificio Citicorp. Sin embargo, había mucho acerca de la estructura en la que podía enorgullecerse. Una característica particularmente innovadora fue un amortiguador de hormigón de 400 toneladas en rodamientos de bolas colocados cerca de la parte superior del edificio. LeMessurier introdujo esta característica, no para mejorar la seguridad, sino para reducir el balance o la presión del

edificio, una cuestión de comodidad para los residentes, no de seguridad. Por supuesto, esto no significa que el amortiguador no tenga ningún efecto en la seguridad. Aunque está diseñado para la comodidad, es posible que también mejore la seguridad. O, sobre todo porque su movimiento necesita ser facilitado y limitado, es posible que, sin otros controles, pueda tener un efecto negativo sobre la seguridad. En cualquier caso, el efecto que un amortiguador de 400 toneladas cerca de la parte superior de una estructura de 59 pisos podría tener en la capacidad del edificio para manejar fuertes vientos es algo que requiere una atención cuidadosa.

Apoyar la estructura en cuatro pilares a medio camino entre las esquinas del edificio De Citicorp fue otra innovación, una que podría explicar por qué se le ocurrió a LeMessurier, que valía la pena tratar de determinar qué efecto podrían tener los vientos de 45 grados en la estabilidad de la estructura. Ambas innovaciones están dentro de la gama de prácticas de ingeniería aceptadas, siempre que se realicen esfuerzos bien concebidos para determinar qué efecto podrían tener en la integridad general y la utilidad de la estructura. El riesgo de basarse exclusivamente en las directivas particulares de un código de construcción es que es poco probable que sus estructuradores puedan tener en cuenta de antemano todos los efectos pertinentes de las innovaciones en el diseño. Es decir, es muy posible que las regulaciones no sigan el ritmo de la innovación tecnológica.

Aunque los ingenieros y sus empleadores podrían tratar de excusar la falta de seguridad y calidad señalando que han cumplido con las normas reglamentarias existentes, es evidente que los tribunales no necesariamente estarán de acuerdo. El nivel de atención en la legislación sobre agravios (que se refiere a lesiones injustas) se indica de manera más amplia que las normas reglamentarias. La expectativa es que los ingenieros cumplan con el estándar de atención, expresado en *Coombs v. Beede*:

La responsabilidad que recae en un arquitecto es esencialmente la misma que la que recae sobre el abogado a su cliente, o sobre el médico a su paciente, o que recae sobre cualquier persona a otra donde dicha persona pretende poseer alguna habilidad especial y habilidad en algún empleo especial, y ofrece sus servicios al público debido a su aptitud para actuar en el negocio para el que puede ser empleado. La realización de un arquitecto implica que posee experticia y habilidad, incluido el gusto, lo suficiente como para permitirle realizar los servicios requeridos, al menos normalmente y razonablemente bien;

y que ejercerá y aplicará, en el caso dado, su experticia y habilidad, su juicio y gusto razonable y sin negligencia.

Como señala Korden, esta norma no sostiene que toda falta de prestación de servicios satisfactorios sea un daño indebido. Pero insiste en que los servicios proporcionaron evidencia de cuidado razonable. Lo que cuenta como cuidado razonable es una función de lo que el público puede esperar razonablemente y lo que los ingenieros experimentados y competentes consideran como una práctica aceptable. Dada la conveniencia de un diseño de ingeniería innovador, no es realista que el público considere que todos los fallos y percances son culpables; al mismo tiempo, corresponde a los ingenieros hacer todo lo posible para anticipar y evitar fallas y percances.

7 REGULANDO LOS REGULADORES

Idealmente, las normas regulatorias son imparciales, al igual que los reguladores. Sin embargo, dado que los expertos que ayudan a establecer las normas suelen ser empleados por las mismas empresas, cuyos productos están siendo regulados, se deben hacer esfuerzos especiales para minimizar las posibilidades de que favorezcan injustamente a sus empleadores. En lugar de asumir ingenuamente que todos los conflictos de intereses pueden ser eliminados, Stephen Unger sugiere lo siguiente:

[Hay que] asegurarse de que la composición de los comités de toma de decisiones incluya una variedad de personas con diversos sesgos, y llevar a cabo todo el proceso de manera abierta, es decir, hacer que el proceso de toma de decisiones sea transparente para todas las partes interesadas. Invitar a comentarios de todos los grupos e individuos interesados y proporcionar procesos de apelación son métodos adicionales para garantizar el juego limpio. [Unger, 1994, p. 210]

Desafortunadamente, como señala Unger, su proceso recomendado no es infalible. Una ilustración clásica es el caso de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) vs. La primera mitad del siglo XIX estuvo marcada por explosiones de calderas en barcos de vapor que resultaron en la muerte de miles de estadounidenses. ASME desempeñó el papel principal en el establecimiento de requisitos uniformes para calderas seguras. Un área especial de preocupación es las calderas que se calientan cuando el nivel de agua en la caldera es insuficiente. A principios de la década de 1970, el código ASME especificaba: "Cada caldera de vapor o vapor disparado automáticamente tendrá

un corte automático de combustible de nivel bajo de agua, de modo que se corte automáticamente el suministro de combustible cuando la superficie del agua caiga a la parte visible más baja del vidrio del medidor de agua" [American Society of Mechanical Engineers, Boiler and Pressure Vessel Code, sección IV , párrafo HG-605a].

Al intentar hacer incursiones competitivas en esta área, Hydrolevel desarrolló un mecanismo que incluía un retraso de tiempo en su sistema de corte de combustible, alegando que esto aseguraría una determinación más confiable del nivel de agua en calderas cuya agua está en movimiento. El Comité de Calderas y Recipientes a Presión BPVC de ASME estuvieron encabezados por destacados representantes de dos empresas, que entonces dominaban el mercado. Desconocido para Hydrolevel, se distribuyó una carta que insistía en que los mecanismos de corte de combustible con bajo contenido de agua deberían funcionar inmediatamente. En el momento en que Hydrolevel descubrió la existencia de esta carta, había sufrido graves pérdidas en el mercado. Por lo tanto, emprendió una demanda antimonopolio contra las dos empresas y ASME. Las dos compañías se establecieron fuera de la corte con Hydrolevel. Sin embargo, ASME protestó porque no había hecho nada malo, a pesar del hecho de que algunos de los miembros de su comité voluntario habían actuado, por su cuenta, injustamente en nombre de sus empresas. ASME llevó su caso hasta la Corte Suprema de los Estados Unidos, pero en vano.

En efecto, la Corte Suprema de E.E.U.U. determinó que ASME era negligente al supervisar cómo funcionan sus comités especiales en la aplicación de normas que pueden tener un gran impacto en el éxito económico o fracaso de las empresas. La opinión mayoritaria del Tribunal dijo, en parte:

ASME ejerce un gran poder en la economía de la nación. Sus códigos y normas influyen en las políticas de numerosos estados y ciudades, y como se ha dicho sobre las "llamadas normas voluntarias" en general, su interpretación de las directrices "puede resultar en prosperidad económica o fracaso económico, para una serie de empresas de todos los tamaños en todo el país", así como segmentos enteros de una industria. [Beardsley, 1984, p. 66]

Como resultado de la sentencia del Tribunal de Justicia, ASME introdujo una serie de cambios sustanciales en sus procedimientos. Charles Beardsley resume los cambios:

Los cambios más llamativos afectan el manejo de la Sociedad de códigos e interpretaciones de estándares. Todas esas interpretaciones deben ser revisadas ahora por al menos cinco personas antes de su liberación; antes, la revisión de dos personas era necesaria. Las interpretaciones están disponibles para el público, con respuestas a consultas no estándar publicadas cada mes en la sección Códigos y Normas de ME u otras publicaciones de ASME. [Beardsley, 1984, p. 73]

Además, ASME requiere que todo el personal y los miembros del comité de voluntarios firmen un descargo de responsabilidad por conflicto de intereses, y ASME les proporciona copias de su código de ética y una publicación que discute las ramificaciones legales de las normas. Así que, esencialmente, en un esfuerzo por reducir el sesgo, ASME implementó las directrices que Stephen Unger sugiere.

La respuesta de ASME a su resolución jurídica adversa es instructiva. En lugar de retirarse de establecer y hacer cumplir códigos y normas, introdujo cambios para mejorar sus procedimientos. Lo que permaneció intacto fue su rechazo a la idea de que todo se dejara únicamente a discreción de los ingenieros individuales o de las empresas para las que trabajan. No vacilaba su compromiso con códigos y normas uniformes en materia de seguridad y calidad; y siguió aceptando su responsabilidad de ayudar a enmarcarlos y hacerlas cumplir.

8 DISEÑO

El caso Hydrolevel es instructivo de otra manera. A Hydrolevel se le ocurrió una desviación de la forma más habitual de garantizar la seguridad. Esto fue desafiado por sus competidores. Inicialmente, al menos, Hydrolevel se encontró con un fracaso. Sin embargo, de hecho, su mecanismo bien podría haber cumplido normas razonables de seguridad. El punto aquí es que, es probable que haya más de una manera de cumplir las normas de seguridad, especialmente cuando se indica ampliamente. Podría decirse que el estándar ASME fue interpretado de manera demasiado estrecha por los competidores de Hydrolevel. Pero si hay más de una manera de cumplir con los estándares de seguridad, ¿cómo van a proceder los diseñadores?

Si estamos hablando de la seguridad general de un producto, puede haber mucha latitud, una latitud que, por supuesto, proporciona espacio para consideraciones distintas de la seguridad, así (por ejemplo, calidad general, usabilidad, costo). Por ejemplo, a finales de la década de 1960, operando bajo las

limitaciones de llegar a un automóvil atractivo que pesaba menos de 2000 libras que costaría a los consumidores no más de \$2000, los ingenieros de Ford decidieron hacer más espacio en el maletero poniendo el tanque de gas del Pinto en un lugar inusual. Esto planteó una cuestión de seguridad con respecto a las colisiones de la parte trasera. Ford afirmó que el vehículo pasó el estándar actual. Sin embargo, algunos ingenieros de Ford instaron a que se insertara un amortiguador de protección entre el tanque de gas y los pernos salientes. Esto, sostuvieron, permitiría al Pinto pasar un estándar más exigente que se sabía que pronto se impondría a los vehículos más nuevos. Advertieron que, sin amortiguador de protección, el Pinto no satisfaría el nuevo estándar; una norma que creían que estaría mucho más cerca de cumplir con el estándar de cuidado razonable aplicado en la ley de agravios.

Ford decidió no poner el amortiguador de protección. Se podría haber pensado que el satisfacer la norma de seguridad actual, garantizaba que los tribunales y sus jurados estarían de acuerdo en que se ejerciera un cuidado razonable. Sin embargo, esto resultó ser una visión equivocada. Como se señaló anteriormente, los tribunales pueden determinar que las normas técnicas existentes no son adecuadas, y los propios ingenieros a veces son llamados a testificar en ese sentido.

Dada la mala publicidad que Ford recibió con respecto al Pinto y su historia de litigios posteriores, Ford podría lamentar no haber hecho caso a los consejos de aquellos ingenieros que defendieron el amortiguador de protección. Esto podría haber sido incluido en el diseño original, o tal vez hubo otras alternativas factibles durante las primeras fases de diseño. Sin embargo, incluso después de que el coche fue puesto en el mercado, se podría haber hecho un cambio de diseño. Esto habría implicado un retiro costoso, pero esto no habría sido un movimiento sin precedentes en la industria automotriz.

Estas posibilidades ilustran un punto básico sobre los estándares regulatorios, los estándares aceptados de la práctica de ingeniería y el diseño de ingeniería. Normas profesionales para ingenieros sub-determinan el diseño. En principio, si no en la práctica, también habrá más de una manera de satisfacer las normas. Esto no significa que las normas profesionales no tengan ningún efecto en la práctica. Como señala Stuart Shapiro:

Las normas son uno de los principales mecanismos para gestionar la complejidad de cualquier tipo, incluida la complejidad tecnológica. La terminología estandarizada, las propiedades físicas y los procedimientos juegan

un papel en la restricción del tamaño del universo en el que el practicante debe tomar decisiones. [Shapiro, 1997, p. 290]

Para una profesión, el establecimiento de normas de práctica se considera típicamente como una contribución a la profesionalidad, mejorando así la profesión a los ojos de quienes reciben sus servicios. Al mismo tiempo, los estándares de práctica pueden contribuir tanto a la calidad como a la seguridad de los productos en la industria. Aun así, las normas de práctica deben aplicarse en contextos particulares que no se especifican en sí mismos en las normas. Notas de Shapiro:

Hay muchos grados de libertad disponibles para el diseñador y constructor de máquinas y procesos. En este contexto, las normas de práctica proporcionan un medio para mapear lo universal a lo local. Todo lo que uno tiene que hacer es pensar en la gran variedad de circunstancias locales para las que se diseñan puentes y la igualmente gran variedad de diseños que resultan....Las contingencias locales deben regir el diseño y la construcción de cualquier puente en particular dentro del marco de los universales relativos incorporados en las normas. [Shapiro, 1997, 293]

La observación de Shapiro se centra en cómo los estándares de práctica permiten a los ingenieros libertad para adaptar sus diseños a circunstancias variables y locales. Esto a menudo trae sorpresas, no sólo en el diseño, sino también en lo que respecta a la adecuación de las normas formales de práctica. Como señala Louis L. Bucciarelli, los estándares de práctica se basan en la experiencia previa y las pruebas de los ingenieros. El diseño opera en el borde de "lo nuevo y lo no probado, lo inexperto, lo ahistórico" [Bucciarelli, 1994, p. 135]. Por lo tanto, a medida que los ingenieros presentan diseños innovadores (como la estructura Citicorp de LeMessurier), debemos esperar que los estándares formales de práctica a veces sean desafiados y que se encuentren necesitados de cambio. Mayor razón por la que los tribunales de justicia no están dispuestos simplemente a equiparar el estándar de cuidado razonable con los estándares formales actuales de práctica.

Bucciarelli hace otro punto importante sobre el diseño. Los cambios de diseño se realizan a menudo durante el proceso de implementación; es decir, el diseño en sí mismo puede verse como un trabajo en proceso, en lugar de como un plan final que precede y guía la implementación. Esto se ilustra en el caso de estudio ficticio Un incidente en Morales, un video desarrollado por el Instituto Nacional de Ética de la Ingeniería. Mientras implementa un diseño para una

planta química en México, el ingeniero jefe de diseño se entera de que su presupuesto está siendo recortado en un 20%. Para entrar dentro del nuevo presupuesto, son necesarios algunos cambios de diseño. A continuación, el ingeniero se entera de que el efluente de la planta probablemente causará problemas de salud para los residentes locales. El diseño actual es consistente con las normas locales, pero sería una violación de las normas a través de la frontera en Texas. Una posible solución es relacionar los estanques de evaporación, un gasto adicional. La implementación de esta solución proporciona una mayor protección al público; pero, resulta que esto viene a expensas de poner a algunos trabajadores en la planta en mayor riesgo, debido a un cambio de ahorro de dinero a controles más baratos dentro de la planta - otro cambio de diseño. Por lo tanto, una pregunta básica a la que se enfrenta el ingeniero es, dadas las estrictas restricciones presupuestarias, ¿qué estándares de práctica tienen prioridad? La moraleja de la historia es que, desde el principio de este proyecto, el ingeniero no tuvo suficientemente en cuenta los signos de problemas por delante, incluidas las advertencias de ingenieros superiores en otra instalación de que tomar ciertos atajos sería imprudente (si no poco ético).

9 EL ALCANCE DE LAS NORMAS DE PRÁCTICA

Algunas normas de práctica son claramente sólo locales en su ámbito de aplicación. El código de construcción de la ciudad de Nueva York requiere que las estructuras de gran altura sean probadas para la resistencia al viento en ángulos de 90 grados aplicados sólo dentro de una región geográfica limitada. Estos requisitos de código específicos son locales en su origen y aplicabilidad. Por supuesto, uno esperaría que existieran requisitos algo similares en lugares comparables en los Estados Unidos, así como en otros lugares de gran altura en todo el mundo. Esto sugiere que los códigos locales subyacentes, en particular los que intentan garantizar la calidad y la seguridad, son estándares más generales de seguridad y buenas prácticas de ingeniería.

Una prueba de si podemos hablar significativamente de normas más generales es preguntar si los criterios para la competencia de ingeniería son sólo locales (por ejemplo, ingenieros civiles de la ciudad de Nueva York, ingenieros civiles de Chicago, Kalamazoo, Michigan ingenieros civiles). La respuesta parece claramente no estar dentro de los límites de los Estados Unidos, especialmente para los graduados de programas de ingeniería acreditados en los colegios y universidades de los Estados Unidos.

Sin embargo, como ha argumentado Vivian Weil, hay buenas razones para creer que los estándares profesionales de la práctica de ingeniería pueden traspasar las fronteras nacionales [Weil, 1998, p. 303-314]. Ella ofrece el ejemplo del ingeniero ruso de principios del siglo XX, Peter Palchinsky. Crítico de los principales proyectos de ingeniería en Rusia, sin embargo, Palchinsky fue considerado como un ingeniero altamente competente en su tierra natal. También fue un consultor de gran calidad en Alemania, Francia, Inglaterra, los Países Bajos e Italia. Aunque fue considerado políticamente peligroso por los líderes rusos en ese momento, nadie dudaba de sus habilidades de ingeniería, ni en Rusia ni en ningún otro lugar. Weil también recuerda a los lectores dos principios fundamentales de la ingeniería que Palchinsky aplicó dondequiera que practicara:

Recuerde que el primer principio fue: recopilar información completa y fiable sobre la situación específica. La segunda fue: ver los planes y proyectos de ingeniería en contexto, teniendo en cuenta los impactos en los trabajadores, las necesidades de los trabajadores, los sistemas de transporte y comunicación, los recursos necesarios, la accesibilidad de los recursos, la viabilidad económica, los impactos en los usuarios y en otras partes afectadas, como las personas que viven en los suburbios.[Weil, 1998, p. 306]

Continúa señalando que los dos principios subyacentes de Palchinsky son principios de moralidad común, particularmente el respeto por el bienestar de los trabajadores, un principio que Palchinsky argumentó fue violado repetidamente por los proyectos de ingeniería preferidos de Lenin.

Al principio de este escrito, se observó que los códigos de ética de las sociedades de ingeniería suelen respaldar principios que parecen estar destinados a aplicarse a los ingenieros en general y no sólo a los miembros de esas sociedades particulares. Se sugirió que la moralidad común proporcionaba el terreno para las disposiciones básicas de esos códigos (por ejemplo, la preocupación por la seguridad, la salud y el bienestar del público). Si los ingenieros que no son miembros de sociedades de ingeniería profesional realmente aceptan, ya sea explícita o implícitamente, los principios articulados en el código de ética de una sociedad en particular es, por supuesto, otra cuestión. Sin embargo, incluso si algunos no lo hacen, se podría argumentar que deberían hacerlo. El punto de Weil, un punto aceptado también en este documento, es que no hay razón, en principio, para creer que no se pueden formular y adoptar normas internacionales compatibles. Además, esto no tiene

por qué limitarse a declaraciones abstractas de principios éticos. A medida que los desarrollos tecnológicos y sus productos resultantes aparecen en todo el mundo, se puede esperar que vayan acompañados de preocupaciones globales sobre calidad, seguridad, eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad. Esto, a su vez, puede resultar en estándares uniformes en muchas áreas con respecto al diseño, la práctica y los productos de ingeniería aceptables e inaceptables. En cualquier caso, en el contexto de una economía mundial emergente, no debería esperarse que los debates constructivos sobre estas preocupaciones sean sólo locales.

VALORES EN EL DISEÑO DE INGENIERÍA

Ibo van de Poel

1 INTRODUCCION

El valor está en el corazón del diseño de ingeniería. El diseño crea valor para las empresas, los usuarios y, en última instancia, para la sociedad. Pocos estarían en desacuerdo con esas declaraciones, pero ¿qué implican exactamente? ¿Qué es el valor? ¿A qué tipos de valores tienen o contribuyen los artefactos tecnológicos? ¿Cómo son las consideraciones de valor inherentes a las opciones de diseño? ¿Está el diseño de ingeniería plagado de valores plurales y contradictorios y, en caso afirmativo, cómo podrían y deberían los ingenieros lidiar con esos conflictos de valores? Estos son los tipos de preguntas que se exploran en esta contribución.

El objetivo de esta contribución es explorar filosóficamente el papel de los valores en el diseño de ingeniería. Aunque, cuando proceda, me basaré en pruebas empíricas sobre el papel de los valores en el diseño, mi objetivo no será simplemente describir empíricamente cómo los valores llegan a desempeñar un papel en el diseño de ingeniería. En cambio, trataré de aclarar, desde un punto de vista filosófico, el papel que los valores desempeñan, pueden y, según algunos, deben desempeñar en el diseño de ingeniería. No defenderé ningún enfoque específico para integrar los valores en el diseño, aunque discutiré varios

enfoques, especialmente en relación con los valores de diseño en conflicto junto con los pros y los contras de estos enfoques.

El enfoque en esta contribución se centrará en los valores que se crean a través de artefactos técnicos y, especialmente, en cómo la perspectiva de dicho valor se integra en el proceso de diseño de ingeniería. Por lo tanto, no me estoy centrando en los valores, o virtudes, del diseño de ingenieros (para ello, véase el escrito de Pritchard) o en el valor del diseño de ingeniería como una actividad (para los ingenieros el diseño puede ser una actividad inherentemente valiosa).

Esta contribución comienza con una breve visión general de las nociones relevantes de la literatura filosófica, como la noción de valor. A continuación, discutiré el valor de los artefactos tecnológicos. En la Sección 4, discutiré el papel de los valores en el proceso de diseño de ingeniería. Las secciones 5 y 6 tratarán los conflictos de valor en el diseño de ingeniería y los enfoques para abordarlos; En la Sección 5 se examinan los enfoques de optimización y la Sección 6 examina los enfoques que no optimizan. En la sección final, sacaré mis conclusiones.

2 VALORES

2.1 Declaraciones de valor

Las declaraciones de valor son declaraciones sobre si ciertas cosas o estado de las cosas son buenas, es decir, valiosas o malas en cierto sentido. Si las cosas o los estados de cosas son malos, a menudo no sólo carecen de valor, sino que también tienen un valor negativo. Lo haré utilizando el término desvalor para referirse a dicho valor negativo.

Las declaraciones de valor deben distinguirse de las declaraciones de preferencia, es decir, las declaraciones sobre lo que prefieren las personas.

Establecer que algo es un valor o profesar que es valioso significa no sólo afirmar que es valioso para mí, sino también que es, o debe ser de valor para los demás.

La mayoría de las cosas o estados de cosas no son simplemente buenos, sino buenos en cierto sentido. Un martillo puede ser bueno en el sentido de ser un instrumento útil para conducir clavos en un pedazo de madera, pero puede ser al mismo tiempo estéticamente feo. Podríamos decir entonces que tiene un valor de utilidad con respecto a la conducción de clavos en un pedazo de madera, pero que simplemente no tiene, o un valor estético negativo. Así concebidas, los valores son variedades de bondad. Por lo tanto, las cosas o los estados de cosas pueden tener —expresas, crear instancias— valores diferentes al mismo tiempo. Las declaraciones sobre el valor de las cosas o el estado de las cosas son declaraciones evaluativas: evalúan algo o una situación en términos de valor. Por lo tanto, las declaraciones de valor deben distinguirse de las declaraciones descriptivas y prescriptivas. Las declaraciones descriptivas son declaraciones sobre cómo son las cosas. Podemos, por ejemplo, describir un martillo en términos de su forma y los materiales de los que está hecho; tales descripciones no atribuyen valor al objeto descrito. Aún así, las características descriptivas, no evaluativas, de un martillo son relevantes para responder a la pregunta de si el martillo es un buen martillo, en el sentido de ser útil para conducir clavos en un pedazo de madera. El valor de un martillo como instrumento útil depende así de las características descriptivas de ese mismo martillo. Se puede expresar diciendo que el valor de una cosa o estado de cosas es "superveniente" en ciertas características no evaluativas de esa cosa o estado de cosas [Zimmerman, 2004].

Las declaraciones de valor también deben distinguirse de las declaraciones prescriptivas, es decir, las declaraciones sobre cómo actuar (véanse, por ejemplo, [Stocker, 1990; Dancy, 1993]). La declaración "este es un

buen martillo para conducir clavos en una pieza de madera" no implica la declaración "debes usar ese martillo para conducir un clavo en un pedazo de madera" (para una discusión detallada del aspecto normativo de declaraciones como estas, véase el escrito de Franssen). Esto no es para negar que las declaraciones prescriptivas a veces puedan derivarse de declaraciones evaluativas. Sin embargo, en general, se debe distinguir las declaraciones evaluativas de las prescriptivas. En la teoría moral, hay una distinción paralela entre "bondad" y "derecho". Los estados de cosas y, en particular, las consecuencias de las acciones pueden evaluarse en términos de "bondad", mientras que las acciones en sí mismas se evalúan en términos de "derecho". El consecuenteismo es la doctrina que dice que la bondad de las consecuencias de las acciones determina la corrección de las acciones. Sin embargo, el consecuenteismo no es ciertamente la única teoría en la filosofía moral sobre la relación entre la bondad y la derecha. Si se adopta un enfoque kantiano, por ejemplo, la corrección de una acción en cierto sentido determina o garantiza la bondad de las consecuencias de esa acción (cf. [Korsgaard, 1983, p. 183]).

2.2 Valor intrínseco versus instrumental.

A menudo se hace una distinción entre los valores intrínsecos e instrumentales. Los valores intrínsecos son aquellos que son buenos en ellos o por su propio bien, mientras que los valores instrumentales son valiosos porque ayudan a lograr otros valores. Cabe señalar que, a este respecto, un objeto puede ser instrumentalmente valioso e intrínsecamente valioso al mismo tiempo. Un martillo puede, por ejemplo, ser instrumentalmente valioso como una herramienta útil para conducir clavos en la madera y al mismo tiempo ser intrínsecamente valioso como un objeto hermoso.

Aunque la distinción entre valor instrumental e intrínseco puede parecer sencilla, no lo es. Varios filósofos han señalado una serie de cuestiones terminológicas y sustantivas con respecto a la distinción [para una discusión,

véase Zimmerman, 2004]. Una cuestión es que la noción de valor intrínseco es ambigua. La noción se entiende generalmente para referirse a objetos o estados de cosas que son valiosos en sí mismos. El valor intrínseco es, a continuación, el valor de un tipo no derivado. Sin embargo, el valor intrínseco también puede referirse a cosas que son valiosas debido a sus propiedades naturales intrínsecas, es decir, descriptivas. Como Christine Korsgaard ha señalado cosas que son valiosas debido a sus propiedades intrínsecas son incondicionalmente buenas [Korsgaard, 1983]. Su bondad no depende de la relación con otros objetos o con las personas; de lo contrario su valor no sería intrínseco al objeto. Sin embargo, según Korsgaard, algunas cosas pueden ser buenas en un sentido no derivado, incluso si no son incondicionalmente buenas. Un ejemplo es la felicidad humana en un respeto kantiano. Según Kant, la felicidad humana es una bondad no derivada. La felicidad es buena en sí misma, y no porque sea un medio para otro fin o contribuya a otro valor. Sin embargo, según Kant, la felicidad sólo es condicionalmente buena; sólo es buena en la medida en que corresponde a la buena voluntad, es decir, el respeto a la ley moral. Para evitar la ambigüedad a la que se refiere Korsgaard, utilizaré la noción de "valor intrínseco" para el valor no derivado y la noción de "valor intrínseco a un objeto o estado de cosas" para describir el valor que sólo depende de las propiedades no relacionales de un objeto o estado de las cosas.

La noción de valor instrumental también es más compleja de lo que parece. Podría referirse a cosas que son útiles para lograr algún fin, si ese fin es valioso o no. Frankena [1973, p. 66] se refiere a valores instrumentales como valores de utilidad. Presenta la noción de valor extrínseco para referirse a "cosas que son buenas porque son un medio para lo que es bueno" [Frankena, 1973, p. 66]. Sin embargo, el término 'valor extrínseco' es algo confuso porque a menudo se utiliza para todos los valores derivados, es decir, todos los valores no intrínsecos. Sin embargo, ser un medio para un fin, no es la única manera en que algo puede ser valioso de una manera derivada (véase, por ejemplo,

[Zimmerman, 2004]). Por ejemplo, las cosas pueden, también ser valiosas porque permiten una buena vida, así como la privacidad o la salud permiten a las personas vivir una vida valiosa o porque contribuyen a una buena vida, como lo hacen las virtudes en un relato aristotélico de buena vida. Por lo tanto, utilizaré la noción de valor instrumental para el valor de ser un medio para lograr un buen fin, es decir, otro valor positivo.

2.3 Fuentes de valor

¿Qué hay de los orígenes del valor, es decir, qué es lo que aporta valor al mundo? Aquí es relevante distinguir entre el valor intrínseco y el valor extrínseco. Los objetos o estados de cosas de valor extrínsecamente valiosos derivan su valor de su contribución —por ejemplo como medio para un fin— al valor intrínseco. Pero, ¿de dónde viene el valor intrínseco? Aquí se pueden distinguir tres doctrinas principales. Los subjetivistas creen que los deseos humanos, o más generalmente los estados psicológicos, constituyen la fuente de valor. Los objetivistas creen que los valores residen en el mundo fuera de nosotros. Los racionalistas ven la racionalidad humana como la fuente última de valor. La subjetividad hace justicia a la conexión entre los valores y los deseos e intereses humanos. Sin embargo, corre, el riesgo de confundir el valor con la preferencia. No todo lo que es deseado o preferido por la gente es valioso. El objetivismo hace justicia al hecho de que las declaraciones sobre el valor no son declaraciones sobre las preferencias, sino más bien sobre cómo el mundo es o debe ser desde un punto de vista normativo. Los objetivistas a menudo sostienen que el valor intrínseco es un valor intrínseco al objeto valioso (por ejemplo, [Moore, 1912]). Puesto que el valor que es intrínseco a un objeto no puede depender de las propiedades relacionales de ese objeto los deseos o intereses humanos nunca pueden ser la fuente de valor, o incluso una. El racionalismo puede ser visto como una posición intermedia. Restaura la conexión entre los deseos y los valores humanos, que se pierde en el

objetivismo, pero se esfuerza por evitar confundir el valor con la preferencia, afirmando que las cosas son valiosas no sólo porque la gente los prefiere, sino porque los seres racionales tienen razones prácticas suficientes para perseguirlos.

Con la mayoría de las cuestiones debatidas en esta contribución, no será necesario adoptar una postura en el debate sobre la fuente de valor. La postura que tomaré, cuando sea pertinente, podría describirse como ligeramente racionalista. Es racionalista en el sentido de que se evitan las posiciones extremas subjetivistas y objetivas extremas. Creo que los valores deben distinguirse de las preferencias, pero no están completamente divorciados del deseo humano, el interés, la interpretación y la entrega de significados. Llamaré a la posición ligeramente racionalista porque no asumiré una teoría específica de la racionalidad práctica, ni haré suposiciones sustantivas sobre las fuentes definitivas de valor en el mundo.

2.4 Valores de conflictos y valores inconmensurables

Una última cuestión general que es relevante para la discusión sobre el papel de los valores en la ingeniería, es la noción de conflicto de valores e inconmensurabilidad del valor. Hablo de que hay conflicto de valores si dos o más valores entran en conflicto. Por lo general, los valores no entrarán en conflicto, aunque eso puede suceder, pero solo en circunstancias específicas. Dos o más valores entran en conflicto en una situación específica si, cuando se consideran de forma aislada, evalúan las diferentes opciones como mejor. Por ejemplo, una política gubernamental que sea mejor desde el punto de vista de la libertad individual podría no ser la mejor en términos de justicia social. Como veremos, las situaciones de conflicto de valor son comunes en la ingeniería, especialmente en el proceso de diseño de ingeniería.

Dos o más valores son inconmensurables si no se pueden expresar o medir en una escala común o en términos de una medida de valor común. Esto puede ser un ordinal, un intervalo o una escala de relación. No hay acuerdo en la literatura filosófica sobre las implicaciones de la inconmensurabilidad de los valores para la comparabilidad de objetos u opciones (para un debate, véase [Chang, 1997; Hsieh, 2007]). Cabe señalar que la inconmensurabilidad de los valores no implica como tal la incomparabilidad de las opciones. Por ejemplo, si todos los valores relevantes evalúan la misma opción que la mejor, en ausencia de conflicto de valor, la inconmensurabilidad no implicará la incomparabilidad. En situaciones en las que existe un orden lexicográfico de valores, es decir, en situaciones en las que cualquier pequeña cantidad de un valor vale más que cualquier gran cantidad de otro valor, la inconmensurabilidad no dará lugar a la incomparabilidad. Entonces podemos simplemente ordenar las opciones con respecto al valor más importante y si dos opciones puntúan lo mismo en este valor, examinaremos las puntuaciones con respecto al segundo valor menos importante.

Incluso en los casos de valores inconmensurables contradictorios, entre los que no existe ningún orden lexicográfico, no hay acuerdo sobre si esto es suficiente para implicar la incomparabilidad de las opciones. En tales casos, el argumento más fuerte para la incomparabilidad es probablemente el argumento de pequeñas mejoras [Raz, 1986; Chang, 1997] como se ilustra en el siguiente ejemplo. Supongamos que uno necesita elegir entre una carrera en ingeniería y una carrera en filosofía. Supongamos también que hay una buena razón para juzgar que ni la filosofía ni la carrera de ingeniería es mejor (es decir, más valioso en general) que el otro. Es posible que todavía descubramos que la carrera de filosofía no es mejor que la carrera de ingeniería, incluso si la primera está ligeramente mejorada. Por el contrario, la carrera de ingeniería puede no ser mejor que la carrera de filosofía, incluso si se mejora ligeramente. Si este fuera el caso, no se podría decir que las dos carreras fueran igualmente buenas,

porque si eso fuera una ligera mejora en una de las dos lo haría mejor que el otro. Por lo tanto, las dos opciones —una carrera en ingeniería y una carrera en filosofía— pueden decirse en este caso, incomparables, porque ninguna es mejor que la otra y no son igualmente buenas.

El argumento de pequeñas mejoras puede interpretarse de al menos dos formas, no necesariamente mutuamente excluyentes. Una solución es interpretar la incomparabilidad como vaguedad [Broome, 1997]. Con esta interpretación, en la escala de la bondad general, las opciones pueden estar rodeadas por una zona de indeterminación leve; en esta zona, las opciones no son ni mejores ni peores entre sí ni son igualmente buenas. Otra interpretación es argumentar que las dos carreras son "aproximadamente iguales" o "a la par". Este último se ha propuesto como una cuarta relación comparativa además de "mejor que", "peor que" e "igualmente bueno" [Chang, 1997]. Con ambas interpretaciones, es discutible si pueden borrar la incomparabilidad entre las opciones. Pero incluso si no lo hacen, ambas interpretaciones limitan el grado de incomparabilidad. Incluso si una carrera específica en ingeniería no es comparable con una en filosofía, una carrera particularmente buena en ingeniería todavía puede considerarse mejor que una carrera particularmente mala en filosofía.

En el argumento anterior, la inconmensurabilidad se ha visto principalmente como una característica formal, como la imposibilidad de expresar o medir dos valores a una escala común. Algunos autores presentan una noción más sustantiva de inconmensurabilidad. Raz [1986], por ejemplo, ha sugerido que la resistencia a ciertas compensaciones es constitutiva de ciertos valores o bienes. Considere, por ejemplo, la siguiente compensación: ¿por cuánto dinero está dispuesto a traicionar a su amigo? Bien se puede argumentar que aceptar un equilibrio entre amistad y ganancia financiera socava el valor de la

amistad. Sobre esta base es constitutivo del valor de la amistad rechazar el equilibrio entre amistad y ganancia financiera.

También se ha sugerido que algunos valores pueden resistir las compensaciones porque están "protegidos" o "sagrados" [Baron y Spranca, 1997; Tetlock, 2003]. Esto parece especialmente cierto en los valores morales y valores que regulan las relaciones entre las personas y las identidades de ellas. Una manera de entender este fenómeno es considerando la noción de residuo moral. Los dilemas morales —es decir, situaciones en las que un agente se enfrenta a obligaciones morales contradictorias y en las que al menos una obligación moral no se cumple con la opción que se elija— dejan al agente con un residuo moral o con un sentimiento de culpabilidad derivado de la obligación no cumplida [Williams, 1973; Marcus, 1980]. Del mismo modo, las compensaciones entre los valores protegidos pueden crear una pérdida irreductible porque una ganancia en un valor no siempre puede compensar o cancelar una pérdida en el otro. La pérdida de un buen amigo no puede ser compensada por tener una mejor carrera o más dinero. El punto aquí no es que el valor de la amistad se ordena lexicográficamente sobre el del dinero o tener una carrera (probablemente no lo es). Incluso si no hay un orden lexicográfico, la naturaleza de los valores es tan diferente que uno no puede compensar al otro.

Algunos filósofos han negado la existencia de la inconmensurabilidad del valor. Creen que todos los valores pueden expresarse en última instancia en términos de un valor general o superior. El utilitarismo a menudo atribuye tal papel al valor de la felicidad humana, pero un papel similar puede ser desempeñado por el valor de la "buena voluntad" en el kantianismo o el valor de la "contemplación" en la ética aristotélica [Korsgaard, 1986]. La noción de que en última instancia sólo hay un valor que es la fuente de todos los demás valores se conoce como monismo. Los monistas de valor no deniegan necesariamente la existencia de más de un valor, pero consideran que otros valores son sólo

condicionalmente buenos. Un valor monista cree que los conflictos de valor pueden resolverse esencialmente recurriendo al super-valor. Sin embargo, los monistas de valor podrían reconocer que existen limitaciones prácticas o epistemológicas para resolver conflictos de valores. Un poder utilitario, por ejemplo, cree que todos los valores sólo son buenos en la medida en que contribuyen a la felicidad humana, pero ella podría reconocer que en la práctica no siempre podemos determinar exactamente cuánto contribuye un valor específico a la felicidad humana, para que algunas opciones puedan tener un ranking indeterminado.

3 TECNOLOGÍA Y VALORES

A veces se defiende la tesis de que la tecnología es neutral en cuanto a valor [Florman, 1987; Pitt, 2000]. El argumento principal que normalmente se da para esta tesis es que la tecnología es sólo un medio neutral para un fin que se puede poner en buen uso o mal. Por lo tanto, el valor se crea durante el uso y no se encuentra en la tecnología. Esto también significa que los efectos objetables de la tecnología deben ser achacados a los usuarios y no a los artefactos tecnológicos, o a sus diseñadores. Como lo ha expresado la Asociación Nacional Del Rifle de Estados Unidos: "Las armas no matan a la gente, la gente mata a la gente".

¿Qué implica exactamente afirmar que la tecnología es neutral en materia de valor? Una interpretación sería decir qué significa que el valor de los artefactos tecnológicos sólo depende de sus propiedades extrínsecas. En esta interpretación, la tesis de que la tecnología es neutral en cuanto al valor es claramente falsa. Se puede ver de la siguiente manera. Los artefactos tecnológicos tienen un componente físico o material, es decir, también son

objetos físicos, incluso si no son meros objetos físicos. El valor de los objetos físicos como medio para un fin depende, en parte al menos, de sus propiedades intrínsecas. Una piedra se puede utilizar para dividir una tuerca gracias a sus propiedades físicas intrínsecas. Una hoja de árbol tendría un valor de utilidad mucho más pequeño o sin servicios públicos cuando se trata de dividir frutos secos. Dado que es inverosímil que el valor de utilidad de los objetos físicos dependa simplemente de sus propiedades extrínsecas, lo mismo puede decirse de las tecnologías. Por lo que el valor de los artefactos tecnológicos no sólo depende de sus propiedades extrínsecas.

La tesis de que el valor no es intrínseco a la tecnología también puede interpretarse simplemente a que tal valor también depende en parte de las propiedades extrínsecas de una tecnología. Para juzgar la verosimilitud de tal afirmación, es crucial definir la tecnología o los artefactos tecnológicos, porque en gran medida eso es lo que determinará lo que consideramos las propiedades intrínsecas y extrínsecas de los artefactos tecnológicos. (Radder), por ejemplo, presenta una definición de tecnología en la que la realizabilidad real de la función de un artefacto tecnológico es parte de lo que realmente es la tecnología. Esto parece hacer que las acciones de los usuarios sean internas de la tecnología, lo que, a su vez, hace más probable que al menos algunos valores sólo dependan de las propiedades intrínsecas de las tecnologías. De hecho, si definimos la tecnología de manera suficientemente amplia, siempre podemos hacer valores internos a la tecnología, al parecer. Pero, ¿qué pasa si comenzamos con una definición mínima de la tecnología? Creo que cualquier relato mínimo plausible de la tecnología tiene que referirse a la noción de función, y / o nociones comparables como fines, propósitos e intenciones. El hecho de que las tecnologías tienen una función, implica que tienen valor de utilidad, es decir, que se pueden utilizar para algún fin. Entonces, en una definición mínima de la tecnología, la tecnología al menos tiene valor de utilidad. Esto no significa que dicho valor de utilidad sea intrínseco a los artefactos tecnológicos en el sentido

de que sólo depende de las propiedades intrínsecas de los artefactos tecnológicos. De hecho, no suele ser así: el valor de utilidad particular de un martillo para conducir clavos en un trozo de madera también depende, por ejemplo, de las capacidades físicas de los usuarios y tales habilidades son extrínsecos para el martillo. Así que incluso si tener valor de utilidad es parte de lo que significa ser un artefacto técnico, ese mismo valor de utilidad no es necesariamente intrínseco al artefacto tecnológico. Podríamos expresar esto diciendo que tener valor de utilidad es conceptualmente inherente a la noción de un artefacto tecnológico. La presencia de tales valores inherentes en la tecnología parece ser una buena razón para rechazar la tesis de que la tecnología es neutral en cuanto al valor. Otra pregunta es, qué tipos de valor son precisamente inherentes a la tecnología. Responderé a esta pregunta a continuación.

3.1 Valor instrumental

Mientras que el valor de la utilidad es el valor de ser un medio para cualquier fin, el valor instrumental es el valor de ser un medio para un buen fin, de ser un medio para un valor positivo. Una tesis popular es la que sostiene que el valor instrumental de los artefactos tecnológicos, así definidos, depende de los objetivos para los que se utiliza el artefacto. Los usuarios pueden implementar tecnología para bien o para mal. Un ejemplo macabro de uso para malos fines son las cámaras de gas diseñadas por ingenieros alemanes, que se utilizaron para llevar a cabo el exterminio planeado de los judíos, mantenidos en los campos de concentración durante la Segunda Guerra Mundial. En este caso, las

cámaras de gas contribuyeron claramente al objetivo moralmente objetable de erradicar a los judíos.

Así concebidas, las cámaras de gas eran una fuente de desvalor. Tenían un valor instrumental negativo, pero al mismo tiempo un valor de utilidad positivo: eran útiles para los propósitos nazis. Incluso se podría argumentar que cuanto mayor fuera el valor de los servicios públicos de las cámaras de gas, mayor sería su valor instrumental negativo. La distinción entre valor de utilidad y valor instrumental lleva a cuestionarse cómo los artefactos tecnológicos pueden lograr valor instrumental o desvalor. Una posibilidad es que se inviertan así durante el uso: las cámaras de gas tenían un valor instrumental negativo debido a la forma en que se utilizaron. Después de todo, es concebible que esta misma tecnología alternativamente podría haber sido utilizada para lograr fines moralmente buenos o neutros. En otras palabras, los artefactos tecnológicos sólo tienen inicialmente valor de utilidad. Adquieren valor instrumental o desvalor dependiendo de cómo se utilicen. Sin embargo, esta tesis es problemática. En la mayoría de los casos, los artefactos tecnológicos se desarrollan con ciertos usos en mente. Es difícil creer que los ingenieros que diseñaron las cámaras de gas no eran conscientes de que estaban destinados a matar judíos. En vista de estas circunstancias históricas específicas, no tiene mucho sentido afirmar que los ingenieros diseñaron las cámaras de gas y que posteriormente, completamente independientes de los esfuerzos de diseño, se decidió utilizar estas cámaras de gas para matar judíos. Este punto parece tener una validez más general. Houkes y Vermaas argumentan que en el proceso de diseño los diseñadores no sólo diseñan un artefacto, sino también un plan de uso, es decir, un plan en el que el artefacto funciona como un medio para lograr ciertos fines de usuario [Houkes y Vermaas, 2004]. De hecho, las cámaras de gas que fueron diseñadas durante la Segunda Guerra Mundial formaron parte de un plan de uso general destinado a erradicar a los judíos. Si es cierto, como argumentan Vermaas y Houkes, que el diseño siempre implica diseñar un plan de uso, y luego los objetivos del usuario

no solo se agregan al artefacto más adelante, sino que son intrínsecos al menos a la historia intencional de un artefacto tecnológico.

No es tan difícil pensar en procesos de diseño en los que se intenta diseñar un artefacto que sea particularmente adecuado para lograr un cierto valor positivo o buen final. Un ejemplo es el bache de velocidad, que está destinado a obligar a los conductores a reducir la velocidad en las áreas construidas con el fin de aumentar la seguridad. Los reductores no obligan literalmente a los conductores de automóviles a conducir más lentamente, pero sin duda hacen que sea poco atractivo para conducir rápido. Por lo tanto, los baches de velocidad pueden verse como un intento de prescribir una cierta máxima moral —no conducir demasiado rápido en un área construida— para las personas, con el fin de mantener un valor moral positivo, en este caso la seguridad humana. Por lo tanto, los baches de velocidad no sólo están diseñados para tener valor de utilidad, sino también valor instrumental. Una razón por la que los artefactos tecnológicos no sólo tienen valor de utilidad, sino que también valor instrumental o desvalor es porque los objetivos para los que están destinados —y por lo tanto también el valor instrumental o desvalor previsto de un artefacto— no son extrínsecos para el artefacto, sino que forman parte de la historia intencional del artefacto en cuestión. Sin tal historia intencional, un objeto no es un artefacto técnico, sino más bien un mero objeto físico [Una posición similar es defendida por Franssen, fue tratado anteriormente]. Por lo tanto, el valor instrumental o desvalor previsto es conceptualmente inherente a la tecnología. Esto no es para negar que el valor instrumental real de un artefacto tecnológico pueda ser diferente del previsto en el proceso de diseño debido a la forma en que se utiliza el artefacto. Después de todo, sigue siendo cierto, que los artefactos se pueden usar para fines no previstos o previstos por el diseñador. Por esta razón, el valor instrumental es conceptual inherente a la tecnología, incluso si no es intrínseco a la tecnología.

3.2 VALOR ECONÓMICO

El valor económico de los artefactos tecnológicos es a menudo una de las principales razones para desarrollarlos en una economía de mercado. En economía, el valor económico es a menudo visto como el precio (en unidades monetarias) que la gente está dispuesta a pagar por los bienes comerciables. Este valor puede ser mayor que el precio real de mercado (por lo que la creación de un superávit económico) pero no suele ser menor: de lo contrario, la gente no compraría el producto. Así concebido, el valor económico de un producto depende de las preferencias de los consumidores. La gente podría, por supuesto, usarlo para crear otro valor positivo, pero esa contribución no es lo que le da al objeto su valor económico. Por lo tanto, el valor económico, en términos del precio que la gente está dispuesta a pagar por los bienes, es una especie de valor de utilidad.

El valor económico no es del todo intrínseco a los artefactos tecnológicos porque depende de las preferencias de los consumidores que son externos a los artefactos tecnológicos. Sin embargo, se puede decir que los valores económicos son inherentes a los artefactos tecnológicos en la medida en que tales artefactos son bienes que sirven a una función. Esta utilidad parece dar a los artefactos tecnológicos un valor económico, incluso si no se negocian realmente. Las tecnologías no sólo poseen valor económico como bienes comerciables, sino también como medios de producción. Muchas tecnologías facilitan la producción de otros bienes económicos y, por lo tanto, pueden servir para generar ingresos o beneficios. La innovación tecnológica a menudo permite crear los mismos bienes, o productos similares con la misma función, por un precio más bajo. Si se supone que el valor económico de los bienes (es decir, el precio que los consumidores están dispuestos a pagar) producidos por la nueva tecnología es el mismo que el anterior, esto significa que el productor puede aumentar los beneficios y/o el producto se vuelve más barato y, por lo tanto,

más asequible para los clientes. Por esta razón, podría argumentarse que la tecnología como medio de producción no sólo permite cumplir las preferencias de los productores y consumidores, sino que también tiene un valor positivo general para el bienestar humano. En la medida en que el bienestar humano se considera un valor positivo, como a menudo lo es, el valor económico de la tecnología como medio de producción no es sólo un tipo de valor de utilidad, sino también algo que es instrumentalmente valioso.

Algo similar se aplica al valor económico de las tecnologías de infraestructura. Se trata de tecnologías como las carreteras, el transporte y las tecnologías de la información y la comunicación, como Internet. Estas tecnologías no suelen comercializarse ni son un medio de producción directo para otros bienes económicos. Permiten actividades económicas, o hacen que tales actividades sean más fáciles o baratas de lo que solían ser. Pueden, por ejemplo, reducir los costos de transacción o los costos de coordinación. Una vez más, este tipo de valor económico es un valor de utilidad desde el punto de vista que depende de las preferencias de las personas, pero podría argumentarse que también contribuye en general a otros valores como el bienestar humano, por lo que es instrumentalmente valioso.

3.3 Valor moral

Las tecnologías tienen utilidad o valor instrumental porque tienen una función diseñada conscientemente. Sin embargo, los artefactos tecnológicos no simplemente cumplen su función, sino que al pasarlos también producen todo tipo de efectos secundarios valiosos y dañinos. Las plantas químicas producen sustancias útiles, pero también pueden explotar y matar a las personas. Los anticonceptivos no sólo son fundamentales para prevenir el embarazo, sino que también influyen en la moral sexual y tienen un efecto en la emancipación. Las máquinas de dispensación automática de billetes de tren pueden ser problemáticas para los ancianos y pueden disuadirlos de viajar.

Por lo tanto, las tecnologías tienen todo tipo de efectos, deseables e indeseables, más allá de los objetivos para los que están diseñadas o utilizadas. A través de estos efectos secundarios, las tecnologías crean valor o desvalor. Por lo tanto, las nuevas tecnologías pueden evaluarse no sólo en términos del valor o desvalor que crean a través de su uso (previsto), sino también en términos del valor o desvalor creado a través de sus efectos secundarios (véanse también los escritos de Hansson y Grunwald). Los valores típicos que son relevantes a este respecto incluyen la seguridad, la sostenibilidad, la salud humana, el bienestar, la libertad o la autonomía humanas, la facilidad de uso y la privacidad. Todos los valores a los que se refiere son valores morales, ya que son valiosos por razones morales. Esto no significa que sólo sean valiosos por razones morales o por las que sólo se esfuerzan por razones morales. De hecho, puede ser el caso de que un artefacto tecnológico inseguro es menos útil que uno seguro o es más difícil de vender. La mayoría de los valores en cuestión serán valores habilitadores o contributivos, es decir, valores que permitan a las personas vivir una buena vida o contribuir a hacer la vida buena. Los efectos secundarios son a menudo, pero no siempre, involuntarios. Los diseñadores y usuarios de automóviles no pretenden que ocurran accidentes automovilísticos ni ellos, —podemos suponer— tienen la intención de contaminar el medio ambiente. Sin embargo, sabemos que el diseño y uso de los coches dará lugar a accidentes de coche y a la contaminación ambiental. Lo que es especialmente relevante aquí es el hecho de que diferentes diseños de coches y diferentes modos de uso darán lugar a diferentes números de accidentes de coche y diferentes grados de contaminación. Este punto se puede generalizar: dada una función tecnológica deseable o un determinado extremo del usuario, por lo general hay formas alternativas de lograr esa función o fin. Por lo general, estas alternativas no sólo difieren con respecto a la eficacia y eficiencia con respecto a que cumplen con el final o la función formulados, sino también con respecto a sus efectos secundarios, y por lo tanto con respecto a los valores en los que se basa nuestra

evaluación de estos efectos secundarios. A veces los efectos secundarios se incorporan intencionalmente en los artefactos. Un ejemplo famoso pero disputado es el de los pasos elevados de baja suspensión en Long Island en los EE.UU. [Winner, 1980]. Según Winner, Robert Moses, el arquitecto que diseñó estos pasos elevados, diseñó intencionalmente la infraestructura vial de tal manera que evitara que los negros llegaran a las playas de Long Island. La idea era que los negros no podían permitirse los coches privados y, por lo tanto, tendrían que utilizar el transporte público, es decir, los autobuses que no podían pasar bajo los pasos elevados de baja suspensión (para una discusión completa, (véase el escrito de Radder anteriormente, especialmente la sección 4.1). Se podría objetar que el análisis anterior no indica que los efectos secundarios sean intrínsecos o inherentes a la tecnología. Los efectos secundarios no son totalmente intrínsecos a los artefactos técnicos porque dependen en parte de las formas y circunstancias de uso, incluso si también dependen en parte de las propiedades intrínsecas de los artefactos técnicos. Pero, ¿son los efectos secundarios inherentes a los artefactos tecnológicos? Si un artefacto tecnológico no tuviera efectos secundarios no dejaríamos de llamarlo artefacto tecnológico. Tener efectos secundarios no es, en otras palabras, una característica definitoria de la tecnología; por lo tanto, no es conceptualmente inherente a la tecnología. Sin embargo, creo que se puede argumentar que los efectos secundarios son inherentes a la tecnología en un sentido más débil. Este sentido más débil tiene que ver con lo que tomo para ser un hecho del mundo en el que vivimos: los artefactos tecnológicos nunca son perfectos en el sentido de que siempre producen efectos que no sean su función o objetivo primario. Dado este hecho, los efectos secundarios —y el desvalor que crean— son inherentes a la tecnología no en un sentido conceptual sino en un sentido práctico o empírico.

3.4 Valores culturales y estéticos

Un hermoso edificio o un coche cuidadosamente diseñado no sólo son instrumentalmente valiosos como un medio para vivir o para el transporte, sino que también es intrínsecamente valioso como un objeto hermoso. Los artefactos tecnológicos también pueden adquirir valor cultural. Pueden ser los portadores de significado: un 2CV tiene un significado cultural diferente al de un Mercedes Benz. Estos dos tipos de coches no son sólo diferentes medios para lograr más o menos el mismo fin (de pasar de A a B); también encarnan diferentes tipos de valores culturales. Como objetos culturalmente valiosos, los coches valen la pena en sí mismos, no sólo como medios de transporte.

Al igual que los valores económicos y morales, los valores culturales y estéticos no son intrínsecos a los artefactos tecnológicos. El valor cultural asociado a un artefacto está abierto a la interpretación y puede cambiar en el transcurso del tiempo. Incluso los ideales relativos a lo que constituye la belleza, pueden cambiar en diferentes períodos históricos y variar de una cultura a otra. Si los valores culturales y estéticos dependen efectivamente de la interpretación, como se suele argumentar, esos valores no serán intrínsecos al objeto valioso, sino que son propiedades relacionales de ese objeto.

El hecho de que el valor cultural y estético de los artefactos tecnológicos dependa de sus propiedades relacionales no debe ser tomado como un hecho que la atribución de tal valor a los artefactos tecnológicos es arbitraria. Así como los artefactos tecnológicos a menudo se diseñan con un cierto plan de uso en mente, por lo que también son a menudo, pero ciertamente no siempre, diseñados para un cierto valor cultural o estético. El diseño y el estilo del coche es un buen ejemplo de esto. Dadas las prácticas actuales de los usuarios, las tradiciones culturales y las tendencias sociales, se puede predecir en cierta medida qué artefactos de valor cultural o estético adquirirán. Este valor no sólo depende de las propiedades relacionales extrínsecos de los artefactos, sino también en parte de sus propiedades intrínsecas materiales. Las propiedades

intrínsecas determinan en parte los valores estéticos y culturales de cualquier artefacto.

¿Significa esto que los valores culturales y estéticos son inherentes a la tecnología? Parece que los artefactos tecnológicos siempre pueden ser evaluados desde un punto de vista estético o cultural. Sin embargo, esto no implica que tengan valor cultural y estético como artefactos tecnológicos. Un hermoso abrecartas es instrumentalmente valioso como un artefacto tecnológico porque está diseñado intencionalmente y se puede utilizar para abrir cartas. Al mismo tiempo podría ser un objeto hermoso y, como tal, tener un valor estético intrínseco. A menudo, el valor estético de un artefacto tecnológico no será completamente distinguible de su utilidad o valor instrumental. Un hermoso abrecartas podría no ser sólo un objeto hermoso, pero también puede ser hermoso como un abrecartas, su belleza puede basarse en la forma específica en que su función se traduce en una determinada forma. No es sólo hermoso, sino que es hermoso porque cumple su función de cierta manera. Por lo tanto, sin entender la función del abrecartas, su belleza puede ser inexplicable o incluso estar ausente. Como dice Roger Scruton sobre la arquitectura: ". . . nuestro sentido de la belleza en las formas arquitectónicas no puede separarse de nuestra concepción de los edificios y de las funciones que cumplen" [Scruton, 1979, p. 10]. Lo mismo ocurre con los valores culturales. Un 2CV o Ferrari podría equivaler a una cierta expresión de una forma de vida, y como tal tener valor cultural, pero este valor cultural es a menudo difícil, si no imposible, de entender o incluso ausente por completo si uno no se da cuenta de que es un medio de transporte.

4 VALORES EN EL PROCESO DE DISEÑO DE INGENIERÍA

El diseño está dirigido a la creación de cosas útiles: tiene como objetivo crear o lograr el valor de la utilidad. Para el usuario, dicho valor de utilidad se logra incrustando el artefacto que se va a diseñar en un plan de uso. Este plan de

uso define los requisitos funcionales que debe cumplir el artefacto. Estos requisitos funcionales, la función del artefacto, se logran a través de una cierta estructura física o maquillaje [Kroes, 2002]. Durante el proceso de diseño, se realiza una traducción de la función deseada del artefacto a una estructura física. En pocas palabras, los requisitos funcionales se traducen en especificaciones técnicas, que se incorporan en una determinada estructura física. El diseño de ingeniería es, por lo tanto, el proceso por el cual ciertas funciones se traducen en un plano para un artefacto, sistema o servicio que puede cumplir dichas funciones. El diseño de ingeniería suele ser un proceso sistemático que hace uso del conocimiento técnico y científico. El proceso de diseño es un proceso iterativo que se puede dividir en diferentes etapas, como (véase, por ejemplo, [Pahl y Beitz, 1984]):

1. Análisis y formulación de problemas, incluida la formulación de requisitos de diseño y la planificación del diseño y desarrollo del producto, sistema o servicio.

2. Diseño conceptual, incluyendo la creación de soluciones conceptuales alternativas al problema del diseño y una posible reformulación del problema.

3. Elegir una solución conceptual de un conjunto de posibles soluciones.

4. Diseño de la realización. La solución elegida se elabora en términos estructurales y materiales.

5. Diseño de detalle. El diseño se detalla más detalladamente, terminando con un diseño que puede funcionar como un plano para el proceso de producción.

Los valores pueden ser relevantes en todas las etapas del proceso de diseño (cf. [van de Poel, 2005]). Sin embargo, son más prominentes y explícitos durante la primera fase en que se formulan los requisitos de diseño, y durante la

tercera fase cuando se elige una solución de diseño específica y a menudo se tienen que hacer compensaciones entre los diferentes requisitos de diseño. En las Secciones 4.1 y 4.2, estas dos fases serán analizadas con más detalle.

4.1 Valores y requisitos de diseño

En la primera fase de cualquier proceso de diseño de ingeniería, los requisitos se formulan sobre la base del uso previsto del artefacto y los deseos del cliente o usuario. Además, las limitaciones económicas, los requisitos legales, los códigos técnicos y las normas, así como las consideraciones morales, desempeñarán su papel. A continuación distinguiré entre los requisitos de diseño funcional y los requisitos de diseño adicionales. Se debatirán una serie de cuestiones de valor con respecto a cada uno de estos requisitos.

4.1.1 Requisitos de diseño funcional

Los requisitos de diseño funcional son una indicación de lo que se supone que debe hacer el artefacto que se va a diseñar; se expresan en lenguaje funcional. Para un lápiz, por ejemplo, los posibles requisitos funcionales son "fácil de sostener", "no mancha", "el punto dura" y "no rueda" (cf. [Wasserman, 1993]). Durante el proceso de diseño, estos requisitos de diseño funcional se traducen en especificaciones técnicas. En el caso del lápiz, las especificaciones técnicas pueden expresarse en términos de la longitud del lápiz, o el grado de hexagonalidad del lápiz.

Los requisitos de diseño funcional son una expresión del valor de utilidad previsto del artefacto que se va a diseñar. Pueden ser formulados por el cliente o el usuario previsto; a menudo, sin embargo, los diseñadores desempeñarán un papel importante en la traducción de los deseos e ideas bastante vagas de los clientes y los usuarios potenciales en requisitos de diseño más concretos. Los propios diseñadores también pueden formular requisitos de diseño funcional sobre la base de un plan de uso.

Cabe señalar que la formulación de los requisitos de diseño funcional está cargada de valor en sí misma. Un problema es: ¿para quién está diseñando? Como hemos visto, el valor instrumental de los artefactos tecnológicos, es decir, su valor como medio para buenos fines, depende de cómo se utilicen y se puedan utilizar estos artefactos. El valor instrumental de un Kalashnikov es diferente del de un medicamento barato para aliviar el SIDA en África. Por supuesto, no todos los casos son tan claros, pero las opciones relativas a los usuarios y los planes de uso están claramente cargados de valor.

4.1.2 Requisitos adicionales de diseño

No todos los requisitos de diseño se basan en el uso o la función previstos del artefacto que se va a diseñar. Una fuente de requisitos de diseño adicionales son las posibles partes interesadas que se ven afectadas por un artefacto tecnológico y que tienen diferentes deseos, necesidades e intereses. Si uno diseña, por ejemplo, una máquina de producción para clips de papel, el cliente podría ser la empresa que produce los clips de papel. Los usuarios directos son las personas que operan el aparato de producción. En este caso, también hay una gama de usuarios indirectos y partes interesadas, incluidos los gerentes de las instalaciones de producción de clip de papel, el oficial de seguridad en la planta de producción, los usuarios de clip de papel, pero también los sindicatos y grupos ambientales, el aparato podría causar contaminación ambiental. Estas partes interesadas pondrán diferentes requisitos en el diseño, requisitos que pueden entrar en conflicto entre sí o con los de clientes o usuarios.

Una segunda fuente de requisitos adicionales es el sistema socio-técnico más grande dentro del cual se incrustará el artefacto que está diseñado (véase el escrito de Bauer & Herder, 2009). Por ejemplo, los aparatos eléctricos tienen que ser compatibles con la electricidad de la red. La inserción de artefactos en sistemas socio-técnicos más grandes también puede dar lugar a problemas de

valor. Al diseñar un coche, ¿se debe ver la infraestructura existente para la distribución de la gasolina como una restricción fija y, por lo tanto, diseñar un coche que funcione con gasolina o que uno, por ejemplo, junto con consideraciones de sostenibilidad, opte por un coche que utilice hidrógeno o electricidad y hacer lobby para una infraestructura que se ajuste al uso de dichos automóviles?

Una tercera fuente de requisitos adicionales de diseño son las consideraciones morales. Los códigos de ética de ingeniería, por ejemplo, sugieren que los ingenieros deben mantener "para montar la seguridad, la salud y el bienestar del público" (para obtener más información sobre los códigos de ética de ingeniería, véase el escrito de Pritchard anteriormente). Esto sugiere que los valores morales deben desempeñar un papel explícito en la formulación de los requisitos de diseño. Cabe mencionar una serie de valores morales relevantes: seguridad, salud humana, bienestar humano, buen vivir humano, privacidad, autonomía, justicia, sostenibilidad, cuidado del medio ambiente, salud animal, bienestar animal (cf. [Friedman et al., 2006]). Los valores son a menudo demasiado amplios y vagos para ser utilizados directamente en el proceso de diseño: primero tienen que traducirse en requisitos de diseño más tangibles. A menudo, son posibles diferentes traducciones. En el diseño de una planta química, se puede ver la seguridad de los empleados y de las personas que viven cerca de la planta. Éticamente, no sería aceptable limitar la seguridad sólo a los empleados. Obviamente, las personas en las proximidades directas de una planta de este tipo experimentarán las consecuencias de las decisiones de diseño tomadas sin tener la oportunidad de estar de acuerdo o en desacuerdo o beneficiarse directamente de la planta.

4.2 Compensaciones en conflictos de diseño y valor

Si bien algunos requisitos de diseño están formulados como requisitos que pueden cumplirse o no, por ejemplo, este aparato eléctrico debe ser

compatible con 220V— otros están formulados en términos de objetivos o valores que nunca se pueden cumplir completamente. Un ejemplo de esto último es la seguridad. No existe tal cosa como un coche absolutamente seguro: los coches sólo pueden ser seguros en mayores o menores grados.

Si los requisitos de diseño se formulan como esfuerzos, es más probable que entren en conflicto entre sí. Los coches que se hacen más ligeros para ser más sostenibles (menos consumo de combustible) son, por ejemplo, menos seguros [Van de Poel y Van Gorp, 2006]. El refrigerante del refrigerador que reemplazó a la CFC 12 en la mayoría de los refrigeradores domésticos europeos —después de la prohibición de los CFC— es más sostenible desde el futuro, pero inflamable y, por lo tanto, algo menos seguro que el CFC 12 y otras alternativas [Van de Poel, 2001]. La mayoría de los diseños implican compensaciones entre los diferentes requisitos de diseño. Si los requisitos de diseño están motivados por diferentes valores, estos conflictos equivalen a conflictos de valor. A continuación esbozo dos ejemplos de conflictos de valor en el diseño de ingeniería.

4.2.1 Cinturones de seguridad

Un primer ejemplo es el cinturón de seguridad automático. Un coche con cinturones de seguridad automáticos no arrancará si no se ponen los cinturones de seguridad automáticos. Esto obliga al usuario a usar el cinturón de seguridad automático. Se podría decir que el valor de la seguridad del conductor está integrado en la tecnología de los cinturones de seguridad automáticos. Sin embargo, esto tiene un costo: el usuario tiene menos libertad. Curiosamente, hay varios diseños de cinturones de seguridad que existen que implicarían que aquí hay diferentes compensaciones en términos de seguridad y libertad de usuario. El cinturón de seguridad tradicional, por ejemplo, no hace cumplir su uso, pero hay varios sistemas que dan una señal de advertencia si el cinturón de

seguridad no se está usando. Esto no hace cumplir el uso del cinturón de seguridad, aunque sí anima al conductor a usar el cinturón de seguridad.

4.2.2 Refrigerantes para refrigeradores domésticos

Como consecuencia de la prohibición de los CFC en el siglo XIX, se tuvo que encontrar una alternativa a la CFC 12 como refrigerante en los refrigeradores domésticos. Aparte del valor de la utilidad, tres valores morales desempeñaron un papel explícito en la formulación de requisitos de diseño para refrigerantes alternativos: seguridad, salud y sostenibilidad ambiental. En el proceso de diseño, la seguridad se entendió principalmente como no inflamabilidad, y la salud como no-toxicidad. La sostenibilidad ambiental se equiparó con un bajo ODP (potencial de agotamiento del ozono) y un bajo GWP (potencial de calentamiento global). Tanto la ODP como el GWP dependen principalmente de la vida útil atmosférica de los refrigerantes. En el proceso de diseño, surgió un conflicto entre esos tres valores. Este conflicto de valores se puede ilustrar con la ayuda de la Figura 1, que deriva de una publicación en el ASHRAE Journal de diciembre de 1987 por dos ingenieros, McLinden y Didion, ambos empleados por la Oficina Nacional de Normas en los EE.UU. [McLinden y Didion, 1987].

Por razones termodinámicas, los refrigerantes más atractivos son los hidrocarburos o CFC basados en dichos hidrocarburos. La Figura 1 es una representación gráfica de los CFC basada en un hidrocarburo en particular. En la parte superior, hay metano o etano, u otro hidrocarburo. Si uno se mueve hacia el fondo, los átomos de hidrógeno son reemplazados por átomos de cloro (si uno va a la izquierda) o átomos de flúor (si uno va a la derecha). De esta manera, están representados todos los CFC basados en un hidrocarburo en particular. La figura muestra cómo las propiedades de la inflamabilidad (seguridad), la toxicidad (salud) y los efectos ambientales dependen de la composición exacta de un CFC. Como se puede ver, minimizar la vida útil atmosférica de los

refrigerantes significa maximizar el número de átomos de hidrógeno, lo que aumenta la inflamabilidad. Esto significa que existe un equilibrio fundamental entre la inflamabilidad y los efectos ambientales, o entre los valores de seguridad y sostenibilidad.

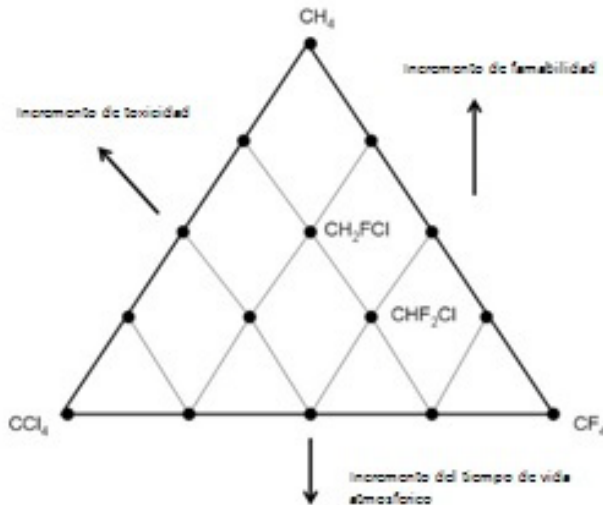


Figura 1. Propiedades de los refrigerantes

5.-TRATANDO CON CONFLICTOS DE VALOR EN EL DISEÑO DE INGENIERÍA: DISEÑO ÓPTIMO

Cuando se trata de compensaciones, los ingenieros se inclinan a buscar la mejor u óptima solución de diseño. A continuación, mostraré varios enfoques para el diseño óptimo: eficiencia y eficacia (Sección 5.1), análisis costo-beneficio (Sección 5.2) y análisis de diseño de múltiples criterios (Sección 5.3).

5.1 Eficiencia y eficacia

Un enfoque de primer orden para el diseño óptimo es considerar que el diseño es óptimo si resulta en un artefacto que cumple de manera óptima la función deseada. Pero, ¿cómo sabemos —o medimos— si un diseño cumple de

manera óptima su función? Dos medidas están en el grado de venta: eficacia y eficiencia. La eficacia se puede definir como el grado en que un artefacto cumple su función. La eficiencia podría definirse como la relación entre el grado en que un artefacto cumple su función y el esfuerzo necesario para lograr ese efecto. Como es señalado por Alexander (mas adelante), la eficiencia en el sentido moderno se interpreta generalmente como una relación salida / entrada. Por lo tanto, la eficiencia energética de una planta de carbón puede definirse como la relación entre la energía contenida en la energía producida y la energía térmica contenida en el carbón no quemado.

Históricamente, parece haber una estrecha conexión entre el auge de la noción moderna de eficiencia y diseño óptimo. Frederick Taylor, por ejemplo, creía que la producción debía basarse en "la mejor manera" que, según él, era simplemente la forma más eficiente [Taylor, 1911].

Hay que tener en cuenta dos cosas con respecto a la eficacia y la eficiencia. En primer lugar, la eficacia y la eficiencia son valores diferentes que pueden entrar en conflicto. El diseño que cumple más eficazmente con su función prevista puede no ser necesariamente el más eficiente. Una aspiradora muy eficaz que elimina más polvo que una menos eficaz puede, sin embargo, ser menos eficiente energéticamente, es decir, puede utilizar más energía por unidad de polvo eliminado que la aspiradora menos eficaz. Por lo tanto, podemos enfrentarnos a un conflicto entre eficacia y eficiencia. Una noción bien definida de diseño óptimo requiere una solución a este conflicto potencial. En segundo lugar, la eficacia y la eficiencia son a menudo muy difíciles de medir. Aunque esto es en parte un problema práctico, esta dificultad a menudo se basa en el problema más fundamental que a menudo ni la función de un artefacto (es decir, su salida) ni la entrada se pueden formular uniformemente. Esto se debe, por ejemplo, al hecho de que la función deseable de un artefacto se expresa a menudo en términos de una serie de requisitos funcionales, que pueden entrar

en conflicto. La siguiente cita de Petroski sobre el diseño de clips de papel ilustra este punto:

Entre las cosas imperfectas sobre la gema [el clip de papel clásico, IvdP] que muchos inventores recientes han descubierto o redescubierto al reflexionar sobre cómo se utiliza el clip de papel "perfeccionado" para prensar papeles juntos son los siguientes:

1. Sólo va por un camino. La mitad del tiempo, el usuario tiene que dar la vuelta al clip antes de aplicar.

2. No sólo se desliza. El usuario primero tiene que separar los bucles.

3. No siempre se queda prensando. El clip se engancha en papeles u otros objetos y se retira.

4. Arranca los papeles. Los extremos afilados del clip cavan en los papeles cuando se retiran.

5. No tiene muchos papeles bien. El clip se retuerce mal o vuela fuera de la pila.

6. Abulta montones de papeles. Los clips de papel pueden tomar mucho espacio de archivo.

Cuando un diseño elimina una de las molestias, es más probable que no se dirija a otras o agregue una nueva. . . . Todo diseño implica objetivos contradictorios y, por lo tanto, compromisos y los mejores diseños siempre serán aquellos que se te lleven al mejor compromiso. Encontrar una manera de doblar un trozo de alambre en una forma que satisfaga todos y cada uno de los objetivos de un clip de papel no es tarea fácil, pero eso no significa que la gente no lo intente. [Petroski, 1996, p. 29-30]

Esta cita ilustra dos puntos. Una es que el ideal de diseño óptimo o lo que Petroski llama diseño "perfeccionado" es una importante fuente de inspiración para los diseñadores. Mientras el clip de papel perfecto no exista, la gente tratará de diseñarlo. La otra es que en la práctica este ideal probablemente nunca se logrará: lo mejor es siempre el mejor compromiso. La cuestión crucial entonces es cómo determinar cuál es el mejor compromiso. Esto requiere compensaciones entre los diferentes requisitos y no está claro cómo podemos hacer estas compensaciones de una manera justificada (véase también Kroes et al.).

Sin embargo, la situación real es aún peor. Hasta ahora, hemos concebido un diseño óptimo como diseño que cumple de manera óptima su función prevista, o —dicho de otra manera— como aquel lo que maximiza el valor de utilidad (esperado) del diseño. Sin embargo, como se argumenta en la Sección 3, el valor de los artefactos tecnológicos no se limita a su valor de utilidad. La pregunta que surge entonces es: ¿qué significaría tratar de maximizar el valor global de los artefactos tecnológicos durante el diseño, lo que el diseño óptimo en un sentido tan amplio equivaldría a? De hecho, los ingenieros han abordado este problema y han desarrollado una serie de enfoques sobre el problema. Los dos enfoques siguientes se discutirán brevemente a continuación: análisis costo-beneficio y análisis de diseño de múltiples criterios.

5.2 Análisis costo-beneficio

El análisis costo-beneficio es un método general que se utiliza a menudo en ingeniería. Lo que es típico del análisis costo-beneficio es que todas las consideraciones que son relevantes para la elección entre diferentes opciones se expresan finalmente en una unidad común, generalmente una unidad monetaria, como dólares o euros.

El análisis costo-beneficio puede ser una herramienta adecuada si se desea optimizar el valor económico esperado de un diseño. Sin embargo, incluso en tales casos, es necesario tomar algunas suposiciones y decisiones adicionales cargados de valor. Una cuestión es cómo descontar beneficios futuros contra los costos actuales (o viceversa). La elección de la tasa de descuento puede tener un impacto importante en el resultado del análisis. También se podrían emplear diferentes criterios de elección una vez que se haya llevado a cabo el análisis coste-beneficio. A veces, todas las opciones en las que los beneficios son mayores que los costos se consideran aceptables. Sin embargo, también se puede elegir la opción en la que los beneficios netos son más altos, o la opción en la que los beneficios netos son más altos como porcentaje de los costos totales.

El análisis costo-beneficio es más controvertido si los valores no económicos también son relevantes. Aun así, el uso de unidades monetarias no significa que sólo se puedan tener en cuenta los valores económicos en el análisis coste-beneficio. De hecho, se han desarrollado enfoques como la disposición a pagar (WTP) para expresar valores como la seguridad o la sostenibilidad en las unidades monetarias (para más detalles sobre WTP, véase el escrito de Hansson anteriormente, Sección 4.5 y el escrito de Grunwald, Sección 3.2.4). Estos enfoques a menudo se cuestionan, pero sería prematuro concluir que el análisis costo-beneficio necesariamente descuida los valores no monetarios o no económicos. Además, al emplear el análisis costo-beneficio, se podrían utilizar diferentes criterios éticos para elegir entre las opciones [Kneese et al., 1983; Shrader-Frechette, 1985]. Uno podría, por ejemplo, elegir una opción con la que nadie está peor. Al seleccionar un criterio de elección específico, podrían tenerse en cuenta consideraciones éticas más allá de considerar qué opciones aportan los mayores beneficios netos.

En términos de valores, el análisis costo-beneficio podría entenderse como la maximización de un sobredimensionamiento o super-valor. Tal valor

podría ser un valor económico como los beneficios de la empresa, o el valor del producto para los usuarios, pero también podría ser un valor moral como la felicidad humana. Si se elige este último, el análisis costo-beneficio está relacionado con la teoría ética del utilitarismo. Con la variante clásica del utilitarismo de Bentham, por ejemplo, la suposición es que todos los valores morales relevantes pueden ser expresados finalmente en términos del valor moral de la felicidad humana. Sin embargo, cabe cuestionar esta suposición. Una cuestión es que a menudo es difícil indicar hasta qué punto valores como la seguridad, la salud, la sostenibilidad y la estética contribuyen al valor de la felicidad humana, y además expresarlo en términos monetarios. Una segunda cuestión más fundamental es que este enfoque trata todos estos valores como valores extrínsecos, cuyo valor debe medirse en última instancia sobre la base de su contribución al valor intrínseco del bienestar humano. Uno podría preguntarse si valores como la salud humana, la sostenibilidad y la estética sólo tienen un valor extrínseco o valen la pena en ellos. Esta posible objeción al análisis costo-beneficio equivale a una objeción a que el método se base en el monismo de valor.

Sin embargo, podría argumentarse que la cuenta anterior del análisis costo-beneficio es demasiado sustantiva, desde el punto de vista que presupone que el método se trata de maximizar un valor específico. Algunos proponentes del análisis costo-beneficio probablemente mantendrían que se trata simplemente de una forma técnica de comparar alternativas a la luz de consideraciones o valores heterogéneos. El uso de una medida común, pueden admitir, presupone un valor común, pero este valor es meramente formal, es decir, es simplemente un medio de comparación, más que un valor sustancial. Así pues, la alegación, antes formulada, de que el análisis costo-beneficio presupone un monismo de valor podría, por lo tanto, ser errónea. Creo que hay que hacer dos puntos en respuesta a esas críticas. En primer lugar, incluso si el análisis costo-beneficio fuera simplemente un enfoque técnico, las

interpretaciones de lo que este enfoque equivale —incluso por la mayoría de los proponentes del enfoque— a menudo supondrían una especie de monismo de valor. En segundo lugar, como un enfoque meramente técnico, el análisis costo-beneficio podría no suponer un valor de monismo, pero sí supone que la capacidad de valor porque presupone que todos los valores pueden medirse a una escala común. Esto puede ser una suposición problemática (véase la Sección 2.4 y el escrito de Hansson, especialmente la Sección 4.5).

5.3 Análisis de diseño de múltiples criterios

En el análisis de múltiples criterios, se comparan diferentes opciones entre sí a la luz de varios criterios. Me concentro aquí en un enfoque específico que se utiliza a menudo en el diseño de ingeniería: el método de objetivos ponderados. Con este método, la importancia relativa de los criterios se determina primero, porque por lo general, no todos los criterios son igualmente importantes. A continuación, cada opción se pesa para todos los criterios y se otorga un valor numérico, por ejemplo, en una escala de 1 a 5. Por último, el valor de cada opción se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula: $w_j = \sum f_i * v_{ij}$ sobre I , donde w_j es el valor de la opción j^{th} , f_i es el peso relativo del criterio i^{th} , y v_{ij} es la puntuación de la opción j^{th} en el criterio i^{th} . A continuación, se selecciona la opción con el valor más alto. El método se puede ilustrar utilizando el caso de refrigerantes discutido en la Sección 4.2. Mencioné que hay tres valores relevantes en el diseño de refrigerantes: seguridad, salud y sostenibilidad ambiental. Como hemos visto, estos valores entran en conflicto en términos de la elección que se debe hacer entre varios refrigerantes. ¿Cómo continuaría el método de los objetivos ponderados en un caso como este? El enfoque más simple y directo es concebir cada uno de estos valores como criterio de decisión. El Cuadro 1 ofrece una interpretación hipotética de la elección entre tres de las alternativas que se consideraron: la CFC 12 utilizada tradicionalmente; HFC 134a, la principal alternativa propuesta por la industria química; e isobutano,

una alternativa propuesta por los grupos ecologistas, porque contribuye menos al calentamiento global que el HFC 134a, pero es inflamable.

El Cuadro 1 sugiere que debemos elegir HFC 134a. Pero, ¿qué tan sólido es este consejo? Lo primero que hay que tener en cuenta es el uso de la escala de puntuación 1 - 5 para cada criterio de decisión.

	Seguridad (inflamabilidad)	Salud (toxicidad)	Sostenibilidad ambiental (vida útil atmosférica)	Puntuación total
Peso del criterio	2	1	2	
CFC 12	5	5	1	17
HFC 134a	4	4	3	18
Isobutano (HC 600a)	1	4	5	16

Tabla 1. Aplicación hipotética del método de objetivos ponderados al caso de refrigerantes.

La forma en que se utiliza esta escala para calcular el valor global de cada alternativa significa que esta escala se interpreta como una escala de relación para cada uno de los criterios de diseño. Esto significa que debe tener sentido decir que HFC 134a obtiene puntuaciones tres veces también en el criterio de sostenibilidad ambiental como CFC 12. Si parece salir del debate, afirmar que el HFC134a obtiene mejores puntuaciones en sostenibilidad ambiental que CFC 12 —así que podemos ordenar las alternativas en una escala ordinal—, pero ¿podemos decir que lo hace tres veces más bien de acuerdo con este criterio? Para ello, se requeriría una operacionalización de la sostenibilidad

medioambiental que podamos medir. Esta operacionalización todavía parece faltar. Incluso si podemos comparar la vida útil atmosférica de dos sustancias, no es obvio que cambiar la vida útil atmosférica de una sustancia por un factor de 2 correspondería a un cambio similar en la sostenibilidad ambiental de esa sustancia.

El método de objetivos ponderados también sugiere que los pesos de los criterios se pueden medir en una escala de relación. Esto puede lograrse, por ejemplo, haciendo la pregunta marginal de la tasa de sustitución: "¿Por cuánto se debe aumentar para compensar una pérdida de una unidad en f_i ?", en la que f_i se refiere al peso del criterio i^{th} y f_1 al peso del criterio seleccionado como caso métrico [Otto, 1995, p. 97]. Obviamente, sólo es posible responder a esta pregunta si los criterios de diseño y los valores subyacentes son cómodos. El método de objetivos ponderados no es, por supuesto, el único método de criterios múltiples que se puede aplicar en ingeniería. Sin embargo, cualquiera de estos métodos debe tratar de una manera u otra con compensaciones de valor y eso parece presuponer alguna forma de compensación de valor. Además, Franssen [2005] ha demostrado que con todos los métodos de criterios múltiples, es muy difícil hacer compensaciones justificables; como Kroes, Franssen y Bucciarelli concluyen en su contribución a esta compilación: ". . . no existe un procedimiento racional general para hacer compensaciones en el diseño de ingeniería"

5.4 El ideal de diseño óptimo

Como hemos visto, es probable que la optimización de los enfoques para valorar los conflictos en la ingeniería se enfrente a problemas formales y sustantivos. Filosóficamente, estos problemas son principalmente atribuibles al hecho de que a menudo es imposible identificar un super-valor (pluralismo de valor) y valorar la inconmensurabilidad. Sin embargo, no debemos concluir de esto que el ideal de diseño óptimo no tiene ninguna importancia.

En primer lugar, el ideal de diseño óptimo a menudo motiva y guía el proceso de diseño. Dado que, al inicio del proceso de diseño, los ingenieros aún no saben lo que es técnicamente factible, el ideal de diseño óptimo, y especialmente los requisitos de diseño más específicos que son relevantes para el diseño óptimo, es importante en la búsqueda de nuevas posibilidades técnicas.

En segundo lugar, el ideal de diseño óptimo a menudo estimula las investigaciones sobre parámetros técnicos que son relevantes para la mejora del diseño. Esto ayuda a proporcionar una mejor comprensión del problema de diseño al tiempo que mejora el diseño resultante.

En tercer lugar, los problemas de diseño a menudo se pueden subdividir en problemas más pequeños. Algunos de los problemas más pequeños podrían estar tan bien definidos que existen soluciones óptimas.

En cuarto lugar, los costes de ignorar los problemas filosóficos relacionados con el pluralismo de valores y la inconmensurabilidad del valor y, por ejemplo, para llevar a cabo un análisis coste-beneficio pueden ser inferiores a los costes de seleccionar otro mecanismo de elección o simplemente elegir un diseño (cf. [Sunstein, 2005, p. 371]). Este es especialmente el caso en situaciones de elección donde un tipo de valores, por ejemplo los valores económicos, es obviamente más importante que otros. Incluso en los casos en que hay una serie de valores contradictorios, la pregunta crucial es si hay otros enfoques que no optimizan que se van mejor que optimizar los enfoques. En la siguiente sección, sugeriré una serie de enfoques alternativos, no optimizadores, y discutiré algunas de sus ventajas y debilidades.

6 ENFOQUES NO OPTIMIZADORES PARA VALORAR LOS BALANCES DE CRITERIOS EN EL DISEÑO DE INGENIERÍA

Los enfoques no optimizados no son ajenos a la ingeniería. De hecho, varios autores han argumentado que no es posible optimizar en el diseño de

ingeniería (por ejemplo, [Simon, 1973; Cross, 1989; Schán, 1992; Simon, 1996]). Un argumento importante para la imposibilidad de optimizar en ingeniería dada por Herbert Simon y Nigel Cross tiene que ver con la naturaleza mal definida de los problemas de diseño de ingeniería. Simon enumera una serie de características que los problemas deben tener, si van a estar bien definidos [Simon, 1973]. Tres características que son especialmente relevantes en relación con el diseño de ingeniería son las siguientes:

1. Es necesario tener un criterio claro para juzgar las posibles soluciones y este criterio puede aplicarse uniformemente;

2. Se puede definir un espacio problemático en el que se pueda definir el estado inicial, el estado deseado y todos los estados provisionales posibles —que pueden considerarse o lograrse durante la resolución de problemas—;

3. Las posibles acciones o soluciones se pueden representar como transiciones entre diferentes estados de espacio problemático. En la medida en que las acciones afecten al mundo real —y por lo tanto están fuera de un lenguaje o juego formal— la representación debe coincidir con las leyes naturales del mundo externo.

La mayoría de los problemas de diseño no cumplen estos criterios. Por lo general, no se dispone de un criterio de elección claro y uniformemente aplicable, como se desprende del debate presentado en la Sección 5. Además, el espacio problemático no suele estar bien definido. Con frecuencia, en el diseño de ingeniería no tenemos una visión general de las soluciones posibles de operación completa, por no hablar de una representación de este conjunto en un espacio de problemas bien definido. Por lo tanto, los problemas de diseño suelen estar mal definidos.

La naturaleza mal definida de los problemas de diseño hace que la optimización sea difícil, si no imposible. Sin embargo, existen estrategias

alternativas y no optimizadoras en el diseño de ingeniería. Una estrategia no optimizadora que fue descrita por primera vez por Simon y que los ingenieros se informan que siguen es satisfacer implicando la selección de una alternativa que no es óptima, pero "suficientemente buena". Satisfacer es también una posible estrategia para tratar los valores en conflicto, como ya señaló Simon [1955]. Otras estrategias no optimizadoras son posibles con respecto a los valores contradictorios en ingeniería relacionados con el razonamiento sobre valores, la innovación tecnológica y la elección de una diversidad de productos. Cada una de estas estrategias se discutirá a continuación.

6.1 Satisfactorio

A diferencia de un optimizador, un conciliador no busca la opción óptima, pero primero establece un nivel de aspiración con respecto a las opciones que son lo suficientemente buenas y luego continúa seleccionando cualquier opción que exceda ese nivel de aspiración [Simon, 1955, 1956, 1976]. Se concibe que los diseñadores son conciliadores en el sentido de que establecen valores umbral para los diferentes requisitos de diseño y aceptan cualquier diseño que supere esos umbrales [Ball et al., 1994]. Así concebido, la satisfacción también puede verse como una forma de tratar los valores en conflicto, es decir, estableciendo umbrales para cada valor y luego seleccionando cualquier opción que exceda esos umbrales. El establecimiento de valores umbral no sólo se produce en el proceso de diseño, sino también en la legislación y la formulación de códigos técnicos y normas. Un ejemplo de satisfacción se encuentra en el caso discutido anteriormente del diseño de nuevos refrigerantes. Sobre la base de la Figura 1, los ingenieros McLinden y Didion, dibujaron una figura más específica con respecto a las propiedades de los CFC (Figura 2). Según McLinden y Didion, el área en blanco en el triángulo contiene refrigerantes que son aceptables en términos de salud (toxicidad), seguridad (inflamabilidad) y efectos ambientales (vida útil atmosférica). Este juicio de valor es un tipo de satisfacción porque

dibujando el área en blanco de la figura, McLinden y Didion, implícitamente, establecen valores umbrales para la salud (toxicidad), la seguridad (inflamabilidad) y el medio ambiente. Estos umbrales se basaron en parte en códigos técnicos y normas. Por ejemplo, el valor umbral para la seguridad —no inflamabilidad— se basaba en el entonces existente Código ASHRAE para refrigeración mecánica (Norma ASHRAE 15-1978), que prohibía el uso de refrigerantes inflamables en equipos destinados a aplicaciones domésticas.

El satisfacer también se puede combinar con la optimización. Por ejemplo, un diseñador que tiene que compensar las consideraciones de seguridad y costos al diseñar una instalación química bien puede optar por hacer un diseño que cumpla con los requisitos legales con respecto a la seguridad y sea lo más barato posible. Esto se puede interpretar como un comportamiento satisfactorio, con respecto al valor de la seguridad, al tiempo que se optimiza con respecto al costo dentro de las restricciones de seguridad.

Filosóficamente, la pregunta importante es si, y si es así cuándo, la satisfacción es una estrategia moral y racionalmente permisible. Si alguien satisface no busca lo mejor, sino una opción que sea lo suficientemente buena desde cierto punto de vista. Algunos éticos han argumentado que la satisfacción con respecto a los valores morales podría ser permisible: en muchas situaciones no estamos obligados a hacer lo que es moralmente mejor, pero al menos debemos hacer lo que es moralmente lo suficientemente bueno (véase, por ejemplo, [Stocker, 1990; Dancy, 1993]). Arriesgar la vida de uno para salvar a otra persona de una casa en llamas podría ser moralmente digno de elogio, pero eso no significa que sea moralmente necesaria. Por lo tanto, no todo lo que es moralmente digno de elogio también es moralmente necesario porque eso podría exigir demasiado a alguien. Este fenómeno se conoce como supererogación moral.

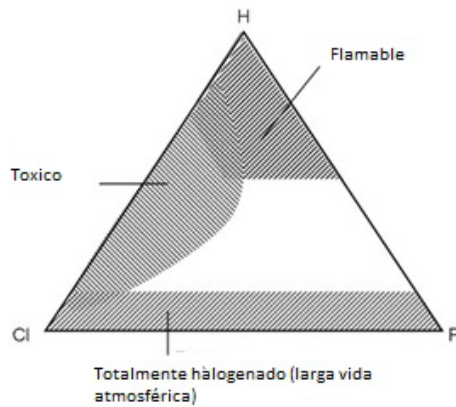


Figura 2. Propiedades de los refrigerantes. [Figura de McLinden y Didion, 1987]

Un argumento de por qué la satisfacción no sólo está permitida, sino que incluso puede ser aconsejable en el caso de los valores morales podría ir de la siguiente manera. Los valores morales a veces resisten las compensaciones como hemos visto en la Sección 2.4. Una posible explicación de esto es que a menudo pueden ser entendidas como obligaciones morales [Baron y Spranca, 1997], como la obligación de cumplir un cierto valor en cierta medida mínima. Si se interpretan, las obligaciones morales definen umbrales para los valores morales. Parece plausible que por debajo del umbral el valor moral no pueda ser objeto de compensación contra otros valores porque la obligación moral es más o menos absoluta; por encima del umbral, se pueden permitir compensaciones. Si este cuadro es correcto, proporciona un argumento adicional para satisfacción con respecto a los valores morales: para cada uno de los valores morales pertinentes, el umbral debe fijarse de tal manera que se cumpla al menos la obligación moral correspondiente. Si esto se hace, se pueden evitar compensaciones inaceptables entre los valores morales o entre los valores morales y otros valores.

¿Los argumentos anteriores también se aplican a los valores no morales? Un argumento importante para la existencia de la supererogación moral es que tenemos otros valores (y razones) además de los valores morales (y las razones), y que éstos pueden ir en contra de lo que es moralmente más digno de elogio. Es, por ejemplo, obvio que tengo razones para no arriesgar mi vida para salvar a alguien más de una casa en llamas, incluso si tengo buenas razones para creer que sería mejor desde un punto de vista moral arriesgar mi vida. Es la existencia de tales otras razones lo que puede justificar la satisfacción moral. La justificación aquí se basa en la existencia —presunta— de una perspectiva más amplia que incluya la perspectiva moral, por ejemplo, la perspectiva de toda la vida de una persona.

¿Puede justificarse también la satisfacción en el nivel de perspectiva más amplio, como la perspectiva de toda una vida? Algunos filósofos, en parte Michael Slote, creen que puede [Slote, 1984; 1989]. Slote argumenta que puede ser racionalmente justificable renunciar a la mejor opción, incluso si sabemos cuál es la mejor opción e incluso si está fácilmente disponible; él llama a esto 'supererogación racional'. Sin embargo, el argumento de Slote es fuertemente cuestionado (por ejemplo, [Pettit, 1984; Schmitz, 1995; Byron, 1998]). Lo que lo hace especialmente problemático es su afirmación de que está racionalmente permitido elegir alguna opción menor sobre una mejor opción disponible a pesar de que no tenemos ninguna razón primordial para hacerlo. Parece que, o tenemos una razón imperiosa para elegir la opción menor, lo que hace que no sea la opción menor teniendo en cuenta todas las cosas, o simplemente no se nos permite racionalmente elegir la opción menor.

El argumento en contra de la posición de Slote sugiere que la satisfacción no puede ser racional desde la perspectiva más amplia. Sólo puede ser racional con respecto a una perspectiva parcial; satisfacción en un subnivel de este tipo puede ser racional porque, visto desde una perspectiva más amplia,

es la mejor manera de lograr los valores o objetivos generales. Algunos filósofos han sugerido que al más alto nivel, siempre estamos optimizando si somos racionales, al menos implícita y tácitamente [Byron, 1998]. Sin embargo, la idea de optimización implícita y tácita, parece problemática. Sugiere que optimicemos incluso si no somos conscientes de ello. Sin embargo, esto hace imposible distinguir empíricamente la optimización de la no optimización, de modo que la tesis que optimizamos no puede ser falsificada empíricamente. Tal vez, sin embargo, la tesis no pretende referirse a un hecho empírico, sino más bien a una verdad conceptual: la naturaleza conceptual de la racionalidad no deja otra opción que optimizar al más alto nivel si queremos ser racionales. Esto, sin embargo, es una afirmación muy audaz. Para que sea plausible, al menos deberíamos argumentar cómo la gente podría, si quisiera, optimizar al más alto nivel, y que pudieran hacerlo siempre si así lo quisiera. Una razón para dudar de que tal argumento pueda darse tiene que ver con la existencia de valores plurales y contradictorios y con la inconmensurabilidad del valor. Esto pone en duda la posibilidad de optimizar como hemos visto: la noción de una mejor opción puede simplemente no estar bien definida.

Otra cuestión pertinente con respecto a la aceptabilidad de la satisfacción, es la de si estamos considerando un contexto estático o dinámico [Simon, 1956; Schmidtz, 1995]. En contextos estáticos, se conocen todas las opciones, las consecuencias de las opciones se conocen con una cierta probabilidad y las opciones están fácilmente disponibles. Slote se propone argumentar que la satisfacción está racionalmente permitida en un contexto estático. Tal argumento es muy difícil, si no imposible, de fundamentar, pero ¿qué pasa con la aceptabilidad racional de la satisfacción en un contexto dinámico? En un contexto dinámico, no somos plenamente conscientes de todas las opciones, o requiere esfuerzo para investigar las consecuencias de las opciones o para ponerlas a disposición. En este contexto, nos enfrentamos a la siguiente pregunta: ¿cuánto esfuerzo se debe hacer para conocer mejor el

espacio de la solución? El esfuerzo puede dar sus frutos porque existe la posibilidad de que descubramos una mejor opción que las que ya conocemos. Sin embargo, hay límites: en situaciones en las que el espacio de la solución no está cerrado, podemos seguir buscando sin fin una mejor solución, pero en algún momento los resultados ya no justifican el esfuerzo. En una situación tan dinámica, la satisfacción puede ser una regla de frenado útil y racionalmente defendible: busque una mejor opción hasta que haya encontrado una opción que cumpla todos los valores de umbral. (Debe tenerse en cuenta que también es posible formular una regla de detención de optimización. Un buen candidato para la regla de detención del optimizador es: deje de buscar nuevas opciones tan pronto como el valor esperado de encontrar una mejor opción sea menor que los costos esperados de cualquier proceso de búsqueda posterior. Esta regla de detención es diferente de la del conciliador en que requiere cálculos para decidir si continuar la búsqueda o no; tal cálculo toma tiempo y podría resultar contraproducente. Por lo tanto, el optimizador necesita una regla de detención sobre el tiempo dedicado a calcular si vale la pena continuar la búsqueda. Si el optimizador elige una regla de detención satinada para la realización del cálculo, ya no está optimizando; pero, si elige una regla de parada de optimización, tiene que hacer aún más cálculos porque el tiempo que se debe dedicar a los otros cálculos debe tenerse en cuenta (aunque estos cálculos presumiblemente toman menos tiempo que si no hubiera aplicado la regla de detención).

El punto es este: al menos en algunas circunstancias, el tiempo que tarda el optimizador en tomar todas estas decisiones simplemente no vale la pena el esfuerzo. El optimizador suele ser, si no siempre, mejor si, en algún nivel, elige una regla de frenado satisfactoria. Sin embargo, no sabe; cuando es el momento adecuado para elegir la regla de frenado satisfactorio y en ese sentido, no está optimizando incluso si elige la regla de satisfacción porque quiere optimizar. Querer optimizar no es, después de todo, lo mismo que optimizar.) ¿Qué nos dice esto sobre la aceptabilidad de la satisfacción en el diseño de

ingeniería? En primer lugar, sugiere que la satisfacción con respecto a los valores morales – o más específicamente los requisitos de diseño moralmente motivados – puede ser permisible debido al fenómeno de la supererogación moral. En segundo lugar, sugiere que la satisfacción con respecto a otros valores y requisitos de diseño puede justificarse racionalmente desde una perspectiva más amplia. En el caso del diseño de una pieza o componente, esta perspectiva más amplia puede ser el proceso de diseño de todo el artefacto. En el caso de un proceso de diseño para un artefacto, la perspectiva más amplia puede ser el sistema socio-técnico en el que está incrustado el artefacto. La perspectiva más amplia también puede ser la empresa que quiere obtener un beneficio con un determinado diseño o puede ser la sociedad en general la que tiene como objetivo mantener ciertos valores a través de la tecnología. En tercer lugar, la satisfacción puede ser racional en un contexto dinámico en el que el espacio de la solución no está cerrado. Como hemos visto, esto suele ser el caso en el diseño de ingeniería. Por lo tanto, satisfacer, puede proporcionar una regla de frenado racionalmente defendible para el proceso de búsqueda que es el diseño de ingeniería.

6.2 Razonamiento sobre los valores

Los enfoques para tratar los valores contradictorios que ya se han discutido —eficiencia, análisis costo-beneficio, análisis de múltiples criterios y satisfacer— son todos enfoques calculadores. Se esfuerzan por poner en práctica y medir el valor de una manera u otra. De estos enfoques, la satisfacción no tiene por objeto calcular el valor global de una opción, pero supone que el valor de una opción se puede medir para cada uno de los requisitos de diseño individuales. Ahora examinaré enfoques que no comparten este enfoque calculador, pero que enfatizan el juicio y el razonamiento sobre los valores. En la literatura filosófica sobre la inconmensurabilidad del valor, algunos autores sostienen que la presencia de inconmensurabilidad de valor no afecta a nuestra

capacidad de comparar opciones porque podemos ejercer el juicio (por ejemplo, [Stocker, 1990]). A menudo, precisamente lo que tal juicio implica y cómo podría conducir a una elección justificada en situaciones de conflicto de valores sigue sin estar claro. Sin embargo, se pueden decir una serie de cosas acerca de lo que tal juicio podría implicar. Lo primero que hay que hacer cuando uno quiere ejercer juicio en casos de conflicto de valor es obtener una mejor comprensión de los valores en juego. ¿Qué implican estos valores y por qué son importantes estos valores? Tome el valor de la libertad en el caso de los cinturones de seguridad. La libertad puede interpretarse como la ausencia de restricciones al conductor; entonces básicamente significa que la gente debe ser capaz de hacer lo que quiere. Sin embargo, la libertad también puede ser valorada como una condición previa necesaria para tomar decisiones propias consideradas; por lo que la libertad concebida lleva con ello una cierta responsabilidad. A este respecto, se puede argumentar que un cinturón de seguridad que recuerda al conductor que ha olvidado usarlo no impide realmente la libertad del conductor, sino que le ayuda a tomar decisiones responsables. Tal vez incluso se argumente que los cinturones de seguridad automáticos pueden ser compatibles con esta noción de libertad, siempre que el conductor haya elegido libremente utilizar un sistema de este tipo o respalde la obligación legal de un sistema de este tipo, lo cual no es improbable si la libertad no es sólo la libertad de hacer lo que uno quiere, sino más bien una condición previa para un comportamiento autónomo responsable. Por lo tanto, uno puede pensar en diferentes conceptualizaciones de los valores en juego y estas diferentes conceptualizaciones pueden conducir a diferentes soluciones posibles al conflicto de valores. Una segunda etapa de la sentencia sería abogar por conceptualizaciones específicas de los valores pertinentes. Algunas conceptualizaciones pueden no ser sostenibles porque no pueden justificar por qué vale la pena el valor en juego. Por ejemplo, puede ser difícil argumentar por qué vale la pena la libertad, concebida como la ausencia de cualquier restricción. La mayoría de nosotros no nos esforzamos por una vida

sin restricciones o compromisos porque tal vida probablemente no valdría la pena. Esto no es negar el valor de la libertad; sugiere que una conceptualización de la libertad sólo en términos de la ausencia de restricciones pierde el punto de lo que es valioso acerca de la libertad. Las conceptualizaciones no sólo pueden ser insostenibles por razones tan sustanciales, sino que también pueden ser inconsistentes o incompatibles con algunas de nuestras otras creencias morales. Un tercer paso en el juicio es buscar el terreno común detrás de los diversos valores que podrían ayudar a resolver el conflicto de valores. Taebi y Kloosterman [2008], por ejemplo, han argumentado que las diversas compensaciones en la energía nuclear pueden reducirse a un equilibrio entre el presente y el futuro, y por lo tanto pueden entenderse mejor en términos de la noción de justicia inter-generacional. Se podría argumentar que buscar un terreno común entre diferentes valores presupone una forma de monismo de valor. Supongo que esto es cierto. Sin embargo, hay que subrayar que este tipo de monismo de valor es diferente del supuesto por el análisis costo-beneficio o el utilitarismo. En estos últimos casos, la presunción es que todos los valores pueden expresarse en términos de un valor general, como el bienestar humano. Aquí el valor monismo es más un monismo de razones. Es el tipo de monismo de valor al que Kant parece comprometido. Según Korsgaard, Kant sólo reconoce un valor incondicionalmente bueno como la fuente de todos los demás valores y es: 'buena voluntad' [Korsgaard, 1986]. Es probable que Kant mantenga que la buena voluntad puede resolver todos los conflictos de valores, al menos en principio. Esto me parece demasiado optimista, pero eso no reduce la necesidad de buscar un terreno común entre los valores. Incluso si no siempre se puede encontrar este terreno común, puede estar disponible en casos específicos.

6.3 Innovación: diseño sensible al valor

El enfoque anterior trata la ocurrencia del conflicto de valores simplemente como un problema filosófico que debe resolverse mediante análisis

filosófico y argumento. Sin embargo, en el diseño de ingeniería, los conflictos de valor también pueden resolverse por medios técnicos. Es decir, en ingeniería podría ser posible desarrollar nuevas opciones, aún no existentes, que resuelvan o al menos faciliten la situación de conflicto de valor. En cierto sentido, resolver los conflictos de valores a través de las nuevas tecnologías es lo que está en el corazón del diseño de ingeniería y la innovación tecnológica. La ingeniería es capaz de desempeñar este papel, porque la mayoría de los valores no entran en conflicto como tal, pero sólo a la luz de ciertas posibilidades técnicas y el diseño de ingeniería y la I+D pueden ser capaces de cambiar estas posibilidades.

Un ejemplo interesante es el diseño de una barrera de marejada de tormenta en el estuario de Escalda Oriental en los Países Bajos. Después de que una gran inundación de tormentas golpeará los Países Bajos en 1953, matando a más de 1.800 personas, el gobierno decidió presar el Escalda Oriental como parte de lo que llegó a ser conocido como el plan Delta. El principal valor que se tuvo en cuenta en el plan Delta fue la seguridad. El cierre del Escote Oriental estaba programado para comenzar a principios de los años setenta, como la parte final del plan Delta. Sin embargo, en ese momento había dado lugar a protestas en conjunción con el valor ecológico del estuario de Escalda Oriental, que de esa manera sería destruida. Muchos pensaban que la ecología del estuario debía ser considerada. Eventualmente, un grupo de estudiantes de ingeniería ideó una solución creativa que satisfaría tanto la seguridad como las preocupaciones ecológicas. La idea era construir una barrera de marejada de tormenta que se cerraría sólo en casos de inundaciones de tormentas. Eventualmente esta solución fue aceptada como una opción creativa, aunque más costosa, que tuvo en cuenta tanto los valores de seguridad como la ecología.

Un enfoque que tiene en cuenta la posibilidad de resolver, o al menos facilitar, los conflictos de valor a través del diseño de ingeniería es Diseño Sensible al Valor. El diseño Sensible al valor es un enfoque que tiene como

objetivo integrar valores de importancia ética de manera sistemática en el diseño de ingeniería [Friedman, 1996; Friedman y Kahn, 2003; Friedman et al., 2006]. El enfoque tiene por objeto integrar tres tipos de investigaciones: conceptuales, empíricas y técnicas. Las investigaciones conceptuales tienen por objeto, por ejemplo, aclarar los valores en juego y hacer compensaciones entre los distintos valores. Las investigaciones conceptuales en Diseño Sensible al Valor son similares al tipo de investigaciones que describí en la Sección 6.2. Lo que Diseño Sensible al Valor añade a esto son investigaciones empíricas y técnicas. Las investigaciones empíricas "implican investigaciones científicas sociales sobre la comprensión, los contextos y las experiencias de las personas afectadas por los diseños tecnológicos" [Friedman y Kahn, 2003, pág. 1187]. No es difícil ver por qué esto es relevante: las experiencias, los contextos y la comprensión de las personas son ciertamente importantes a la hora de apreciar con precisión qué valores están en juego y cómo estos valores se ven afectados por diferentes diseños. Lo que queda algo poco claro, es cómo los defensores del diseño sensible al valor ven la relación entre las investigaciones conceptuales y empíricas. Por ejemplo, ¿es importante cómo las personas perciben un valor o cómo debe entenderse por motivos conceptuales? Yo diría que la comprensión de los valores por parte de la gente no es irrelevante, pero que tampoco debe tomarse en valor nominal, la gente podría equivocarse después de todo. Uno podría, por ejemplo, exigir a las personas que justifiquen su comprensión de los valores en juego en un amplio equilibrio reflexivo [Daniels, 1979; 1996; Rawls, 1971/1999]]. Esto también podría proporcionar un modelo para integrar investigaciones conceptuales y empíricas; un modelo que todavía parece carecer de la literatura sobre el diseño sensible al valor. Las investigaciones técnicas "implican el análisis de los mecanismos técnicos y diseños actuales para evaluar qué tan bien apoyan valores particulares y, por el contrario, identificar valores y luego identificar y/o desarrollar mecanismos técnicos y diseños que puedan apoyar esos valores" [Friedman y Kahn, 2003, p. 1187]. La segunda parte es

especialmente interesante y relevante porque ofrece la oportunidad de desarrollar nuevas opciones técnicas que satisfagan más adecuadamente los valores de importancia ética que las opciones actuales. Como muestra el ejemplo de la barrera del escote oriental, las investigaciones técnicas también pueden aliviar los conflictos de valor. Sin embargo, por lo general, la innovación técnica no resolverá por completo los conflictos de valores, por lo que todavía hay que tomar decisiones entre valores contradictorios. En este sentido, Diseño Sensible al Valor solo presenta una solución parcial para valorar los conflictos en el diseño de ingeniería.

6.4 Diversidad, género y holismo en el valor

Todos los enfoques para el conflicto de valores discutidos hasta ahora presuponen que sólo se debe elegir una opción. Esta presunción es de hecho cierto para los procesos de diseño de productos más específicos. Sin embargo, si nos alejamos desde esta perspectiva, surge una imagen algo diferente: la ingeniería proporciona a la sociedad diferentes productos que tienen aproximadamente la misma función. Se pueden dar una serie de posibles justificaciones para esta diversidad.

Una es que diferentes personas tienen diferentes necesidades y preferencias. Un abrelatas, que es útil para el ciudadano medio, puede no ser el dispositivo más adecuado para los ancianos que suelen tener menos poder en sus manos. Debido a las divergencias en, por ejemplo, el maquillaje físico, diferentes personas tienen necesidades diferentes, un hecho de la vida que puede justificar el diseño de diferentes productos con aproximadamente la misma función para diferentes grupos de usuarios. Las personas también pueden tener diferentes preferencias. Algunas personas preferirán un coche rápido pero caro a un coche menos costoso pero más lento, mientras que otros tendrán preferencias opuestas. Aunque no todas las preferencias estén justificadas o se cumplan, como tal no hay nada de malo en las diferencias en las

preferencias y una diversidad de productos con aproximadamente la misma función puede ser fundamental para cumplir esas preferencias tan diversas. Dadas las diferencias entre las personas en cuanto a sus necesidades y preferencias, la existencia de una diversidad de productos tecnológicos con aproximadamente la misma función puede ser una forma de aumentar la utilidad o el valor económico de los productos tecnológicos. La utilidad total o el valor económico para la sociedad es probablemente mayor si se proporciona una gama de productos en lugar de uno solo. Una segunda justificación posible es la existencia de diferencias culturales y diferentes tradiciones culturales y estéticas. Como hemos visto, los artefactos tecnológicos tienen sentido y pueden expresar ciertos ideales culturales o estéticos. Esto es claramente visible en la arquitectura, donde existen diversas tradiciones que coinciden con diferentes estándares de evaluación. En tales casos, la evaluación tiende a ser específica del género: identificamos una obra como una instancia de un género y la juzgamos por los estándares del género. Como expresó Joseph Raz:

Podemos admirar un edificio, y juzgar lo que es un excelente edificio para sus vuelos de fantasía, y por su inventiva. Podemos admirar a otro por su minimalismo de repuesto y su rigurosa adhesión a un lenguaje clásico simple. Juzgamos que ambos son excelentes. ¿Nos contradeciremos? No necesariamente, para cada uno, se muestra las virtudes de un género arquitectónico diferente, digamos, romántico y clásico. [Raz, 2003, p. 45]

Por supuesto, la relación entre una obra y su género no siempre es sencilla, ya que las obras también pueden relacionarse irónica o ambiguamente con un género o con más de un género al mismo tiempo. Sin embargo, también en estos casos, tendemos a juzgar el trabajo en términos de cómo se alía con los géneros existentes y con los estándares de excelencia inherentes a esos géneros [Raz, 2003, p. 41-42].

Típicamente, diferentes géneros —por ejemplo en arquitectura— no suelen diferir simplemente en términos de los valores relevantes generales, sino también en términos de la combinación preferida de valores "mix" o "ideal" [Raz, 2003, p. 39]. En tales casos, un enfoque de optimización que busca optimizar un valor general o cada uno de los valores de forma aislada puede destruir realmente esta mezcla 'ideal' y crear menos valor en lugar de más. Un enfoque satisfactorio podría no ser apropiado, ya sea porque lo que se valora no es un cierto grado de cada valor, sino una combinación específica de valores. Estos casos de holismo de valor, en los que no podemos apreciar razonablemente los valores de forma aislada entre sí, suelen requerir un juicio educado, que es específico del género. Por lo tanto, con respecto a los valores que son específicos del género, especialmente algunos valores culturales y estéticos, puede valer la pena tener una serie de artefactos tecnológicos con aproximadamente la misma función y que cada uno sobresale en su propio género.

Uno podría preguntarse si esa diversidad también vale la pena en el caso de los valores morales. La idea de una evaluación basada en el género parece mucho más difícil de defender con respecto a los valores morales que con respecto a los valores culturales o estéticos. Podría ser defendible con respecto a los valores morales perfeccionistas, es decir, aquellos que van más allá de lo que se requiere moralmente. El valor de una buena vida, concebida como un valor moral, también puede ser específico del género. Sin embargo, la evaluación específica del género parece difícil de defender con respecto a los estándares morales mínimos. Aun así, cabe argumentar que las normas morales mínimas no son universales, sino específicas de la situación (cf. ej. [Dancy, 1993]). Por ejemplo, el nivel moral mínimo para la sostenibilidad ambiental o el bienestar animal puede ser mayor en una sociedad de abundancia que en una sociedad de escasez, especialmente si cumplir con altos estándares en, por ejemplo, el bienestar animal implicaría un mayor deterioro de las condiciones de vida de los seres humanos. Esto sugiere que los umbrales para los valores morales —si uno

emplea un enfoque satisfactorio— no pueden establecerse de forma totalmente independiente entre sí. Esto implica cierto grado de holismo de valor; no podemos apreciar los valores en completo aislamiento el uno del otro. Sin embargo, no se extiende al tipo de evaluaciones específicas del género en las que Raz está pensando.

7 CONCLUSION

Comencé esta contribución con la observación de que es la creación de valor lo que se encuentra en el corazón del proceso de diseño de ingeniería. Ahora podemos concluir que el conflicto de valores es en realidad el núcleo del proceso de diseño. En muchos casos, el conflicto de valores es el motor que impulsa la innovación y el diseño, como se subraya en un enfoque como el enfoque de diseño sensible al valor. He discutido varios enfoques para valorar el conflicto en el diseño de ingeniería. Ninguno de ellos es obviamente superior a ninguno de los otros. Sin embargo, el debate sugiere que el enfoque que tal vez resulta ser más fructífero dependerá, en parte al menos, de los tipos de valores que están en juego. Los valores culturales y estéticos son a menudo específicos del género y a menudo consisten en combinaciones ideales. Optimizar o satisfacer los enfoques probablemente sean de poca ayuda en estos casos. Más bien, se podría adoptar el enfoque que he descrito bajo el epígrafe de diversidad. La mayoría de los valores morales, por otro lado, no son específicos del género. Aquí podríamos intentar inicialmente resolver, o al menos facilitar, un conflicto de valor moral empleando Diseño sensible al valor o razonando. Un posible conflicto de valores resultante podría tratarse mediante una satisfacción que, como hemos visto, puede equivaler a un enfoque justificado de los valores morales. La optimización podría ser un enfoque menos deseable, especialmente si estamos tratando con valores morales heterogéneos que resisten las compensaciones. Con los valores económicos y otros valores de utilidad, la optimización de los enfoques podría aplicarse fructíferamente, incluso si esos

enfoques todavía se enfrentan a una serie de problemas metodológicos. Como hemos visto, en ciertas condiciones los enfoques satisfactorios y la diversidad también podrían ser enfoques útiles para la utilidad y el valor económico.

EL CONCEPTO DE EFICIENCIA: UN ANALISIS HISTORICO

Jennifer K. Alexander

1 INTRODUCCION

El concepto de eficiencia expresa una forma específica de racionalidad, utilizada en los intentos de controlar una situación cambiante, poniéndola en conformidad con una visión de cómo funciona el mundo. La eficiencia se convirtió en un importante valor tecnológico durante los siglos XIX y XX, como parte de la construcción de la sociedad industrial moderna. Fue fundamental lograr los efectos materiales y medibles en una modernidad industrial que defendió la racionalidad, la previsión y la planificación en el control y la manipulación de los mundos social y material, y sigue siendo un importante valor post-industrial, particularmente en la continua preocupación por la gestión sabia de los residuos y los recursos.

Este artículo examina la eficiencia como un concepto en el uso de ingeniería contemporánea y como un instrumento histórico. El artículo comienza con una discusión sobre cómo se podría describir la eficiencia actualmente, en uso coloquial y según se define tanto en general como técnicamente. Especialmente importante para caracterizar la eficiencia es su identidad como forma de control. El artículo examina entonces los antecedentes históricos de la eficiencia, ya que pasó de un concepto filosófico que describe el funcionamiento del Dios cristiano en los períodos medieval y moderno temprano, a su vinculación con los poderes y habilidades humanas durante la industrialización. Su historia ofrece importantes ilustraciones de la amplitud de la eficiencia, y de matices y valencias no evidentes en un análisis de su uso actual. En particular, la historia de la eficiencia revela una profunda y larga asociación con el poder y la autoridad; cuán integral fue su uso de herramientas de vigilancia, contabilidad y control; y su apoyo a visiones para reformar o rehacer el mundo. La sección siguiente sugiere varios términos que son útiles actualmente para distinguir entre variedades de eficiencia, tanto en ingeniería como en uso común. Las distinciones giran en torno a las metáforas utilizadas, cómo se mide la eficiencia y si el contexto es de abundancia o escasez. Las dos últimas secciones encuestan la eficiencia como un valor de diseño en la ingeniería contemporánea, y discuten críticas importantes del concepto y su uso.

Dos observaciones sentaron las bases para lo que sigue. En primer lugar, la eficiencia es un valor central en ingeniería. Es, y ha sido, más destacado cuando las especificaciones del proyecto o del sistema se rigen por parámetros

claros e inequívocos que establecen límites que deben observarse. Lo más fundamental de ellos es la energía y su disponibilidad. Por lo tanto, la eficiencia es fundamental para los proyectos relacionados con la termodinámica, la transferencia de calor o la generación de energía, e históricamente ha sido más importante en la ingeniería mecánica que en las otras profesiones de ingeniería. La eficiencia también es fundamental para los proyectos cuyas especificaciones plantean límites distintos de la disponibilidad de energía, los límites, por ejemplo, en materiales, costos o tamaño físico. En estos casos, la eficiencia puede ser valorada no por su propio bien, sino porque es parte de las especificaciones que deben cumplirse [Newberry, 2005].

En segundo lugar, en su sentido técnico la eficiencia es una construcción intelectual diseñada para llevar máquinas, sistemas o procesos bajo control de materiales. La eficiencia no es un ejercicio de intelecto puro. Su objetivo no es el conocimiento, sino una comprensión intelectual que se puede hacer prácticamente eficaz. La eficiencia es una forma de llevar la voluntad humana al mundo. Es una medida con una forma aparentemente objetiva, pero lleva una historia como herramienta diseñada para hacer que el mundo natural se ajuste a la forma en que se entiende intelectualmente. Incluso como concepto tecnológico, la eficiencia conlleva implicaciones sociales y políticas inherentes.

2 EL ALCANCE DE LA EFICIENCIA

2.1 Definiciones: características fundamentales

La eficiencia puede utilizarse de dos maneras diferentes, como término general, generalmente de aprobación, indicando un trabajo bien hecho y económicamente hecho; y como una evaluación técnica específica, creciendo a partir de la experiencia de industrialización y ligado a las mediciones de rendimiento en las máquinas y la termodinámica de la energía. La eficiencia en el uso general puede cuantificarse; en las tradiciones de ingeniería se cuantifica, casi sin excepción.

La interacción de estos usos técnicos y comunes caracteriza las formas contemporáneas de eficiencia. Se puede hablar de eficiencia térmica, por ejemplo, o de eficiencia mecánica, conceptos diferentes pero precisos y con una forma idéntica de medición: una relación matemática de rendimiento alcanzado a los recursos utilizados. Por el contrario, se puede utilizar la eficiencia coloquialmente, refiriéndose no a una medición precisa, sino a la facilidad, velocidad y sentido común con la que se realiza una tarea. La gente habla de un

administrador eficiente, o del uso eficiente del tiempo. Esto puede ser una referencia informal a una relación de salida/entrada, pero también puede ser un remanente de su uso preindustrial, en el que no se midió la eficiencia, sino que fue una referencia cualitativa a la competencia y el poder. Sin embargo entendido, la eficiencia en este sentido común generalmente denota la aprobación: mejor eficiente a que no.

El Oxford English Dictionary (OED) ofrece un conjunto de definiciones útiles de eficiencia. Su primer significado, "El hecho de ser un agente operativo o una causa eficiente", es ahora sólo en uso filosófico, y de hecho tales usos son cada vez más antiguos, como se menciona a continuación en la discusión de los antecedentes históricos. Pero esta definición hace hincapié en el papel de la eficiencia como herramienta de un agente que busca tener efecto activo en el mundo. La segunda definición de la OED se acerca más a lo que la gente ahora quiere decir cuando usa el término: "La aptitud o el poder para lograr, o el éxito en lograr, el propósito previsto; potencia, eficacia y eficacia adecuadas." Esto establece la conexión de la eficiencia con la potencia material y el logro de los objetivos, pero todavía no es lo suficientemente preciso como para describir su uso de ingeniería. La siguiente definición de la OED es: "La relación entre el trabajo útil realizado con la energía total gastada o el calor recibido". Las definiciones de OED, generales y técnicas, refuerzan el punto importante de que el concepto de eficiencia no es simplemente una concepción intelectual, sino que pretende tener efecto material en el mundo.

Esto se hace especialmente claro en los usos de ingeniería. El Diccionario de Ingeniería Mecánica de Nayler da tres significados de eficiencia: "(a) El rendimiento de una máquina como porcentaje de su rendimiento teórico. (b) La relación entre la salida de energía y la entrada de energía de una máquina. . . . (c) La relación entre la ventaja mecánica y la relación de velocidad. . . ." [Nayler, 1985]. Estas definiciones provienen del núcleo mecánico de la eficiencia, de la disciplina de ingeniería con la que la eficiencia está más estrechamente aliada y en la que se definió con mayor rigor. La eficiencia tenía que ver con las máquinas, como la definición de Nayler deja claro. No es tan evidente que la eficiencia de la ingeniería se alía no sólo con las máquinas, sino con los motores; esta es la clave para la segunda de las definiciones de Nayler, la relación de energía.

Lo significativo acerca de un motor, a diferencia de una mera máquina, es que genera movimiento en sí, y no se limita a transmitir o transformar el

movimiento introducido desde el exterior. Una polea es una máquina, pero no puede mover las cosas por sí; requiere una fuente externa de movimiento. Alguien o algo, debe tirar del cable. Por el contrario, un motor de combustión interna genera el movimiento que luego transfiere a sus partes de trabajo. Un motor no es un sistema cerrado, porque se basa en el combustible suministrado desde el exterior, pero ese combustible, aunque se puede convertir en movimiento o trabajo, no es movimiento en sí.

Esta conversión, de combustible a movimiento o trabajo, está en el corazón de la eficiencia de la ingeniería. Tal conversión opera a través del medio de calor que interviene, y la asociación con la eficiencia de los enlaces de calor a la ciencia de la termodinámica, especialmente a las leyes de la energía codificada por físicos e ingenieros a mediados del siglo XIX. La primera ley de la termodinámica reconoció el calor como una forma de energía y especificó que la energía se conserva, y que, aunque la energía puede transformarse, no se crea ni se destruye. La primera ley tiene en cuenta la eficiencia, como se puede ver en el término "eficiencia de la primera ley" o "eficiencia de la planta", que denota la relación de energía útil con la energía disponible en el combustible utilizado por una planta de energía, por ejemplo.

Es la segunda ley de la termodinámica que se ha aliado más estrechamente con las concepciones de eficiencia. Según la segunda ley es inevitable que se pierda algo de energía, al quedar irrecuperable, en el proceso de convertir la energía de sus formas nativas, como en el carbón o la luz solar, en formas útiles como la electricidad, el trabajo mecánico o el calor. Esto surge porque hay una dirección preferida al proceso de conversión y transferencia de energía, como Rudolf Clausius dejó claro en una formulación clásica: "El calor nunca puede pasar de un cuerpo más frío a un cuerpo más cálido sin algún otro cambio, conectado con el mismo, que ocurra al mismo tiempo"[Clausius, 1867, p. 117]. William Thomson (Lord Kelvin), él mismo autor de una formulación clásica de la ley, lo dijo más claramente en un borrador de 1851 de un artículo sobre el calor: "El efecto mecánico escapa no sólo de los agentes controlados inmediatamente por el hombre, sino de todas las partes del mundo material, en forma de calor, y escapa irrecuperablemente. . . ." [Thomson, 1851/1989]. La conversión completa de energía de una forma a otra era imposible, ya que siempre habría pérdidas a través de procesos como la fricción o el calor radiante. La segunda ley hizo que la cuestión de la energía perdida o desperdiciada fuera importante para los ingenieros y físicos interesados en medir el rendimiento de las máquinas, porque les proporcionaba un límite

superior teórico: un motor o máquina podía, en el mejor de los casos, y sólo teóricamente, dar tanta energía como había acogido. La eficiencia se convirtió en una cuestión de contabilidad para la transformación de la energía a través de un motor o máquina.

Las definiciones no pueden capturar completamente la variedad de formas en que se utiliza la eficiencia, pero subrayan varias de sus características fundamentales. En primer lugar, la eficiencia es más que una concepción intelectual, ya que está conectada con el poder material y el efecto material en el mundo. En segundo lugar, está vinculado no sólo con máquinas sino con motores, es decir, no sólo con la transmisión de movimiento, sino con su generación. Por lo tanto, la eficiencia no sólo es gerencial, sino también creativa. En tercer lugar, importantes variedades de eficiencia están fundamentalmente vinculadas con la noción de escasez, a través de su dependencia de las leyes de conservación de la energía y el reconocimiento de que la energía se pierde irrecuperablemente cuando se convierte en una forma útil.

2.2 Eficiencia en el uso: control, efectos y racionalidad de los medios

En uso, la eficiencia evidencia el compromiso de poner las cosas bajo control gerencial. La cuestión del control se basa significativamente en cómo se caracteriza la eficiencia, ya sea como un valor intrínseco o instrumental. La eficiencia de la ingeniería contemporánea utiliza técnicas de observación y control para garantizar que la acción será efectiva, y principios contables detallados, el seguimiento del uso y la transformación de los materiales, para medir ese efecto y equilibrarlo con los costos, ya sea en energía, materiales o fondos. La eficiencia opera a través del control y la gestión de los recursos.

La eficiencia está vinculada con el control porque es un medio para "producir efectos predeterminados" a través de procesos sistemáticos y racionales [Levin, 2000, p. 16]. Esto es evidente en los usos generales de la eficiencia, en el que describe un trabajo bien hecho y económicamente hecho. Sin embargo, la eficiencia no proporciona necesariamente un control total; en cualquier caso, los parámetros importantes para la eficiencia son muchos y complejos. Un motor de combustión interna proporciona un ejemplo. Para medir su eficiencia, una variedad de factores diferentes, como el valor térmico del combustible y el par en el árbol de transmisión, deben convertirse en unidades equivalentes, generalmente de energía, y sus inter-conversiones deben ser rastreadas a través del sistema. Los intentos de aumentar la eficiencia del motor requieren observarlo lo suficientemente de cerca como para encontrar vías de

mayor control. La eficiencia funciona como una técnica de control, tanto proporcionando un modelo de cómo debe funcionar una máquina o un proceso, como una técnica para medir qué tan cerca coincide ese funcionamiento con el modelo. Por lo tanto, el modelo funciona como un punto de referencia o un criterio.

Su dependencia de las técnicas de control ayuda a distinguir la eficiencia del concepto de eficacia estrechamente aliado. La eficiencia, a través del control, describe acciones que son más que simplemente efectivas; describe la eficacia lograda a través de la prorrateo preciso de los recursos a la tarea, de modo que se utilizan suficientes recursos, pero no más. El poder de la eficiencia no radica en producir un gran efecto, sino en producir un efecto deseado utilizando con precisión la cantidad deseada de recursos. La eficacia, en cambio, a menudo puede lograrse mediante el desperdicio de recursos en un problema, utilizando más recursos de los que un resultado deseado podría requerir, de hecho si el problema pudiera especificarse con precisión [Mitcham, 1994, pp. 226-227]. La eficiencia es más elegante que la eficacia; es estrecha y dirigida. El reparto preciso de los medios a los fines no es parte integrante de la eficacia, ya que es para la eficiencia, por lo que es más fácil ver la eficacia como un valor instrumental. La caracterización de la eficiencia se complica por su necesario entrelazamiento de medios y fines.

Por lo tanto, la eficiencia es más que una forma de racionalidad de los medios, y más que un mero valor instrumental. Su estrecha asociación con el control, y particularmente su función como una forma de medir el control, indica que la eficiencia es un valor asociado a los procesos en lugar de a los objetivos. Si bien la eficiencia implica el reparto de medios para fines, no se deduce que los medios puedan considerarse meros instrumentos para alcanzar tales fines. Con eficiencia, el final a alcanzar es el dominio del propio proceso, o, más precisamente, la relación entre medios y fines. "En efecto, surgirán en diferentes contextos sociales y culturales el horizonte de los cálculos de eficiencia" y harán hincapié en los diferentes objetivos y utilizarán diferentes medios [Feenberg, 1999, p. 97]. No obstante, estos cálculos, en la medida en que sigan preocupando por la eficiencia, seguirán midiendo también el dominio o el control.

3 ANTECEDENTES HISTORICOS: MATICES DURADEROS

La eficiencia tiene una amplia variedad de significados en el uso contemporáneo, pero su historia sugiere una resonancia profunda y compartida debajo de ellos. Consistente a lo largo de la historia de la eficiencia ha sido su

ecuación con la acción directa y efectiva, desde el sistema aristotélico de causas a través de concepciones medievales de la naturaleza del Dios cristiano. Unir la variedad de significados contemporáneos de la eficiencia no es sólo la búsqueda del control, sino también preocupaciones generales para la productividad y la economía, y una aceptación de los valores de la Ilustración para calcular la racionalidad. La eficiencia a menudo va acompañada de un imperativo aparentemente moral, ocasionalmente explícito pero más a menudo entendido: que la eficiencia es algo bueno, en su cara, en la forma en que el buen uso se opone al despilfarro, y que la planificación y la previsión se oponen al accidente y a la casualidad. La resonancia de la eficiencia es tanto intelectual como material, en su asociación con la capacidad de tomar medidas precisamente efectivas en el mundo. Aunque estas conexiones pueden extrapolarse de las definiciones ofrecidas anteriormente, en la Sección 2, sólo un estudio de los acontecimientos históricos puede revelar la profundidad de esas resonancias y sus valencias morales que lo acompañan.

Dos coyunturas históricas fueron particularmente importantes: la transición de la sociedad preindustrial a la industrial, y las crisis percibidas de la sociedad industrial occidental a principios del siglo XX. En la transición a la sociedad industrial, una concepción medieval y moderna temprana de la eficiencia como atributo del creador cayó lejos y la eficiencia llegó a ser descrita como un valor en lugar de un atributo y como algo alcanzable por los propios seres humanos. En las crisis de la civilización industrial a principios del siglo XX, la eficiencia se hizo ampliamente popular y ofreció a los responsables políticos la posibilidad de rehacer sociedades destruidas por la guerra.

Aunque aparecen ejemplos históricos a través de este artículo, como ilustraciones que respaldan argumentos sobre el carácter contemporáneo de la eficiencia, es importante tener en cuenta que en esta sección no sólo los ejemplos, sino el argumento en sí es histórico. El punto es que la eficiencia tiene un carácter propio, desarrollado a lo largo de un largo período y en conjunto con el desarrollo de la cultura industrial. Su carácter histórico significa que la eficiencia no es simplemente un instrumento neutro sin cualidades inherentes propias, es decir, no es una cáscara vacía a la espera de asumir los valores y objetivos de quien lo invoca. Su historia revela no sólo que la eficiencia tiene carácter, sino que tiene profundidad.

3.1 Concepciones preindustriales

Las concepciones preindustriales de eficiencia diferían de manera importante de las definiciones del término ofrecido anteriormente. El examen de estas primeras concepciones deja clara tanto una profunda continuidad en la asociación de la eficiencia con el poder y la bondad, como discontinuidades en el uso del concepto, que no estaba cuantificado ni asociado con los poderes de los humanos.

Dos fuentes pre-modernas de eficiencia son plausibles: ejemplos dispersos de comparaciones de la producción y la entrada en máquinas que los eruditos han repasado hasta la antigüedad; y una tradición que crece a partir de la tradición filosófica y la teológica, asociando la eficiencia con la acción, con el poder y la bondad de Dios. La primera fuente plausible, de comparaciones de salida/entrada, ayuda a tener en cuenta la forma matemática contemporánea de la eficiencia, pero también ilustra discontinuidades importantes, ya que tales comparaciones fueron incidentales y no generales, y no cuantificadas. La segunda, la tradición filosófica y teológica, ayuda a explicar el carácter moral y cargado de valor posterior de la eficiencia, aunque llegó a asociarse con la acción humana más que con la divina.

3.1.1 Comparaciones de salida/entrada

Aunque la eficiencia contemporánea puede describirse con precisión como una relación de salida/entrada, el interés en tales relaciones puede rastrearse bastante lejos. Arquímedes afirmó, como dice la leyenda, que "dada una palanca lo suficientemente larga, podría levantar el mundo", comparando implícitamente el cumplimiento de una tarea con los recursos que necesitaría para lograrla. El análisis de Pseudo-Aristóteles de máquinas simples, incluida la palanca, sugiere una comparación similar [Mitcham, 1994]. Los historiadores también han visto un interés en la eficiencia en el siglo XVII, en la teoría de las máquinas de Galileo, y en el interés de la Sociedad Real Británica temprana en mejorar la minería, el transporte y las tecnologías militares. Aunque las primeras investigaciones de las relaciones entre productos y aportaciones, proporcionan antecedentes para las variedades técnicas y comparativas de eficiencia, no tienen en cuenta su énfasis posterior en la cuantificación, ni su carácter posterior cargado de valor. Ni Galileo ni la Royal Society utilizaron el término "eficiencia", ni cuantificaron sus comparaciones [Cardwell, 1995, págs. 83-91; Merton 1938, pp. xx-xxi, 521]. Las antiguas comparaciones entre salida/entrada también permanecieron sin cuantificar, habiéndose expresado en proporciones geométricas. Tales comparaciones sugieren un antecedente para la forma

matemática contemporánea de la eficiencia, al mismo tiempo que subrayan la falta de un concepto general para expresar tales relaciones.

3.1.2 Sabiduría y acciones de poder

Los antecedentes de las cualidades morales y de eficiencia cargados de valor aparecen en concepciones pre-modernas de la simplicidad, la economía y el poder de la deidad, para quienes el término eficiencia se reservó en gran medida. Las concepciones pre-modernas de la bondad, el poder y la simplicidad de Dios informaron la idea en desarrollo de la eficiencia a través de las doctrinas de la economía divina. En el siglo XIV Gabriel Biel describió la omnipotencia de Dios en términos de eficiencia [Lindberg, 1992, págs. 241-244, 390; Funkenstein, 1986, págs. 117-201]. Las primeras ideas de la economía asociada con Guillermo de Ockham y la navaja de Ockham, o el principio de la economía, también fueron influyentes; según la maquinilla de afeitar de Ockham, la explicación simple o económica de un evento o fenómeno siempre fue preferible [Grant, 1977; Adams, 1987; Copleston, 1950-; Gilson, 1961]. El término economía se había utilizado para describir la gestión de los hogares desde al menos 1530, pero también se refería a la gestión del cosmos por parte de Dios, y a través del siglo XVIII la economía denotaba la "gran organización y gobierno de la vida en la tierra" con Dios como "Economista Supremo" que había diseñado la casa y la mantenía funcionando [Worster, 1994, p. 37; Screpanti y Zamagni, 1993, págs. 20-23]. La eficiencia de este tipo no era ni una medida ni una comparación. Denotó la adecuación o suficiencia para lograr algo, en lugar de una coincidencia precisa entre habilidades o recursos y tareas.

El término eficiencia en sí mismo sugiere un antecedente particular en el concepto medieval de la causa eficiente, basado en el antiguo sistema aristotélico de cuatro causas, en el que lo eficiente fue el principio activo e inmediato que produjo el cambio. Tomás de Aquino fue prominente entre los eruditos medievales que adoptaron el sistema de Aristóteles como parte de un programa del siglo XIII que reconciliaba la obra del filósofo pagano con los principios del catolicismo; la tradición intelectual del escolasticismo se fundó sobre esta síntesis aristotélica-católica. Un resultado de esta síntesis fue la descripción de Dios como la causa eficiente o principal impulsor [Kaiser, 1997], una práctica que perduró hasta el siglo XVII y puede ser vista en el análisis de Spencer de Dios como "la causa eficiente del hombre", porque había dado forma humana a la materia base [Spencer, 1628, p. 31]. El concepto filosófico de causa

eficiente acentúa tres características de lo que la eficiencia vino a significar: era activa, sus acciones eran inmediatas y eran efectivas.

Los conceptos preindustriales de eficiencia incluían el interés en las relaciones de producción/entrada en la mecánica (aunque no se utilizó el término), teorías de la economía divina y la simplicidad, y la idea aristotélica de la causa eficiente. Estas fuentes ayudan a explicar el carácter moral que asumió la eficiencia asumida, a medida que la gente llegaba a ver en él un bien social y económico positivo. También ayudan a explicar la asociación de la eficiencia con la autoridad y el poder, y especialmente con el poder de gestión. El concepto moderno de eficiencia fue el resultado de la intersección de las medidas de producción/entrada con teorías de simplicidad divina, economía y poder, y con una teoría del albedrío causal inmediato. Lo que resultaría discontinuo con concepciones posteriores era la falta de un sentido general cuantificado de las relaciones de salida/entrada, y la asociación de la eficiencia con el poder creativo de Dios.

3.2 Concepciones durante y después de la industrialización

Los significados y usos de la eficiencia cambiaron en gran medida durante la industrialización. Aunque los usos no cuantificados del término perduraron, las medidas cuantificadas de rendimiento se volvieron cada vez más importantes, especialmente para las personas que se ocupan de las máquinas. Tan importantes como la cuantificación, fueron los desarrollos del reconocimiento de los límites naturales o límites que rodeaban y contenían los esfuerzos humanos, el más llamativo de ellos era la ley de conservación de la energía, y la variedad de dispositivos mecánicos y técnicas observacionales que hacían posible reconocer, analizar y registrar efectos mecánicos cada vez más pequeños.

La eliminación en la transición entre la eficiencia preindustrial e industrial, fue la idea de la eficiencia como mera eficacia, o como mera adecuación o suficiencia. Esto fue sustituido cada vez más por una idea similar pero más exigente, en la que la eficiencia se refería a poderes adecuados o suficientes y nada más. Cualquier cosa adicional genera residuo. Esta idea giró la cercanía de la coincidencia entre los recursos gastados y el efecto alcanzado, y aunque es especialmente evidente en el desarrollo de las matemáticas de la eficiencia, también se refleja en el sentido más general en el que la eficiencia llegó a oponerse al despilfarro. Este uso más exigente de la eficiencia correspondía al interés de conocer los límites naturales que cada vez más se

consideraban aguante, según lo que uno podría esperar sacar de una máquina. También ayudó a distinguir la eficiencia del concepto relacionado de eficacia.

En esta transición, la eficiencia se convirtió en un atributo humano más que divino, en consonancia con una creencia en desarrollo en las posibilidades de la acción humana racional, sistemática y eficaz. Dos actitudes derivadas del Renacimiento y de la Ilustración fueron cruciales: una visión humanista de las personas y sus logros como valiosos en sí mismos; y una dependencia de la medición y cuantificación en la comprensión y manipulación del mundo.

Tres características del desarrollo industrial de la eficiencia tienen un significado particular en las discusiones sobre sus usos y significados contemporáneos: las raíces de la eficiencia industrial en las técnicas prácticas de control de movimiento en las máquinas, que subrayan su alianza con el control en general; diferencias entre los parámetros limitantes que la eficiencia no podía superar (en termodinámica) y los que podía (en economía, por ejemplo), que informan una distinción fundamental entre eficiencia cuando se liga con el equilibrio y cuando se liga con el crecimiento; y visiones de la eficiencia como una forma de rehacer la sociedad en respuesta a la crisis social, que ilustran la conexión histórica entre la eficiencia y las visiones de cómo el mundo debe o no funcionar.

3.2.1 Control de movimiento en máquinas

La eficiencia industrial tiene sus raíces en las prácticas técnicas de control de movimiento en máquinas. Está estrechamente ligada a las mediciones físicas y mecánicas, desarrolladas desde mediados del siglo XVIII hasta mediados del siglo XIX para ayudar a cuantificar el rendimiento de las máquinas, y derivadas de una tradición de análisis de máquinas y sus efectos en términos de movimiento. Esta tradición dio lugar a una variedad de dispositivos tanto para contener y dirigir el movimiento en las máquinas y para evaluar y medir ese movimiento, aunque el término "eficiencia" no fue de uso común hasta bien entrado el siglo XIX. Los mecánicos e ingenieros utilizaron en su lugar una variedad de términos, como "efecto mecánico" y "potencia mecánica".

Las tradiciones mecánicas han vinculado durante mucho tiempo la eficiencia a cómo se mueven las cosas. La eficiencia en el rendimiento de la máquina llegó a enfatizar una disciplina mecánica que utilizaba estructuras físicas para eliminar movimientos extraños y despilfarrantes, y para controlar y dirigir el movimiento productivo a lo largo de caminos predeterminados. El

ingeniero británico John Smeaton, en una serie de célebres experimentos sobre la eficiencia de las ruedas de agua en la década de 1750, diseñó su modelo para minimizar las salpicaduras y las turbulencias, y para eliminar las perturbaciones que podrían impedir que el agua se mueva sin problemas y directamente a través del sistema [Smeaton, 1759; Skempton, 1981, págs. 35-57; Alexander, 2008a]. Gerard Joseph Christian, teórico de la máquina francesa y director del Conservatorio de artes y medidas durante la Restauración, describió la máquina más perfecta en términos de eficiencia, como la que produjo "el mayor efecto mecánico, mientras que utiliza la menor cantidad de combustible", sólo posible si todas las piezas de trabajo excepto una máquina fueron inmovilizadas [Christian, 1825, II p. 374, III pp. 18, 37; Alexander, 1999]. A mediados del siglo XIX, W. J. M. Rankine, en la Universidad de Glasgow, encontró en la eficiencia, una manera de vincular las formulaciones matemáticas precisas del concepto de energía con las mediciones del rendimiento de la máquina: las mejores o más eficientes máquinas perdieron la menor energía en movimiento inútil y extraño [Marsden, 1992; Wise y Smith, 1989-1990]. El influyente teórico de la máquina Franz Reuleaux definió una máquina en términos de control de movimiento: una máquina bien diseñada y eficaz sólo permitía movimientos predecibles y controlados [Reuleaux, 1876].

El control de movimiento ofrece una ilustración particularmente potente de los tipos de control afiliados a la eficiencia. Requiere que se eliminen las perturbaciones, que la máquina o el sistema se mantengan bajo vigilancia detallada y que solo se permitan los movimientos predichos. La máquina más eficiente es la más controlada.

3.2.2 Termodinámica, equilibrio y crecimiento

Dos desarrollos de mediados del siglo XIX fueron importantes para el concepto maduro de eficiencia: el funcionamiento de las leyes de la termodinámica, incluida la conservación de la energía y la tendencia a la entropía; y un cambio en las ciencias, de las ideas de equilibrio, a las ideas de crecimiento. Al establecer relaciones entre el movimiento, el calor y la energía, y al postular que aunque estas cantidades podrían transformarse no podían ser creadas, las leyes de conservación proporcionaban un límite superior teórico a la eficiencia de una máquina. El ingeniero Glasgow y el físico W.J.M. Rankine se basaron en las leyes de conservación para dar a la eficiencia su definición mecánica, que expresaba la eficacia de una máquina en términos de su uso de la energía, en la relación de efecto producida con la energía utilizada.

También fueron importantes nuevos conceptos de dinamismo y cambio que caracterizaron el trabajo en las ciencias físicas durante el período en el que Rankine dio a la eficiencia su definición mecánica. La comprensión dinámica de los fenómenos naturales reemplazó cada vez más las caracterizaciones de la naturaleza o los sistemas naturales como en equilibrio, en los que se habían visto cambios como compensadores entre sí y dando como resultado un estado equilibrado. El cambio de las ideas de equilibrio a las ideas de crecimiento o cambio dinámico se expresó más claramente en la teoría de Darwin de descendencia a través de la selección natural [Wise and Smith, 1989-1990]. La eficiencia también comenzó a aplicarse en la economía, donde se alió con la gestión racional en la búsqueda del crecimiento [Alexander, 2008a].

Así, a principios del siglo XX, la eficiencia había madurado en la mecánica aplicada y se había convertido en parte de un cambio intelectual más amplio en la forma en que se conceptualizaban los sistemas naturales. Se había nombrado eficiencia, y se le había dado una definición matemática formal en la forma clásica de la relación salida/entrada, como la relación de trabajo realizado por una máquina o sistema con la energía utilizada en la producción de ese trabajo. En este sentido formal, la eficiencia se alió con la noción de equilibrio. El término también llegó a ser utilizado de maneras correspondientes con el crecimiento, más comúnmente en la economía. Estos acontecimientos subyacen a las metáforas del equilibrio (estáticas) y del motor (dinámica) que informan los significados contemporáneos de la eficiencia, como se explica a continuación en la Sección 5.1.

3.2.3 Respuesta a la crisis industrial

La eficiencia fue una preocupación central en los esfuerzos de reforma que caracterizaron la historia estadounidense y europea desde el cambio del siglo XX hasta la Gran Depresión, reformas estimuladas por las preocupaciones sobre los efectos de la industrialización y la urbanización en un orden internacional cambiante, y expresadas en movimientos de eficiencia vinculados a la salud nacional, la reforma gubernamental, la destreza militar y la protección del imperio, la nación o la raza. La eficiencia se volvió omnipresente en los Estados Unidos durante la era progresista, una época de turbulencias intelectuales, sociales y políticas. La eficiencia no sólo describió cuestiones técnicas, como la economía térmica de un motor, sino también las personales: hábitos de gasto cuidadosos, higiene corporal fastidiosa y buena educación infantil. Características técnicas como la cuantificación y el cálculo se mezclan

con las preocupaciones sociales, gubernamentales y personales para producir una palabra que resuena en la experiencia técnica, la integridad personal y el buen gobierno. La eficiencia expresaba cualidades sobrias de trabajo duro y paciente, y enormes esperanzas para rehacer la sociedad y el mundo. El sistema de gestión científica de Frederick Winslow Taylor es el marcador de eficiencia estadounidense más reconocible de esta época. (Aunque Taylor era ingeniero mecánico, y una vez presidente de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), su sistema de gestión científica estaba fuera de la tradición mecánica; muchos no consideraban que su trabajo de gestión fuera ingeniería y la Sociedad se negó a publicar sus documentos de gestión seminales [Kanigel, 1997]. La disciplina de la ingeniería industrial remonta sus raíces a Taylor, y es desde el sistema de Taylor que la confusión ha surgido sobre la naturaleza de la eficiencia en la ingeniería. Los becarios rara vez han notado las diferencias entre el sistema de gestión de Taylor y las técnicas utilizadas con los motores y máquinas en el núcleo mecánico de la eficiencia. Conectando los dos fueron los primeros experimentos de Taylor con el corte de metales, que estableció su reputación internacional y que se dedicó al control del ángulo preciso y las condiciones de la hoja de corte: este trabajo se colocó firmemente dentro de las tradiciones de ingeniería. El sistema de gestión de Taylor se ocupaba tanto del control de la mano de obra como del aumento de la productividad; esta preocupación lo vinculó con las tradiciones de gestión en lugar de la ingeniería.)

La eficiencia como respuesta a la crisis, se ilustra mejor por los movimientos de eficiencia y racionalización que caracterizaron a la sociedad y la política europeas a principios del siglo XX. En Gran Bretaña, a principios de siglo, el bochorno por el tiempo que había tardado el Imperio en someter a los rebeldes en la Guerra de los Bóeres llevó a preocupaciones sobre la eficiencia nacional y a los llamamientos a la reforma de la eficiencia [Searle, 1990]. Los estragos de la Primera Guerra Mundial y el amenazado colapso económico llevaron a un entusiasmo generalizado por la eficiencia en Italia, Francia y especialmente Alemania; "racionalización" fue el término clave que describe el prominente movimiento internacional de los años de entreguerras que buscaba en la eficiencia una solución a los problemas de escasez económica y turbulencia social [Brady, 1933; Maier, 1970; Weiss, 1987; Nolan, 1994].

Estos movimientos buscaron en la eficiencia una manera de lograr visiones de cómo se debe organizar la sociedad y cómo debe funcionar. Fueron respuestas a crisis sociales, en algunos casos extremas, e ilustran una característica significativa de cómo la eficiencia se ha utilizado a menudo en el

mundo contemporáneo: en los intentos de controlar situaciones cambiantes o amenazantes poniéndolas en conformidad con visiones de cómo el mundo debería comportarse [Alexander, 2008a].

4 UN VOCABULARIO DE EFICIENCIA: IMPORTANTES DISTINCIONES CONTEMPORANEAS

La eficiencia adquiere una variedad de formas en el uso moderno y contemporáneo. Esta sección desarrolla tres distinciones que son útiles para analizar cómo funciona el concepto en un caso dado, y que sugieren maneras de limitar y centrar los debates sobre un tema enormemente amplio. Discriminar entre estas variedades de eficiencia revela sombreados sutiles pero significativos en la connotación y el uso: distinciones sociales en la forma en que se aplica la eficiencia; diferentes énfasis en el organismo humano dependiendo de cómo se mide la eficiencia; y la naturaleza paradójica del concepto en sí, que aborda la escasez, pero se aplica más eficazmente en contextos de abundancia. Las secciones siguientes utilizan ejemplos históricos, pero en un argumento sobre el uso contemporáneo de la eficiencia.

4.1 Metáforas radiculares: formas estáticas y dinámicas de eficiencia

La eficiencia aparece de dos maneras que son conceptualmente distintas, donde la diferencia no radica en cómo se miden, sino en la raíz metafórica que emplean. Las dos raíces metafóricas son el equilibrio, que ilustra la eficiencia estática, y el motor, que ilustra la eficiencia dinámica. La eficiencia estática hace hincapié en la conservación y el rendimiento predecible, y la eficiencia dinámica enfatiza la gestión eficaz recompensada por el crecimiento [Alexander, 2008b]. Aunque la eficiencia en su sentido formal enfatiza el equilibrio (a través de la conservación del trabajo, el efecto mecánico o el poder), las personas también utilizan el término en formas en las que se corresponde con el crecimiento, o más específicamente con visiones de cambio y progreso. En este sentido, la eficiencia connota una gestión racional en busca del mayor efecto. Lo que son eficientes son insumos efectivos y disponibles, ya sean recursos, o sistemas o instituciones existentes, no limitan la posible producción en el sentido matemático estrecho, sino que desafían la habilidad de gestión de quien esté a cargo. Al perseguir una eficiencia dinámica del crecimiento, un gerente no está obligado por una ecuación de conservación o equilibrio, sino que está libre, en la búsqueda de beneficios, para ampliar lo que él o ella considera las materias primas, o insumos, en su control.

La distinción entre las formas estáticas y dinámicas de la eficiencia no radica en cómo se mide la eficiencia ni radica en si algo permanece en reposo o se mueve. La distinción reside, en cambio, en las connotaciones que acompañan al uso de la eficiencia. Cuando las medidas de eficiencia se enfatizan como herramientas para generar estabilidad, previsibilidad y manejabilidad, la raíz metafórica es del equilibrio. La connotación es una de las cosas de la noche, moviéndose sin problemas y sin turbulencias. Cuando las medidas de eficiencia se enfatizan como herramientas de transformación, la raíz metafórica es de un motor, que crea fuerza motriz a partir de los propios materiales en reposo. La connotación es de cambio y progreso, el progreso aquí significa procesión hacia una meta, que puede o no ser en sí misma un bien positivo. A través de la industrialización, el poder de vapor estaba transformando a la sociedad, llevando a la gente del campo a las fábricas de las ciudades y estimulando un barrido más profundo de la tierra en busca de carbón para su combustible. Pero la máquina de vapor, porque no sólo produjo fuerza motriz, sino que también generó pérdidas irrecuperables de energía a través del calor residual, también llevó al mundo más lejos en el camino de la disipación de energía descrito en la segunda ley de la termodinámica. Las opiniones están, y estaban, divididas sobre los beneficios de la industrialización y los nuevos motores, pero hay consenso sobre sus efectos transformadores [Smith, 1998; Landes, 1969].

Aunque las connotaciones estáticas y dinámicas de la eficiencia existen una al lado de la otra, una importante distinción social ha llegado a gobernar cómo aparecen. En su sentido estático y equilibrado, la eficiencia describe máquinas, procesos y personas que están sujetas a la gestión; en su sentido dinámico, describe la eficiencia de quienes hacen la gestión. Aquellos eficientes en el sentido estático o conservador proporcionan los elementos estables y equilibrados manipulados por aquellos en posiciones de privilegio relativo, en busca de las mayores recompensas de la eficiencia dinámica.

Un ejemplo detallado ayudará a aclarar no sólo la distinción en sí, sino también las cuestiones importantes que pueden estar en juego. Esto se ilustra en el doloroso desarrollo del pensamiento de Robert William Fogel sobre la eficiencia y la esclavitud en antebellum America. Fogel, Premio Nobel (1993), economista y cliométrico, dedicó su carrera temprana a demostrar que la agricultura de plantaciones en el sur de Estados Unidos había sido eficiente debido a la buena ética de trabajo de los esclavos, y porque los esclavos eran bien tratados por sus amos. Ofreció el análisis en un intento de recuperar un pasado respetable para los descendientes de los esclavos, y encontrar algo en lo

que pudieran enorgullecerse. Su trabajo, publicado en 1974 con el coautor Stanley Engerman, fue recibido con críticas generalizadas y acríicas, y ocasionó una de las disputas académicas más públicas en la América de la posguerra. Las críticas devastadoras llevaron a Fogel a reevaluar su posición sobre la esclavitud y la eficiencia, y a enfrentar su propia suposición anterior de que la eficiencia era en sí misma un bien positivo. Quince años más tarde Fogel admitió que su suposición había sido falsa, y que las eficiencias que había encontrado en la agricultura de plantaciones no eran el resultado de una buena ética de trabajo o iniciativa personal por parte de los esclavos, sino de la explotación a través del trabajo de pandillas, brutalmente aplicada. Las eficiencias que había medido se habían acumulado a los propietarios y amos de los esclavos; eran eficiencias dinámicas, medidas en beneficios y crecimiento. Pero los beneficios y el crecimiento se basaron en eficiencias estáticas, que requerían mantener a los esclavos en orden y en la tarea, y, en particular, en impedirles crear cualquier perturbación o turbulencia, o cambio, en el sistema de plantación [Fogel y Engerman, 1974; Fogel, 1989, 2002; Alexander, 2008a].

4.2 Medidas: formas limitadas y arbitrarias de eficiencia

Otra distinción importante en la forma en que se utiliza la eficiencia, se refiere a los términos por los que se cuantifica. Las eficiencias que se cuantifican toman una de dos formas: una forma limitada o una forma arbitraria. La distinción fue señalada por primera vez durante la era progresiva estadounidense por Walter Polakov, ingeniero y contemporáneo del conocido teórico de la eficiencia Frederick Winslow Taylor. Polakov utilizó el término "arbitrario" para enfatizar el elemento de la elección humana en la construcción de relaciones de eficiencia que no se miden en términos de energía. Las formas limitadas de eficiencia dependen de cantidades limitadas por la ley natural, como la energía; la eficiencia está limitada por las leyes de conservación de la energía en la medida en que plantean un límite superior más allá del cual no puede alcanzar. Las formas arbitrarias de eficiencia toman la forma de relaciones entre cantidades independientes, en las que se elige un valor particular de la relación como el estándar de eficiencia del cien por cien, y contra las cuales se miden otros valores de la relación. El uso de mediciones de eficiencia basadas en las leyes de la energía también puede describirse como una cuestión de elección humana, específicamente la opción de utilizar leyes científicas altamente autorizadas en lugar de crear arbitrariamente una medida práctica adecuada a las cantidades disponibles. Las medidas arbitrarias permiten un uso muy amplio de la eficiencia, lo que permite aplicar el término,

precisa y cuantitativamente, a casi cualquier cosa. Los ejemplos históricos proporcionan las ilustraciones más claras de esta amplitud; El propio Polakov utilizó como ejemplo la relación entre el costo por BTU y el carbón. Las mediciones de eficiencia basadas en la relación entre el número de widgets producidos por hora y la tasa de ventilación en una fábrica también tomarían la forma arbitraria. Uno establece arbitrariamente un estándar de 100 por ciento de eficiencia (un cierto costo por BTU de carbón, o tantos widgets por hora a una cierta tasa de ventilación), y mide otros ejemplos de la misma relación en su contra. Estableciendo un estándar arbitrario de 100 por ciento de eficiencia para el rendimiento de las papas en 100 Fanegas por acre, Polakov calculó que el campeón de eficiencia de rendimiento de la patata en 1907 era el "estado del desierto de Wyoming", con un rendimiento promedio de 200 Fanegas por acre, para una eficiencia del 200 por ciento [Polakov, 1909].

Las mediciones arbitrarias de la eficiencia siguen utilizándose ampliamente. La distinción entre las formas limitadas y arbitrarias de la eficiencia se utiliza a veces para ilustrar la diferencia entre ingenieros y economistas. Los ingenieros, gobernados por límites naturales como la segunda ley de la termodinámica, no pueden alcanzar un retorno del cien por cien de la energía invertida en una máquina. Los economistas, en cambio, pueden superar el límite del cien por ciento estableciendo arbitrariamente estándares de eficiencia de acuerdo con términos distintos de la energía, que les permiten obtener beneficios (es decir, rendimientos superiores al cien por cien).

4.3 Contextos de raíz: eficiencia bajo escasez o abundancia

La eficiencia puede ser elaborada con elegancia y cuidado con el tiempo, o puede ser adoptada en la desesperación como una respuesta a la escasez. La distinción no reside en el tipo de medidas de eficiencia adoptadas ni en por qué se eligen. Depende en cambio del contexto en el que se persigue la eficiencia. Los usos de ingeniería de la eficiencia generalmente dependen de los recursos que permiten el tiempo para el análisis de un problema, la formulación de diversos enfoques, y la implementación cuidadosa y administrada de cualquier opción elegida. El contexto es de abundancia. El conocido sistema de gestión científica de Frederick Winslow Taylor dependía de una abundancia de recursos que permitían a la administración y a los consultores analizar el flujo de trabajo y considerar diversos enfoques de eficiencia. Incluso si el objetivo de las medidas de eficiencia es maximizar el uso de recursos escasos, un contexto que permita

una cuidadosa consideración y una variedad de opciones sigue siendo un contexto de abundancia.

Las medidas de eficiencia también se adoptan en la desesperación como respuesta a la escasez de recursos. El contexto de la escasez se refiere no sólo a la escasez de recursos en general, sino también a los recursos de eficiencia, cuando el tiempo, la experiencia y los materiales necesarios para analizar un problema a fondo y elegir un plan de acción adecuado no están disponibles. Esto es eficiencia en el sentido en que la mayoría de la gente lo utiliza, en las decisiones diarias que toman sobre cómo prorratear sus recursos limitados, las personas pueden hacer algunos cálculos, pero generalmente no montan un análisis de eficiencia a gran escala. Pero la eficiencia en un contexto de escasez está especialmente marcada por la desesperación, por el intento, en una verdadera crisis de recursos, de hacer que algunas variables bajo el control de uno se defiendan para otros asuntos que no se pueden evitar. Un ejemplo puede encontrarse en los intentos del Instituto Kaiser Wilhelm de Fisiología Laboral, de estimular la productividad de los mineros de carbón en Alemania durante los últimos años de la Segunda Guerra Mundial. Los investigadores del Instituto no pudieron mejorar el trato inhumano de los mineros, muchos de los cuales eran prisioneros de guerra soviéticos y sometidos a condiciones descritas por la Cruz Roja como terribles. Mejorar la eficiencia de los mineros se resumió para mejorar sus dietas; los compromisos raciales del Reich no le permitieron aliviar otros factores reconocidos como cruciales para la eficiencia, como las condiciones de trabajo y de vida. Las medidas dietéticas se adoptaron en la desesperación, cuando una escasez de opciones políticas y materiales permitía poca otra intervención [Alexander, 2006b].

5 EFICIENCIA COMO VALOR DE DISEÑO EN INGENIERIA

El concepto de eficiencia juega un papel importante en el diseño de ingeniería de varias maneras. Es importante en el diseño de sistemas y artefactos de ingeniería, pero tal vez aún más fundamental ha sido la importancia de los propios artefactos de ingeniería, y su diseño, en la formulación de la teoría de la eficiencia. El aparato teórico de la eficiencia se construyó sobre observaciones estrechas de las máquinas en el trabajo. En la práctica, el análisis de eficiencia también sigue estrechamente ligado a la configuración particular de un artefacto o sistema, y especialmente a la disposición de sus piezas mecánicas. Los principios generales de eficiencia pueden derivarse de la práctica que ciertos tipos de motores son más eficientes

mecánicamente, por ejemplo, pero incluso los motores del mismo diseño evidenciarán diferencias en la eficiencia cuando se ponen a prueba. También es importante el prestigio que su asociación con la física aporta a la eficiencia, y su estatus científico puede ser ofrecido como prueba de experiencia tecnocrática por parte de los miembros de un equipo de diseño. La eficiencia no es tan aparente un indicador de diseño de ingeniería óptimo, principalmente debido a su maleabilidad; lo que se va a optimizar primero debe decidirse, y luego seguirá habiendo una variedad de opciones para el logro eficiente de la meta. Dicho esto, la eficiencia sirve como criterio de diseño cuando se incluye entre las especificaciones del proyecto, y puede ser una consideración importante tanto en la conceptualización original, como en cualquier re-conceptualización necesaria, del propio problema del diseño. Lo que la eficiencia puede ofrecer con mayor potencia es su valor reconocido como objetivo, al que los miembros de un equipo de diseño pueden compartir un compromiso, a pesar de los concursos sobre cómo se debe alcanzar.

5.1 Refleja el papel del diseño en la teoría de edificios

Las definiciones formales de eficiencia en la termodinámica estaban históricamente vinculadas a los intentos de comprender y cuantificar el rendimiento de las máquinas. Proporcionan evidencia no sólo de la interrelación entre la teoría de la ingeniería y la teoría científica, sino de la importancia del diseño del objeto tecnológico en el proceso de construcción de la teoría. Peter Kroes da como ejemplo la teoría del siglo XIX de Pambour de la conservación del vapor en las máquinas de vapor; otro ejemplo es el papel de la configuración de la rueda de agua de prueba en los estudios famosos de su efecto mecánico realizado por el ingeniero británico del siglo XVIII John Smeaton [Kroes, 1992; Reynolds, 1983; Alexander, 2008a]. En ambos casos, la configuración física de la máquina aburría directamente sobre cómo se interpretaba teóricamente. El ejemplo más famoso es el trabajo de Sadi Carnot en el ciclo ideal del motor, que fue fundamental para la formulación de definiciones de ingeniería de eficiencia. El diseño conceptual de Carnot de un motor ideal jugó un papel crucial en el desarrollo de la teoría de la termodinámica [Cardwell, 1971].

5.2 Lleva el prestigio de la ciencia a asumir el proceso de diseño

El concepto de eficiencia aporta el prestigio de la ciencia al proceso de diseño, especialmente cuando la energía está en cuestión, porque se basa en una de las estructuras conceptuales más autorizadas de la física moderna. Las apelaciones a la eficiencia pueden superar otras reclamaciones de valor en el

proceso de diseño. El valor de la eficiencia aquí depende de una escalera de suposiciones: más generalmente, que la ciencia es una buena base para el diseño de ingeniería, pero también que las leyes de la termodinámica reflejan cómo funcionan las cosas (que son verdaderas) y que son una guía adecuada para construir sistemas reales en el mundo; y que la ciencia ofrece un terreno políticamente neutral para el consenso. Esto puede verse en el llamamiento a la ciencia como una base autorizada y consensuada para el rediseño de la sociedad, de acuerdo con los principios de eficiencia y racionalización en Weimar Alemania. El Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit de Alemania ofreció mediciones científicas de la eficiencia como una solución no política y culturalmente neutral a las luchas sociales y políticas, cuando el Reichstag en la década de 1920 le encargó aliviar las tensiones de una nación que experimentaba una dislocación económica y social extrema tras la Primera Guerra Mundial [Maier, 1970; Nolan, 1994].

La eficiencia se percibe como especialmente valiosa en consideraciones de diseño que tienen en cuenta el uso ambiental y la sostenibilidad, debido a su asociación con la reducción de residuos además de sus fundamentos científicos. En tales casos, la eficiencia ofrece no sólo prestigio científico, sino también una forma de establecer metas y medir el progreso. En los debates sobre el diseño de sistemas ambientales, las afirmaciones de eficiencia a menudo llevan consigo afirmaciones de experiencia tecnocrática [Hays, 1959; Peor, 1994].

5.3 Ofrece una medida de diseño óptimo

El concepto de eficiencia desempeña un papel importante en las consideraciones del diseño óptimo o más perfecto de los sistemas de ingeniería. La eficiencia ofrece una medida de diseño perfeccionado en los casos que se basan en el uso y la transformación de la energía; la eficiencia más cercana se acerca al 100 por ciento, o unidad perfecta, más perfecto es el diseño. Pero es importante señalar que incluso con la eficiencia energética sigue habiendo una amplia variedad de formas de medirlo, y la forma en que debe medirse puede convertirse en una cuestión de desacuerdo significativo entre las personas involucradas en el proceso de diseño. Con respecto a los motores, las preguntas que quedarán pueden incluir que se debe maximizar si se debe maximizar la eficiencia térmica o mecánica, y qué instrumentos deben utilizarse para medirlo, por ejemplo, un indicador dentro del motor o el propio motor principal, o un freno u otro dispositivo en el extremo de salida del sistema, o ambos. Incluso el valor de calor del combustible puede ser calculado por varios métodos. En

general, la eficiencia ofrece sólo una guía muy indistinta para un diseño óptimo, e incluso cuando se acuerda que un diseño será elegido por motivos de eficiencia, seguirá habiendo una amplia variedad de opciones de eficiencia.

Dicho esto, sigue habiendo un sentido en el que la eficiencia es de hecho una guía importante para un diseño óptimo, y es cuando el control de un sistema móvil o cambiante es la función primaria deseada. Los valores de control incluyen estabilidad de funcionamiento, previsibilidad de resultados y mínima interferencia o turbulencia. Cuando el control de un sistema es la salida deseada, en lugar de alguna otra medida de productividad, el concepto de eficiencia ofrece un modelo para un diseño óptimo: un sistema bajo vigilancia completa, donde el movimiento se limita a caminos y recursos predeterminados se dirigen principalmente a la prevención de turbulencias. Esto es eficiencia en un sentido de totalización y no se limita al uso de ingeniería. A continuación, en la Sección 6, analizo varias críticas importantes de la función de totalización de la eficiencia dentro de la sociedad en general.

5.4 Sirve como criterio de diseño

La eficiencia sirve como criterio de diseño cuando se encuentra entre las especificaciones de diseño que un proyecto debe cumplir. En tales casos, no se considera que la eficiencia tenga un valor propio, sino que se valora como uno entre los muchos parámetros limitantes especificados por el propietario o el administrador de un proyecto. Funciona para guiar el proceso de diseño en la medida en que sea congruente con los otros parámetros limitantes, y puede ser concedido mayor o menor prioridad si entra en conflicto con ellos. Si las especificaciones entran en conflicto significativo entre sí, un equipo de diseño generalmente se recurre al propietario o gerente del proyecto para que se resuelvan, y no elige a qué valores dar prioridad. El problema se convierte entonces en volver a re-conceptualizar el propio problema de diseño.

La eficiencia puede ofrecer un lenguaje común a aquellos involucrados en el diseño de un proyecto, y debido a que se presume tan ampliamente qué es valioso, puede servir para legitimar una amplia variedad de opciones de ingeniería. La amplitud de su supuesto valor significa que incluso los grupos competidores pueden hacer reclamos de eficiencia durante el proceso de diseño. En lugar de imponer un conjunto rígido de requisitos, la eficiencia puede, en cambio, proporcionar un objetivo general compartido. Aquellos involucrados en el proceso de diseño podrían ver la eficiencia en un sentido económico, o como un reflejo de los valores sociales o culturales, sin embargo, pueden, a pesar de

tales diferencias, ser capaces de diseñar un proyecto dentro de un compromiso compartido con el objetivo general de eficiencia [van de Poel, 1998].

6 CRITICAS A LA EFICIENCIA

Los críticos más famosos de la eficiencia han sido los críticos de la sociedad industrial en general, viendo en eficiencia no un presagio de progreso, sino una técnica de control y explotación. El crítico y autor de arquitectura estadounidense Lewis Mumford rechazó los usos capitalistas de la eficiencia, que creía que estaban vinculados a la búsqueda de beneficios y el enriquecimiento individual a expensas del verdadero avance social y cultural [Mumford, 1963]. Una crítica mucho más influyente fue montada por los primeros teóricos críticos de la escuela de Frankfurt Max Horkheimer y Theodor Adorno. Los miembros del Instituto de Investigaciones Sociales de Fráncfort del Meno trataron de emancipar a la sociedad del cautiverio ideológico "poniendo en conocimiento de las condiciones de nuestro propio conocimiento del mundo" [Anderson, 2000]. En su famosa y provocativa obra *La dialéctica de la iluminación* (1947), Horkheimer y Adorno describieron la eficiencia como encapsulando una forma de racionalidad instrumental que había sido dominante desde la Ilustración. La eficiencia habló a medida del intento humano tanto de conocer, como de manipular el mundo; la prueba del verdadero conocimiento fue cómo completamente permitió que su objeto fuera controlado. Cuanto mayor sea el conocimiento, mayor será el control; cuanto mayor sea el control, mayor será la eficiencia. Como dijo Horkheimer y Adorno, escribiendo en respuesta a la pesadilla del nazismo: "El orden totalitario ha concedido derechos ilimitados para calcular el pensamiento... Su canon es su propia eficiencia brutal" [Horkheimer y Adorno, 2002, págs. 67-68]. Se encontró un importante apoyo al argumento de Horkheimer y Adorno en el influyente concepto de racionalización avanzado anteriormente por el sociólogo Max Weber; la racionalización describió los esfuerzos de los protestantes calvinistas para asegurarse de su salvación a través del efecto bueno y medible de sus obras en el mundo. Tal eficacia parecía una prueba de que Dios estaba dispuesto graciosa y positivamente hacia ellos [Weber, 1904-5, 2001]. Una crítica influyente y sostenida de Horkheimer y Adorno vino de un miembro de la segunda generación de la escuela de Frankfurt, Jorgen Habermas, que encontró la condena de Horkheimer y Adorno de la racionalización tan trascendental como para socavar la posibilidad de la propia teoría crítica. Una descripción tan oscura de la racionalidad mantuvo incluso el uso crítico y constructivo de la razón, sostuvo Habermas, y en una serie de obras desarrolló minuciosamente

distinciones importantes entre las diversas formas de racionalización [Habermas, 1984]. La preocupación de Habermas era identificar las condiciones que permitirían que florecieran las interrelaciones humanas, libres de intereses dominantes [Anderson, 2000]. En particular, ofreció un análisis de cómo la esfera pública, en las circunstancias adecuadas, podía funcionar como un control crítico de la autoridad política y económica, en contraste con el control fragmentado y débil que había planteado al nazismo. Para remolcar este argumento, era importante que Habermas desarrollara un terreno respetable para la racionalidad y, por lo tanto, para la teoría crítica que podría utilizarse para identificar y ayudar a crear condiciones más abiertas al progreso humano [Habermas, 1989].

La crítica más sostenida y de gran alcance de la eficiencia ha venido del jurista y teólogo francés Jacques Ellul. Al igual que Horkheimer y Adorno vio en la eficiencia una función de totalización, argumentando que la búsqueda de la eficiencia es antitética a la libertad humana porque en última instancia requiere que todas las cosas humanas sean analizadas e integradas en sistemas ordenados y manejables [Ellul, 1964]. Pero el método de Ellul era notablemente opaco y su trabajo no puede considerarse dentro del marco de la teoría crítica. Su rechazo a la teoría crítica fue de hecho radical, ya que argumentó que la planificación misma está implicada en los efectos dominantes de la eficiencia; el requisito de que la teoría crítica no sólo fuera teórica sino práctica, era en sí misma una invitación a la estrategia y la planificación, movimientos que ellos mismos dan lugar al deseo de eficiencia. El trabajo de Ellul no es tan conocido como el de la escuela de Frankfurt, en parte porque ningún teórico ha interpretado aún su trabajo profundamente perturbador de una manera tan constructiva como lo hizo Habermas, en respuesta a la desesperación evidenciada en la obra de Horkheimer y más particularmente Adorno. Otra razón de su negligencia es que la obra de Ellul exige ser interpretada dentro de un marco teológico. Su análisis de la eficiencia no se basa en el argumento teológico ni en su importante trabajo sobre el tema (*La Sociedad Tecnológica*, 1964), pero es evidente en el importante papel que da a la esperanza humana en gran parte de su otro trabajo, en el que la esperanza ofrece un sistema abierto en contraste con el sistema cerrado que requiere eficiencia.

En los últimos años se han montado críticas más limitadas a la eficiencia, sobre todo de la eficiencia en el derecho y la economía. En el derecho estadounidense, la crítica a la eficiencia ha sido directa, mientras que la crítica de

la eficiencia en la práctica económica, particularmente de la globalización, ha tomado la forma de análisis de prácticas fundacionales que invocan la eficiencia.

La eficiencia es un concepto importante y disputado en el derecho estadounidense, y allí, como en otros lugares, tiene varios significados diferentes. La eficiencia describe medidas para agilizar la resolución de demandas, donde se promueve como una herramienta para ayudar a gestionar las crecientes cargas en el sistema legal. Tiene otros significados y más potentes, más particularmente legales, en el derecho constitucional, donde se reconoce como un interés importante ser equilibrado contra demandas como la libertad de expresión, y entre los juristas que ven la eficiencia como ella misma la encarnación de la justicia. Se discuten tanto el uso práctico y administrativo de la eficiencia, como su función normativa en la determinación de las acciones judiciales o jurídicas. El principal crítico de la eficiencia en la ley ha sido Thane Rosenbaum, quien se opone a la racionalización burocrática del proceso legal y su énfasis en la resolución de casos penales a través de alegatos negociados. La verdad, argumenta, se ha convertido en un "rehén" de la eficiencia [Rosenbaum, 2004].

La crítica de la eficiencia en la economía adopta dos formas principales. El primero está integrado en una crítica de la globalización económica y caracteriza la eficiencia del mercado como incompatible con la igualdad. Considera que la eficiencia en los mercados es una estrategia de sociedades industriales o postindustriales adineradas para maximizar sus propios beneficios; las protestas en la reunión de la Conferencia Ministerial de la Organización Mundial del Comercio en Seattle en 1999 pueden interpretarse como parte de esta crítica. La segunda forma de crítica radica en un análisis de las suposiciones fundamentales de la teoría económica, atándolas directamente al "evangelio de la eficiencia" de la era progresista estadounidense, y describiendo la eficiencia en la economía como en esencia, un valor religioso [Okin, 1975; Porter et al., 2001; Nelson, 2001].

Cabe señalar que la escuela de derecho y economía de Chicago combina el derecho y la economía al ver en la eficiencia económica una demostración de los principios naturales que la ley debe seguir. Se ha criticado por dar un valor especialmente alto a la eficiencia y justificar esa alta valoración mediante un análisis del derecho común que considera que ha logrado una distribución de los recursos especialmente eficiente. Una buena ilustración de la teoría de la escuela

de Chicago se puede encontrar en Richard A. Posner, *Economic Analysis of Law* [Posner, 1983].

Las críticas a la eficiencia subrayan el amplio alcance del concepto. El hecho de que se incorporen a una crítica social más general pone de relieve la profunda resonancia entre la eficiencia y la sociedad industrial y postindustrial, y que importantes hilos de crítica han hecho hincapié en la asociación de la eficiencia con la dominación, lo que justifica aún más la identidad del concepto como forma de control. Los teóricos no han montado una defensa a gran escala de la eficiencia; su uso continuado en contextos de ingeniería constituye una refutación en la práctica.

7 CONCLUSIÓN

El concepto de eficiencia es fundamental para la ingeniería contemporánea, y sigue siendo fundamental en contextos industriales y postindustriales. Es amplio y complejo, y hay una flexibilidad tan grande en la forma en que se mide que se puede aplicar, de manera precisa y cuantitativa, a casi cualquier situación. Pero por debajo de su complejidad y amplitud se encuentran tres características fundamentales. En primer lugar, la eficiencia es una herramienta práctica, una construcción intelectual diseñada para hacer que la comprensión intelectual del mundo sea prácticamente eficaz. No se trata principalmente de entender el mundo, sino de actuar en él. En segundo lugar, la eficiencia es comparativa y, por lo tanto, requiere una visión de cómo debe funcionar el mundo, con la que puede medirse o con la que se puede comparar. Sin una visión de cómo debe funcionar un sistema o proceso, no existe un estándar en el que se pueda evaluar la eficiencia. En tercer lugar, la eficiencia funciona eliminando la resistencia a la consecución de la visión, controlando el cambio o el movimiento en el proceso o sistema al que se aplica. Controlar la resistencia aumenta la probabilidad de que se alcance la visión, y disminuye los costos de lograrla reduciendo los residuos que se asocian con la resistencia. Es importante tener en cuenta que la resistencia puede tomar muchas formas, como la turbulencia en la carrera de cola de una rueda de agua o el eludiendo por los esclavos en un campo de algodón.

Estos últimos ejemplos, de posibles sitios de resistencia a la eficiencia, ilustran cómo sus implicaciones de ingeniería y sociales se superponen. La eficiencia de la ingeniería tiene un núcleo mecánico, ligado a las tradiciones de ingeniería mecánica y a la física de la energía y la termodinámica a través de intentos históricos de entender y controlar el rendimiento de las máquinas. La

dependencia de la eficiencia en el control es clave, ya que distingue la eficiencia del concepto de eficacia estrechamente aliado. La eficiencia se asocia no sólo con ser eficaz, sino con tener tal control sobre un proceso que el efecto se logra con el menor desperdicio. Por lo tanto, la eficiencia activa el reparto controlado de los recursos, mientras que la eficacia denota un efecto, pero no los costos de lograrlo. Su alianza con el control sugiere que la eficiencia no es sólo una herramienta, sino una ideología. Esta sugerencia está respaldada por muchos de los casos históricos en los que ha aparecido, como los debates sobre la productividad de la esclavitud, y es contra la eficiencia como ideología que sus críticos más potentes han alzado la voz.

VALORES ESTÉTICOS EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO EN INGENIERÍA

Joachim Schummer, Bruce MacLennan, and Nigel Taylor

1 INTRODUCCION

Con pocas excepciones, sobre todo en arquitectura y diseño de productos, los ingenieros se han utilizado para prestar poca atención explícita a la estética. La mayoría de los filósofos de la tecnología han seguido ese modelo y excluido cualquier cosa relacionada con la estética en la filosofía de la tecnología. El descuido parece estar justificado por razones conceptuales básicas. De hecho, muchas definiciones de la tecnología comienzan hablando de la ambigüedad del término "arte", con el fin de distinguir las artes útiles de las bellas artes: Si bien ambos tipos de artes son productivas o políticas en el sentido aristotélico, se dice que difieren fundamentalmente entre sí por sus valores. Las bellas artes se rigen por valores estéticos y, por lo tanto, constituyen el ámbito adecuado de la estética, mientras que las artes útiles, es decir, la tecnología, se rigen por valores funcionales, como el rendimiento del producto, la durabilidad, el costo, la seguridad, etc., así como por los valores epistémicos en la medida en que producen conocimientos tecnológicos. De este enfoque se deduce que los valores estéticos sólo desempeñan un papel marginal y, a lo sumo, adicional en determinados campos de la ingeniería, como el diseño de productos, con el fin de complacer a los consumidores y aumentar las ventas.

Existe una larga tradición filosófica de definir los campos de la ciencia, la tecnología, las bellas artes y la ética en términos de sus objetivos y valores dominantes, con ejemplos prominentes de Aristóteles y Kant. Sin embargo, incluso si ciertos valores están dominando o es característico de un campo determinado, sería ingenuo excluirlos por definición de otros campos para mantener una sistematización pura. Las distinciones entre las artes útiles y las bellas artes y entre la ciencia y la tecnología siempre se han debatido y, de hecho, se han redefinido muchas veces a lo largo de la historia, reflejando con frecuencia el cambio en el estatus social de las profesiones correspondientes. Además, la ciencia pura que ignora cualquier valor funcional y ético es tan difícil de encontrar como las bellas artes que excluyen completamente estos valores. Tales como los valores éticos siempre han desempeñado un papel en la ingeniería, por ejemplo, inspirando ideas tecnológicas del progreso humano o prohibiendo las tecnologías dañinas en los códigos de conducta, tales valores estéticos han sido influyentes al informar a sabiendas o no los procesos de diseño. Por lo tanto, la cuestión no es si los valores estéticos juegan o deben desempeñar un papel en la tecnología. En cambio, la cuestión a tratar en este

artículo es cómo los valores estéticos informan a la tecnología y cómo compiten o armonizan con otros valores.

Los valores estéticos son difíciles de definir e identificar en las actividades de ingeniería por varias razones. Una razón es que el discurso de la estética profesional se ha centrado demasiado estrechamente en las bellas artes, incluida la literatura, de modo que, particularmente para muchos esteticistas anglosajones, la estética se ha vuelto equivalente al estudio de las bellas artes o la crítica de arte (por ejemplo, [Cooper, 1992]). Desafortunadamente eso hace que su aparato conceptual sea en gran parte inapropiado para otros campos de la estética, incluyendo la estética en ingeniería. Otra razón es que los científicos e ingenieros utilizan con frecuencia términos como "hermoso", que de otro modo serían indicadores típicos de apreciación estética, para expresar la aprobación epistémica o funcional o para popularizar su actividad a un público más amplio. Por lo tanto, es útil comenzar con amplios conceptos de valores estéticos considerando cualquier valor que no sea de naturaleza epistémica, funcional o ética. Los valores restantes suelen incluir valores estéticos familiares como la belleza, la elegancia, la armonía, la simplicidad y la claridad (no epistémicas), y la familiaridad, así como sus opuestos en los que se basa la desaprobación estética. Además, algo puede complacer o disgustar estéticamente por semejanza con otra cosa que atrae o disgusta sólo por razones estéticas, que normalmente se expresa por analogías o metáforas y que a veces conduce a la formación de estilos estéticos. Cada vez que estos valores estéticos contribuyen a las preferencias en las decisiones de ingeniería, hay evidencia de que informan la actividad de ingeniería.

El enfoque de este artículo se centra en cómo los valores estéticos informan el proceso de diseño de ingeniería funcional. En lugar de ver cómo los productos de ingeniería son recibidos estéticamente por los consumidores, observamos cómo son diseñados por los ingenieros y qué papel juegan los valores estéticos en el proceso de investigación y diseño. Por supuesto, la distinción no siempre es clara porque, dependiendo del campo de la ingeniería, el diseño se ve frecuentemente influenciado por la recepción prevista por los consumidores. Por ejemplo, en el diseño industrial, la recepción estética prevista por parte de los consumidores se ha convertido en una parte importante de la ergonomía que esencialmente informa las decisiones de diseño. Además, nos centramos menos en el producto en sí que en el proceso de diseño del producto. Es decir, nos interesa cómo los valores estéticos tienen un impacto en las diversas actividades y pasos que contribuyen al proceso de diseño. Esto incluye

particularmente la elección inicial del problema de ingeniería a resolver, diferentes pasos del proceso cognitivo de diseño funcional, y diversas herramientas y medios de representación que los ingenieros utilizan en su proceso de diseño para visualizar y estructurar el problema de ingeniería, las estrategias para resolverlo y el producto final.

A diferencia de la uniformidad de la tecnología, los diversos campos de la ingeniería tienen tradiciones y metodologías históricas muy diferentes, por lo que, tal vez no es sorprendente que el impacto de los valores estéticos, así como el tipo de valores estéticos que importan, difieran en consecuencia. Dado que este artículo no puede abarcar todos los campos de la ingeniería, hemos hecho una selección de tres campos que podrían representar en cierta medida la diversidad de valores estéticos y tradiciones. La razón detrás de la selección es que el tamaño y la visibilidad del producto de ingeniería hacen una diferencia crucial en la forma en que se diseña el producto; tanto en lo que respecta a los procesos cognitivos involucrados como a las herramientas de representación utilizadas en ese proceso, y que el papel y el tipo de estética pueden diferir en consecuencia. Así, la primera sección, escrita por Nigel Taylor, trata de los valores estéticos en el diseño de objetos a gran escala, ejemplificados por la planificación del paisaje urbano y la arquitectura. La segunda sección, de Joachim Schummer, investiga la estética de la química, que por lo general no se considera un campo de ingeniería, pero encaja bien en nuestra sistematización porque tiene un enfoque importante en el diseño de objetos moleculares a pequeña escala. Por último, el tema de la tercera sección, escrito por Bruce MacLennan, es el papel de los valores estéticos en el diseño de objetos virtuales como se realiza en la ingeniería de software.

Tanto nuestra selección de los campos de la ingeniería como nuestro enfoque en el proceso de diseño son claras salidas de los pocos tratamientos clásicos de la estética y la tecnología, que se limitan en gran medida a la arquitectura y el diseño industrial. Por supuesto, en arquitectura, y más recientemente en el diseño industrial, la estética es con frecuencia parte del currículo estándar, ya sea en forma de relatos históricos de estilos o en la forma normativo-didáctica de enseñar a los estudiantes los principios de los productos estéticamente preferidos. Esa tradición se remonta a Vitruvio que, en el libro de texto más antiguo de la arquitectura del siglo I A. C., dedicó todo un capítulo a ese tema (*De Architectura*, III.1). El otro tema clásico es la "asimilación estética" de la maquinaria por parte de artistas modernos (por ejemplo, Mumford [1934, ch. VII.3]) y la visión complementaria de cómo la producción industrial ha

permitido una especie de arte de masas e influido en una estética de masas [Benjamin 1936], que se convirtió en una crítica estándar de la civilización moderna. Esto ha inspirado muchos estudios sociológicos posteriores, frecuentemente marxistas, sobre productos de diseño industrial y los contextos sociales, políticos y económicos que han determinado su estética (por ejemplo, Haug [1971], Gartman [1994], Brummett [1999]). Además, muchos críticos de la cultura moderna han argumentado que la tecnología, impulsa nuestra cultura hacia un vacío estético, porque se centraría únicamente en los valores funcionales e ignoraría los valores estéticos. En la medida en que la crítica se dirigió al movimiento funcionalista en la arquitectura del siglo XX y el diseño industrial, sin embargo, resultó, que el funcionalismo es un estilo estético por derecho propio, que trata de expresar funcionalidad en sus productos por elementos estéticos, a veces hasta el punto de que sus productos se vuelven disfuncionales.

2 DISEÑO DE OBJETOS A GRAN ESCALA: PLANIFICACIÓN Y ARQUITECTURA URBANAS

2.1 Introducción

La preocupación de esta sección es identificar y discutir los principales valores estéticos que informan el proceso de planificación y arquitectura del paisaje urbano contemporáneo. Aunque la distinción es buena, vale la pena destacar que nuestro enfoque principal será en los valores estéticos que han informado el proceso de planificación y arquitectura del paisaje urbano en lugar de la planificación y los resultados arquitectónicos, y de ello se deduce que nuestro enfoque principal será en las principales ideas y valores estéticos que han informado la planificación y la arquitectura contemporáneas. A continuación, empiezo aclarando qué, a los efectos de esta sección, nos referimos cuando hablamos de planificación urbana y paisajística contemporánea a arquitectura, y qué, a los efectos de esta revisión, tomo los valores estéticos para ello. Los valores estéticos que sustentan la arquitectura y la planificación contemporáneas han sido moldeados en gran medida por las ideas y valores que llegaron a dominar el movimiento moderno en arquitectura y planificación a finales del siglo XIX y principios del XX. En consecuencia, siguiendo la aclaración de los términos básicos, voy a proporcionar una breve visión histórica de las actitudes a las consideraciones estéticas que prevalecieron en el movimiento moderno en arquitectura y planificación, antes de venir a describir las

principales ideas estéticas y valores que informan la planificación contemporánea.

Concluiré con algunas reflexiones más generales sobre el estatus y la importancia política de la estética en la planificación y la arquitectura contemporáneas. En primer lugar, nuestro mandato. "La planificación urbana y rural/paisajística a menudo se ejecuta junto con la "arquitectura", como si se trataran dos aspectos de una sola disciplina y práctica, o al menos una integrada. Y de hecho, esto solía ser el caso, en ese "pueblo" la planificación (como se llamaba) alguna vez fue ampliamente vista como una extensión de la arquitectura, en el sentido de que se refería a la planificación física y el diseño de pueblos enteros, ciudades e incluso regiones (véase, por ejemplo, Keeble [1952] y Taylor [1998, Ch. 1]). Sin embargo, desde al menos la década de 1960, esta concepción de "diseño físico" de la planificación urbana y campesina (o urbana y rural/paisaje) ha sufrido un cuestionamiento y transformación radicales, de modo que hoy en día la planificación urbana y paisajística es vista como un proceso mucho más complejo de gestión del funcionamiento social y económico de los asentamientos urbanos y las regiones, así como sólo su diseño físico. Además, el proceso de toma de decisiones sobre el desarrollo urbano y rural (y por lo tanto el proceso de planificación urbana y rural) ahora se considera un proceso altamente político, ya que los diferentes grupos de interés y "partes interesadas" a menudo tendrán puntos de vista y valores diferentes y a veces contradictorios sobre la naturaleza y la ubicación de nuevos desarrollos como nuevas carreteras, aeropuertos, compras importantes u otros desarrollos comerciales, etc. En consecuencia, el urbanista contemporáneo ya no es alguien que planifica pueblos y ciudades de la misma manera que los arquitectos diseñan edificios individuales, sino más bien alguien que busca gestionar un complejo proceso de llegar a planes y decisiones sobre el desarrollo urbano futuro de maneras que reflejen una gama de intereses y valores diferentes. En resumen, Los urbanistas no suelen ser ellos mismos los autores y diseñadores de planes urbanos de la misma manera que los arquitectos son de sus edificios, y esto tiene una incidencia en nuestro tema ya que, en la arquitectura, los arquitectos individuales pueden llegar a expresar sus valores estéticos y visiones en los edificios que diseñan, mientras que, en la planificación urbana y rural contemporánea, los planificadores individuales tienen mucha menos autonomía creativa en la realización de planes urbanos y por lo tanto son menos capaces de estampar sus particulares visiones estéticas a gran escala para el desarrollo rural.

2.2 Valores estéticos en la arquitectura moderna y el urbanismo

Los valores estéticos de la planificación urbana contemporánea y la arquitectura han sido muy influenciados por las actitudes hacia los aspectos estéticos de la forma urbana y los edificios que se desarrollaron durante el auge del movimiento moderno que llegó a dominar la arquitectura y la planificación durante la mayor parte del siglo XX, por lo que se necesita como base para este relato, una breve visión de los principales principios del modernismo. Dos puntos, en particular, surgen de la planificación y la arquitectura modernistas, cada uno de los cuales se encuentra en cierta tensión entre sí.

2.2.1 La preocupación de los modernistas por un diseño funcional independiente del estilo estético

Durante los últimos años del siglo XIX y principios del siglo XX, los pioneros de la arquitectura y la planificación modernas encontraron inspiración en las grandes y aparentemente puras y utilitarias o funcionales formas de ingeniería civil del siglo XIX, como los puentes de hierro de Telford y Brunel, el Palacio de Cristal de Paxton, la famosa torre de Eiffel para la exposición de París de 1889 (véase, por ejemplo, Giedion [Giedion[, 1941]). Esta fascinación por las grandes obras de la ingeniería del siglo XIX combinada con un desdén igualmente poderoso por la arquitectura "revivalista" que había dominado el siglo XIX, y la teoría arquitectónica coincidente, que afirmaba que la calidad que distinguía la arquitectura de la construcción meramente utilitaria era el "estilo". Para la mayoría de los arquitectos (y teóricos arquitectónicos) del siglo XIX, la marca distintiva de la arquitectura era una preocupación autoconsciente con la estética de la forma construida independiente de consideraciones utilitarias o funcionales. Tal punto de vista fue articulado por el influyente crítico del siglo XIX John Ruskin quien, en su libro *Las siete lámparas de la arquitectura*, definió la arquitectura en términos del aspecto estético de la construcción. Y como el contenido estético de un edificio no era estrictamente necesario para su propósito utilitario, para Ruskin se deleitaba a Ruskin que la arquitectura se refería a ese aspecto del diseño del edificio que era, literalmente, "innecesario". Como él lo dijo: "Vamos a [...] limitar el nombre (de la arquitectura) a ese arte que, tomando y admitiendo [...] las necesidades y usos comunes del edificio, impresiona en su forma ciertos personajes venerables y hermosos, pero por lo demás innecesarios. [...] que es Arquitectura" [Ruskin, 1849, Ch. 1, págs. 14-15]. Para Ruskin, entonces, las consideraciones de estilo y estética por derecho propio fueron lo que distinguió la arquitectura de la construcción. Y esto

también distinguió la arquitectura de la ingeniería, ya que la principal preocupación de la arquitectura era con la estética de la forma construida (y por lo tanto el estilo), la principal preocupación de la ingeniería y la construcción era con estructuras que eran funcionales para su propósito; de hecho, esto es lo que, para Ruskin, hizo de la arquitectura, pero no de la ingeniería, un "arte".

Ahora, fue sólo esta distinción entre "arquitectura estética" y "construcción e ingeniería funcional" lo que los primeros modernistas disputaron. Así, cuestionaban, por una parte, la opinión de que los edificios y formas puramente funcionales no podían ser también obras de arte arquitectónico y, por otra parte, la opinión de que la arquitectura exigía que la ornamentación y el "estilo" fueran arquitectura. De hecho, algunos de los pioneros del modernismo llegaron a afirmar que una arquitectura verdaderamente moderna —es decir, una arquitectura acorde con la era contemporánea de la industria, la ciencia y la ingeniería— debería ser una arquitectura cuyas formas se regían principalmente, si no únicamente, por consideraciones funcionales y, por lo tanto, una arquitectura que estaría libre de consideraciones estilísticas o estéticas independientes. Así, el primer arquitecto estadounidense moderno Louis Sullivan sugirió que la "forma" de los edificios debía "seguir" su función, y, en lo que respecta al uso de ornamento "innecesario" en los edificios, escribió: "Debo decir que sería muy bueno para nuestro bien estético si nos abstuviéramos por completo del uso del ornamento durante un período de años, para que nuestro pensamiento se concentre en la producción de edificios bien formados y mal humorados", 1892]. Fue de esta manera que los primeros arquitectos modernistas resta importancia en las consideraciones estéticas, incluso en la medida en que las consideraban importantes para el diseño de una arquitectura (genuinamente moderna).

2.2.2 La estética del "purismo" geométrico en la arquitectura y la planificación modernas

A pesar de la retórica del funcionalismo que desempeñó un papel tan central en la arquitectura y la planificación modernistas tempranas, encontramos que la mayoría de las principales figuras del movimiento moderno de la arquitectura y la planificación eran en realidad muy particulares sobre la estética de la nueva arquitectura moderna, tanto que, en la década de 1930, un estilo distinguible — el llamado "Estilo Internacional" — había llegado a dominar la arquitectura moderna, por lo que a partir de ahora, la arquitectura moderna se hizo instantáneamente reconocible debido a su estilo. En particular, el tipo de

formas arquitectónicas preferidas por los pioneros de la arquitectura moderna eran formas geométricas "puras", formas que eran "puras" en dos sentidos. En primer lugar, las formas reales a partir de las cuales se componía la nueva arquitectura, eran en sí mismas formas geométricas puras, tales como cubos, rectángulos, cilindros y conos, y en segundo lugar, estas formas eran puras en el sentido de que se dejaban lisas y decoloradas. Así Le Corbusier, en uno de los textos fundamentales del modernismo arquitectónico, defendió la arquitectura de las formas "primarias":

Las formas primarias son formas hermosas porque se pueden apreciar claramente. [...] La arquitectura es el juego magistral, correcto y magnífico de las masas reunidas en la luz. [...] cubos, conos, cilindros o pirámides son las grandes formas primarias que la luz revela a la ventaja. [...] es por esta razón que estas son formas hermosas, las formas más bellas. [Le Corbusier, 1927, págs. 26, 31].

De hecho, Le Corbusier fue considerado una vez como responsable de caracterizar la arquitectura moderna como arquitectura "funcional" porque, en una carta que escribió al italiano Alberto Sartoris sobre un libro, este último estaba escribiendo sobre la nueva arquitectura titulada *Architettura Razionale* (Arquitectura Racional), Le Corbusier comentó que: "El título de su libro es limitado: es una verdadera falta limitarse a poner la palabra Rational en un lado de la barricada, y deje sólo la palabra Académico para poner en la otra. En lugar de Racional decir Funcional [...]" (citado en Banham [1960, Ch. 22, p. 320]). A pesar de esto, Le Corbusier fue uno de los principales defensores de la estética purista de la arquitectura moderna (véase San Juan Wilson [1995]), y en su *Hacia una nueva arquitectura*, dibujó esencialmente la misma distinción entre arquitectura e ingeniería como Ruskin había dibujado anteriormente:

Será una delicia hablar de , talleres, máquinas y rascacielos. La ARQUITECTURA es una cosa de arte, un fenómeno de las emociones, que se encuentra fuera de las cuestiones de la construcción y más allá de ellas. [...] Empleas piedra, madera y hormigón, y con estos materiales construyes casas y palacios; que es la construcción. El ingenio está funcionando. Pero de repente me tocas el corazón, me haces bien, soy feliz y digo: 'Esto es hermoso'. Eso es Arquitectura. El arte entra. Mi casa es práctica. Le agradezco, ya que podría agradecer a los ingenieros ferroviarios o al servicio telefónico. No me has tocado el corazón. Pero supongamos que los muros se elevan hacia el cielo de tal manera que me conmueve. [...] Las relaciones entre ellos no tienen necesariamente ninguna referencia a lo que es práctico o descriptivo. Son una

creación matemática de tu mente. Son el lenguaje de la arquitectura. Mediante el uso de materiales inertes y a partir de condiciones más o menos utilitarias, se han establecido ciertas relaciones que han despertado mis emociones. Esto es Arquitectura. [Le Corbusier, 1927, págs. 23, 187]

En resumen, a pesar de la retórica sobre el diseño funcional en el movimiento moderno, surgió un estilo estético distinto "purista" que gobernaba la arquitectura moderna, y de hecho, esto a menudo prevaleció a expensas del diseño funcional genuino (véase de nuevo [San Juan Wilson, 1995]). Y fue la propia ubicuidad de los valores estéticos de la forma geométrica pura, las superficies sencillas no decoradas y las proporciones geométricas armoniosas lo que, en la década de 1930, llevó a la arquitectura moderna a ser instantáneamente reconocible como un estilo distintivo. Y fue porque este estilo fue adoptado por los modernistas en toda Europa y América del Norte que el estilo fue más tarde apodado el "Estilo Internacional".

Hay tres puntos que vale la pena añadir a este relato de los valores estéticos que sustentaron la arquitectura moderna. En primer lugar, si bien los primeros arquitectos modernos elogiaron, y en muchos sentidos trataron de imitar, la estética purista de las formas funcionales diseñadas por los ingenieros civiles de los siglos XIX y XX, es engañoso presumir que, por su parte, los grandes ingenieros sólo estaban preocupados por consideraciones funcionales en sus diseños. Sin duda, los puentes y almacenes de granos tenían, por necesidad, para ser aptos para sus propósitos de abarcar ríos y almacenar granos. Pero como David Billington ha señalado en una sucesión de escritos (por ejemplo, [Billington, 1979; 1983]), los grandes ingenieros de los siglos XIX y XX trataron también de crear formas hermosas y, al hacerlo, la mayoría de ellos también buscaron crear formas de pureza geométrica y proporciones armoniosas. En este sentido, Billington [1979] tiene razón al describir las obras memorables de la ingeniería civil de los siglos XIX y XX, como los puentes de Robert Maillart, como obras de "arte estructural".

En segundo lugar, los valores estéticos —tanto de los grandes ingenieros como de los primeros arquitectos modernistas— que enfatizaban la pureza de las formas geométricas simples y la proporción armoniosa eran valores que antes se habían enfatizado en el diseño arquitectónico y de ingeniería occidental, a saber, en la gran tradición del clasicismo. Por esta razón, a pesar de sus nuevas formas aparentemente radicales, la arquitectura moderna

a veces ha sido vista como un renacimiento de los valores estéticos clásicos (véase, por ejemplo, [Gelernter, 1995, Ch. 8, págs. 225-229; Ch. 9, pp. 252-254]).

En tercer lugar, la estética purista de la arquitectura moderna también encontró expresión en el urbanismo modernista que, en la época del auge del modernismo, estuvo dominado por las visiones de los arquitectos modernos de la "ciudad del futuro" (véase, por ejemplo, [Taylor, 1998, Ch. 2]). Le Corbusier fue de nuevo una figura importante aquí, abogando por que la ciudad moderna estuviera más claramente organizada que su contraparte histórica, con los principales usos del suelo urbano distinguidos entre sí y asignados a distintas "zonas", y también abogando por una morfología urbana radicalmente nueva en la que las actividades urbanas como la vivienda y el comercio se alojarían en grandes bloques de torres y losas de pie en zonas verdes abiertas y conectadas por autopistas urbanas (véase [Le Corbusier , 1924; 1933]). Tal visión representaba una nueva concepción del espacio urbano en la que los edificios se destacaban como formas individuales que puntuaban un mar de espacio libre, en lugar de ser vistos en combinación con otros edificios que en conjunto delimitaban y definían espacios urbanos distintos como calles y plazas. Esta concepción abierta del espacio fue también un valor estético central en la nueva arquitectura, donde grandes láminas de muros, cortinas de vidrio, rompieron la barrera visual entre el exterior y el interior de los edificios, permitiendo así que el espacio aparentemente fluye libremente a través de los edificios.

2.3 La crítica de la arquitectura y el urbanismo modernistas, y los valores estéticos en la arquitectura y la planificación en la era contemporánea "post-moderna"

Según algunos relatos, las ideas y valores arquitectónicos modernistas descritos en la sección anterior habían sido trabajados a finales de la década de 1920, por lo que esta excursión a los primeros valores estéticos modernistas podría no parecer tan relevante para un examen de los valores estéticos en la arquitectura y el urbanismo actual. Pero tal respuesta sería superficial. Para las ideas y valores modernistas que se desarrollaron a principios del siglo XX, se deleitó con el resto de ese siglo y, en muchos aspectos, siguen manteniendo el control actual. Así, el diseño y la forma de muchas obras contemporáneas a gran escala de arquitectura e ingeniería siguen siendo informadas y moldeadas por la estética geométrica purista que fueron la marca del modernismo, tanto que algunos arquitectos y críticos siguen haciendo referencia a esta obra como estilísticamente (si no ideológicamente) "modernista" o, tal vez, como

"modernista tardío" (véase, por ejemplo, [Jencks, 1980]). Lo que ha complicado el panorama en los últimos cuarenta años desde la década de 1960 ha sido el surgimiento de una vigorosa crítica al modernismo en la arquitectura y la planificación, y la consecuente afirmación de valores estéticos alternativos.

La reacción contra el modernismo fue la primera en el urbanismo a principios de la década de 1960. El apogeo del modernismo en la arquitectura y la planificación fue, de hecho, en el cuarto de siglo posterior a la Segunda Guerra Mundial, cuando las ideas modernistas que habían surgido en la primera mitad del siglo XX fueron adoptadas con entusiasmo para los esquemas a gran escala de la planificación urbana de la "posguerra", más famosa y notoriamente en los grandes esquemas de "limpieza de barrios", "reurbanización integral" y vivienda social que tuvo lugar en la mayoría de las ciudades industriales de Europa del Norte, pero también en la planificación y construcción de ciudades completamente nuevas, como las nuevas capitales de Brasilia y Chandigarh. Y muy rápidamente la mayoría de estos esquemas de la cirugía urbana modernista llegaron a ser considerados como fracasados, abismalmente, para crear las utopías funcionalmente eficientes o estéticamente hermosas que los pioneros del modernismo habían soñado. De hecho, tan rápido fue la repulsión contra lo que Alison Ravetz describió como el enfoque modernista de "barrido limpio", para planear que, en 1972, el galardonado plan de vivienda social Pruitt-Igoe en St Louis, Missouri, fue en gran parte barrido por ser dinamitado. Y paradójicamente (dada la retórica funcionalista que había asistido al auge de la arquitectura moderna), fue precisamente la falta de un análisis y comprensión adecuados de cómo funcionaban las ciudades exitosas (y los seres humanos dentro de ellas) lo que estaba en el centro de las críticas tratadas del urbanismo modernista de la década de 1960. Así, Jane Jacobs [1961] y Christopher Alexander [1965] señalaron que las utopías urbanas modernistas de arquitectos como Le Corbusier no mostraron una comprensión real de las sutiles y complejas interrelaciones entre las personas y las actividades en las ciudades reales. Aquí, una vez más, se esconde ese conflicto entre los requisitos de la planificación funcional y el diseño genuinos, y los valores estéticos "puristas" que, bajo la influencia de figuras como Le Corbusier, habían llegado a dominar la planificación urbana moderna, así como la arquitectura moderna. Pero la nueva arquitectura y planificación de la posguerra también fue criticada simplemente en términos estéticos. Para la repetición de los mismos (o similares) bloques desnudos a través de grandes extensiones de ciudades fue visto como visualmente monótono y alienante. Como dijo Charles Jencks, al reflexionar con

el alivio sobre el paso de la estética de la arquitectura moderna producida en masa, "la era de las losas estúpidas e inarticuladas ha terminado, la era del cliché repetitivo está terminada" [Jencks, 2002, p. 2].

Fue la falta de riqueza estética y variedad en la arquitectura moderna lo que fue el foco de la crítica de Robert Venturi al Modernismo "Estilo Internacional" en su publicación seminal *Complejidad y Contradicción en arquitectura* de 1966. Al principio, Venturi parodió las normas estéticas aceptadas del Modernismo "Estilo Internacional" al abrir su libro contrarrestando estos con sus opuestos e implicando que la elección entre los dos no era, como algunos modernistas habían afirmado, una racional, sino más bien una de gusto estético personal y preferencia:

Me gusta la complejidad y la contradicción en la arquitectura. [...] En todas partes, excepto en arquitectura, se ha reconocido la complejidad y la contradicción [...]. Los arquitectos ya no pueden darse el lujo de ser intimidados por el lenguaje puritanamente moral de la arquitectura ortodoxa moderna. Me gustan los elementos híbridos en lugar de "puros", comprometedores en lugar de "limpios", distorsionados en lugar de "directos", ambiguos en lugar de "articulados" [...]. Estoy a la espera de una vitalidad desordenada sobre la unidad obvia [...]. Estoy a la riqueza del significado más que a la claridad de significado. [Venturi, 1966/1977, Ch. 1, p. 16].

En lugar del purismo estético y el minimalismo de la arquitectura moderna, Venturi abogó por una arquitectura estéticamente diversa y compleja, incluso ambigua y contradictoria, y que tampoco tiene miedo de reintroducir ornamento y decoración en sus formas y superficies. Fue así que la *Complejidad y la Contradicción* de Venturi se convirtieron en la inspiración para la arquitectura "post-moderna" que desafió abiertamente los valores estéticos del modernismo, incluso en la medida de revivir los estilos y motivos arquitectónicos históricos (véase, por ejemplo, [Jencks, 1977]). De hecho, así como algunos períodos pasados de la arquitectura han sido testigos de una "batalla de estilos" (por ejemplo, entre estilos neoclásicos y neogóticos en el siglo XIX), los últimos cuarenta años han sido testigos de una batalla similar entre aquellos arquitectos y diseñadores que han querido perpetuar mientras se desarrolla aún más el proyecto del modernismo, y aquellos posmodernistas y otros que han tratado de desafiar e ir más allá del modernismo.

Sin duda, los protagonistas en marcha del modernismo no han persistido simplemente con reproducciones del "Estilo Internacional". Como

modernistas, han insistido en que una arquitectura genuinamente moderna debe ser moderna en el sentido cotidiano del diseño de edificios que utilicen los materiales y posibilidades generados por la última tecnología; de ahí la acuñación de los términos "Modernidad tardía" y "Hi-Tech" para describir las variedades de arquitectura que han sido desveladas por esta florescencia tardía del modernismo. Sin embargo, y a riesgo de cierta crudeza de la generalización, lo que hace que esta arquitectura de la Modernidad Tardía siga siendo estéticamente moderna es la persistencia de una preferencia por la forma pura y las superficies lisas y no decoradas. Vemos esto, por ejemplo, en la arquitectura de vidrio contemporáneo, que, en su elegancia prístina y transparencia ligera, es heredera de esa tradición formalmente minimalista pionera por Mies van der Rohe. En contraste con esta arquitectura modernista contemporánea, la arquitectura "post-moderna" se caracteriza por una mezcla ecléctica de estilos de construcción — algunos "progresistas" en el sentido de que sus autores no tienen miedo de adoptar formas modernas reconocibles y, sin embargo, igualmente sin miedo a mezclarlas con ecos y motivos decorativos más tradicionales, algunos conservadores en la medida de revivir —bloqueo, stock y barril— los estilos arquitectónicos de una época pasada. La arquitectura de (por ejemplo) Michael Graves ilustra la tendencia anterior, mientras que la réplica terrazas georgianas y mansiones de Quinlan Terry son un ejemplo de este último.

Este relato se ha centrado en la escena contemporánea de la arquitectura, y es necesario añadir una breve palabra sobre los valores estéticos de la ingeniería contemporánea y la planificación urbana para proporcionar una imagen más equilibrada. En el caso de esos objetos a gran escala en paisajes urbanos y paisajes que son principalmente los productos de la ingeniería civil contemporánea, como nuevos puentes y centrales eléctricas, la forma estética de estos ha seguido siendo —quizás por razones funcionales y estéticas necesarias— para reflejar esos valores estéticos de forma geométrica pura y proporciones armoniosas que se convirtieron en la marca del diseño moderno (véase de nuevo [Billington, 1983]). Por el contrario, la situación urbanística tras los desastres del desarrollo modernista a gran escala de la década de 1960 es totalmente más compleja. Pero se pueden hacer dos generalizaciones. En primer lugar, el fracaso general de los arquitectos-planificadores modernistas para comprender y planificar con sensibilidad la mayor complejidad de las ciudades y los asentamientos humanos llevó a un cambio radical de opinión sobre la naturaleza de la planificación urbana como profesión y las cualificaciones más

adecuadas para su práctica. En particular, se demuestra que, al menos a mayor escala de la planificación de los usos del suelo y el desarrollo de ciudades y regiones enteras, los planificadores con una formación previa en geografía y/o ciencias sociales estaban mejor equipados para realizar el análisis necesario para este tipo de planificación urbana. Esta reorientación de la profesión de urbanismo lejos de la arquitectura y el diseño llevó a su vez a que se pusiera mayor énfasis en las consideraciones "sociales y económicas" (y también políticas) en el urbanismo, y a una correspondiente reducción de las consideraciones estéticas (véase, por ejemplo, [Taylor, 1998, pt. II]). En segundo lugar, en la medida en que las consideraciones estéticas siguen desempeñando un papel en la planificación urbana y la toma de decisiones sobre el desarrollo a gran escala, se puso de manifiesto un renovado énfasis en la "rehabilitación" de edificios antiguos, en lugar de su amplia reurbanización, y más en general una preocupación por la conservación urbana y la protección del medio ambiente. Esta estética más conservadora ha surgido en parte en reacción contra la planificación integral a gran escala de la década de 1960 que había barrido tan insensiblemente grandes extensiones de ciudades a las que muchos ciudadanos estaban emocionalmente unidos, y en parte como resultado de la aparición del pensamiento ecológico y el movimiento "verde" después de la década de 1960, (véase, por ejemplo, [Obispo y Phillips, 2004; Larkham, 1996]). También puede verse como resultado de una mayor politización del urbanismo como resultado de las protestas de las comunidades contra la planificación insensible de los años 50 y 60; como se señaló en la introducción, en mayor medida que la arquitectura, lo que ahora sucede en nombre de la planificación urbana es a menudo el resultado de muchas voces e intereses, en lugar de un solo diseñador creativo.

2.4 Conclusión: la importancia de los valores estéticos en el desarrollo urbano contemporáneo y la planificación

Concluiré este breve currículum de los valores estéticos que han informado a la arquitectura contemporánea y al urbanismo comentando de manera más explícita la importancia atribuida a las consideraciones estéticas en el proceso de diseño y planificación. Ofrezco tres reflexiones generales.

En primer lugar, aunque el movimiento moderno en arquitectura y planificación estaba fuertemente infundido con la retórica del "funcionalismo" y, conectado, con la noción de "diseño racional", como hemos visto, sus principales protagonistas avanzaron algunos valores estéticos claros, a saber, aquellos que

enfaticaban las virtudes "clásicas" de la geometría pura y la proporción, combinadas con una limpieza utilitaria de la ornamentación y decoración "innecesarias". No obstante, la retórica del funcionalismo y la racionalidad tuvo un impacto importante en socavar la importancia atribuida a las consideraciones estéticas en la formación de arquitectos y planificadores, y, por extensión, en el proceso de diseño arquitectónico y toma de decisiones en la planificación urbana. Por lo tanto, todavía hoy en día muchos programadores universitarios en arquitectura y planificación no contienen ningún curso separado en, o proporcionar ninguna educación sistemática en, estética. En este sentido, el proceso de diseño en la arquitectura contemporánea y la planificación urbana sigue siendo lo que Hearn [2003, Ch. 4, p. 81] ha llamado un enfoque "interior-exterior" en el que el diseño, y por lo tanto la forma exterior de las estructuras construidas se determina principalmente por las demandas anteriores de la mejor manera de acomodar las funciones internas, en lugar de por alguna idea preconcebida de cómo debería ser la forma exterior. A este respecto, la observación de Le Corbusier de que "El plan es el generador" ha llegado a pasar [Le Corbusier, 1927, pt. III, pp 44-45].

En segundo lugar, este descenso de los valores estéticos a (en el mejor de los casos) un papel subsidiario en el proceso de diseño arquitectónico contemporáneo y planificación, refleja la importancia relativamente menor, atribuida a las consideraciones estéticas ambientales en la toma de decisiones políticas, y en las sociedades desarrolladas contemporáneas en general. Así, al considerar propuestas para construir nuevas centrales eléctricas o centros comerciales, carreteras o instalaciones portuarias, el foco principal del debate en las sociedades contemporáneas tiende a ser sobre las demandas actuales o proyectadas de energía, productos de consumo, viajes y transbordo, más que en el impacto estético que las estructuras a gran escala asociadas a estas actividades, tendrán necesariamente en el paisaje. Sin duda, desde (aproximadamente) la década de 1980, el impacto "ambiental" más amplio de los desarrollos planificados a gran escala se ha convertido en una consideración cada vez más importante. Pero estas consideraciones ambientales más amplias se centran principalmente en el grado en que el nuevo desarrollo es "ambientalmente sostenible", y aquí las consideraciones principales son ecológicas, no estéticas. Pero la marginación de las consideraciones estéticas en las sociedades desarrolladas contemporáneas también está asociada con actitudes, valores y suposiciones filosóficas más profundamente arraigadas. Así, incluso cuando se reconoce que la calidad estética de nuestro entorno es

importante, con frecuencia se hace la objeción de que los juicios estéticos cualitativos son una cuestión de gusto personal "subjetivo", del cual se deduce típicamente que no puede haber normas o principios generalmente aceptados para gobernar la forma estética o el "estilo" de los grandes desarrollos. Por otra parte, y tal vez debido a su asociación con "las artes", la estética de la arquitectura y la planificación, se supone ampliamente como un "lujo" en comparación con asuntos "sociales y económicos" supuestamente más fundamentales, e incluso, debido a esto, sólo de importancia para las élites privilegiadas o la "clase media".

Y sin embargo, a pesar de estas actitudes y valores prevalecientes, casi todos los días surgen numerosos casos en los que es evidente que la gente común se preocupa enormemente por la calidad estética de su entorno y los objetos a gran escala que amenazan con alterar el carácter de los lugares. Las recientes controversias sobre el emplazamiento de los aerogeneradores en paisajes abiertos (a pesar de sus efectos ambientales, por lo demás beneficiosos) son una ilustración vívida de esta preocupación, al igual que las numerosas otras campañas que se han librado en todo el mundo desarrollado, a menudo con gran pasión, contra nuevas propuestas de desarrollo para carreteras, aeropuertos, etc., que provocan la destrucción de paisajes y paisajes urbanos preciados. Tocamos aquí una paradoja sobre este tema. Esto es que, por un lado, a menudo parece que las consideraciones estéticas en relación con el entorno construido no son muy valoradas. Y, sin embargo, por otro lado, también hay muchas pruebas —por ejemplo, de las decisiones de las personas sobre dónde vivir y llevar su tiempo libre— que sugieren que la calidad estética de los lugares es de importancia central para la calidad de vida de las personas. Ciertamente, este último ha sido revelado en algunos estudios. Así, en una investigación muy exhaustiva sobre las actitudes de las personas hacia los espacios verdes urbanos abiertos (parques urbanos) en Londres, Jacqueline Burgess y sus compañeros investigadores, demostraron que la gente de clase trabajadora ordinaria, incluidas las minorías étnicas, valoraba muy bien los placeres sensoriales y estéticos de tener acceso a espacios urbanos verdes, por lo que esto estaba muy lejos de ser una "clase media", (véase [Burgess et al., 1988]). Mientras que, entonces, los valores estéticos rara vez aparecen prominentemente en el debate público y político cotidiano, por lo que podría parecer un tema político sin importancia, en la vida cotidiana de las personas, y en numerosas campañas y formas locales de "acción comunitaria", la calidad estética del entorno

construido emerge como un asunto político más importante, y a menudo muy cargado.

3 DISEÑO DE OBJETOS A PEQUEÑA ESCALA: QUÍMICA

3.1 Introducción

La química es el estudio de las sustancias materiales, sus propiedades y, en particular, sus transformaciones químicas entre sí. El enfoque en las transformaciones químicas explica la posición bastante indefinida de la química de acuerdo con las distinciones estándar entre ciencia y tecnología [Schummer, 1997a]. Por un lado, las transformaciones químicas constituyen propiedades químicas, por ejemplo, la capacidad de reaccionar en determinadas condiciones con otra sustancia para formar una tercera sustancia, que son propiedades características de cada sustancia química. Por otro lado, este tipo de conocimientos químicos sobre sustancias permite realizar realmente estas transformaciones para crear nuevas sustancias. Desde mediados del siglo XIX, los desarrollos teóricos, sobre todo la teoría de la estructura molecular, han permitido a los químicos diseñar y sintetizar nuevas sustancias de forma regular a una velocidad tremenda, de modo que en 2006 hay alrededor de 90 millones de sustancias conocidas [CAS, 2007]. La actividad sintética, que domina la química en general, establece una clara similitud con la actividad de los ingenieros. Sin embargo, sólo una pequeña, pero creciente, fracción de síntesis química se realiza con el objetivo de proporcionar aplicaciones útiles fuera de la química. De hecho, la mayoría de las nuevas sustancias se producen en el curso de la investigación para mejorar aún más la capacidad sintética de la química tanto a nivel experimental como teórico [Schummer, 1997b; 1997c].

El estado poco claro de la química sintética, entre ser una ciencia y ser una tecnología en el sentido recibido, que recientemente se ha llamado tecnociencia, ha abierto un espacio para valores distintos de la verdad científica y el rendimiento tecnológico. La tarea de esta sección es investigar el papel de los valores estéticos en ese espacio, si y cómo han influido en las decisiones de investigación y las direcciones tanto de manera positiva como negativa desde perspectivas epistémicas y utilitarias. A diferencia de muchos estudios previos de estética en la ciencia, no empiezo con la suposición a priori de que el impacto de la estética es siempre positivo con respecto a otros valores. Si hay un impacto en absoluto, parece más probable que esto resulte en un conflicto de valores. Sin embargo, debido al estado poco claro, a veces es difícil determinar el impacto exacto de los valores estéticos en los valores epistémicos e ingeniería clásicos en

la química. Además, debido a que la química sintética está incrustada en el contexto más amplio de la química general, es útil considerar también el papel de los valores estéticos en los campos no sintéticos de la química.

Los estudios estéticos de la química todavía están en un estado rudimentario (para una primera colección de ensayos, véase Spector y Schummer [2003]). Eso contrasta con las frecuentes referencias a la estética de muchos químicos. De hecho, desde mediados del siglo XIX, los químicos han comparado con frecuencia su trabajo sintético con el de los artistas, porque al igual que los artistas y a diferencia de otros científicos naturales, crean sus propios objetos de estudio de forma regular o son inventores creativos en un sentido similar al de los artistas [Jacobs, 2006, Ch. III.4-5]. Sin embargo, tales referencias a veces hacen uso de la ambigüedad del término "arte", que comprende las bellas artes, así como la ingeniería y la artesanía. Por lo tanto, no toda referencia al «arte» implica una referencia inequívoca a los valores estéticos. Además, desde la década de 1960, cuando la justificación pública de la física de alta energía para la investigación de armas, perdió un terreno considerable, los físicos han tratado de rehabilitar su imagen pública señalando la supuesta belleza de sus teorías [Stevens, 2003]. La referencia a la belleza junto con la comparación con el trabajo de los artistas finos, se convirtió así en la retórica estándar en la popularización de la física y otras disciplinas, incluyendo la química. Para un análisis del papel de los valores estéticos en el proceso de investigación real, es necesario excluir tales esfuerzos de popularizaciones a través del embellecimiento, siempre y cuando sean, a pesar de su popularidad, sólo una fachada.

El siguiente análisis se centra en cuatro aspectos de la investigación química en los que los valores estéticos han desempeñado un papel discernible: estructuras microscópicas con un enfoque particular en la simetría (3.2), representaciones moleculares (3.3), experimentación química (3.4) y modelado matemático en ingeniería química y química física (3.5). Debido a que el conocimiento de la química no es frecuentemente común entre los lectores de mentalidad filosófica, sólo me basaré en ejemplos de investigación muy prominentes que fueron otorgados en su mayoría por los Premios Nobel. El concepto subyacente de valores estéticos y de estética en general, es intencionalmente amplio. Como principio rector, identifico los valores estéticos a través de las apreciaciones de los químicos que claramente no se basan en valores epistémicos, instrumentales o consecuente-éticos. La identificación por

exclusión tiene la ventaja de distinguir claramente los valores estéticos de otros campos de valor, lo que permite determinar su impacto mutuo.

3.2 La búsqueda de la simetría como principio de investigación guía y desorientación.

Desde la antigua Grecia hasta principios del siglo XIX, la simetría era un concepto puramente estético para describir las proporciones equilibradas, que fueron tomadas del modelo de la figura humana perfecta, tanto entre las partes de una obra de arte como entre cada parte y el todo. En contraste, el concepto moderno de simetría, que se desarrolló sólo en la cristalografía de mediados del siglo XIX [Schummer, 2006a], es una descripción matemática de las formas de acuerdo con la invariancia con respecto a ciertas transformaciones, como la reflexión en un plano espejo, la rotación alrededor de un eje en un cierto ángulo, o la traslación lateral por una cierta longitud. En este enfoque, cuanto mayor sea la simetría, más simple es la forma, lo que hace que la simetría sea una medida de simplicidad matemática. Debido a la influencia de Platón, que consideraba la simplicidad matemática una medida de la belleza natural y debido al doble significado del término "simetría", la simetría matemática se ha convertido en un criterio estético en la ciencia, a diferencia del arte y la estética? Siguiendo a Kant (Crítica del Juicio, # 22) se podría argumentar que los científicos valoran la simetría/simplicidad porque actúa su epistémico en lugar de su sentido estético. Sin embargo, en la medida en que la simetría/simplicidad no es un criterio epistémico aceptado en las ciencias experimentales, describe un valor extra epistémico y un importante principio de investigación heurística, y sólo como tal puede llamarse estética.

La simetría matemática desempeña un papel fundamental en la química para describir estructuras y moléculas cristalinas, para identificar formas de isomerismo molecular, para desarrollar modelos cuántico-químicos, para analizar resultados espectroscópicos, y así sucesivamente. Incluso hay reglas cuánticas-químicas, las reglas Woodward-Hoffman para las cuales Roald Hoffmann recibió el Premio Nobel de Química 1981, que predicen los productos de ciertas reacciones de la simetría de la orbital molecular. Sin embargo, aparte de estos usos rutinarios, la simetría es también un principio rector de la investigación al sugerir ciertas explicaciones sobre el orden natural de las sustancias o ciertas estrategias sintéticas para el diseño de nuevos productos. En estos contextos extra-epistémicos, la simetría funciona como un principio

estético que puede guiar o desviar la investigación desde un punto de vista epistémico. Tres ejemplos pueden ilustrar eso.

Uno de los campos más florecientes de la química desde finales del siglo XIX ha sido la síntesis y el estudio de complejos metálicos de transición. Estos compuestos, que durante mucho tiempo fueron descuidados porque no pertenecían ni a la química orgánica ni a la química inorgánica, han recibido particularmente atención debido a su uso potencial como catalizadores en procesos petroquímicos y producción de polímeros. En la solución líquida, su estructura es bastante inestable, por lo que son complejos en lugar de moléculas, lo que hizo muy difícil su análisis estructural. Sintetizando y estudiando cientos de estos compuestos en la década de 1890, Alfred Werner (1866-1919) puso orden en el asunto y así estableció todo el campo, por lo que finalmente recibió el Premio Nobel de Química en 1913. Dado que descubrió que otros átomos se combinan con metales de transición sólo en los números de 3, 4, 6 y 8, sugirió que estos átomos están coordinados alrededor de los metales de transición de una manera regular. Y debido a que Werner, al igual que Platón, creía que la "naturaleza" prefiere estructuras simples y simétricas, sugirió que los complejos forman poliedros regulares, por ejemplo, que la coordinación número 6 corresponde a un octaedro regular. La intuición estética de Werner resultó en gran medida exitosa en estudios posteriores de difracción de rayos X, pero las excepciones comenzaron a crecer. En un estudio teórico de 1937, Hermann A. Jahn y Edward Teller demostraron que en ciertos casos, los poliédricos regulares son inestables, de modo que las estructuras reales son poliédricos distorsionados. El resultado fue un golpe para todos los platonistas, porque sugirió que la "naturaleza" a veces prefiere la distorsión a la regularidad. Sin embargo, la elección de Werner impulsada estéticamente, ha sobrevivido como un enfoque de primer orden para la clasificación estructural que distingue entre las estructuras regulares como la norma y las distorsionadas como excepciones.

Si bien estas distorsiones no se pueden corregir por medios químicos, hay muchos otros ejemplos en los que los químicos han trabajado duro para producir la forma ideal y estéticamente preferida. El más prominente es el cristal ideal, que requiere enormes esfuerzos de purificación y recristalización, sin lograrse nunca en la práctica, debido a las impurezas restantes y efectos de entropía. El cristal ideal tiene una simetría traslacional perfecta, tal que una unidad pequeña representa todo el cristal, lo que permite la representación teórica. Además de estas ventajas teóricas, los cristales aproximadamente ideales a veces tienen propiedades distinguidas de importancia práctica. Por

ejemplo, el cristal metálico perfecto tiene la máxima conductividad eléctrica y el diamante perfecto tiene la máxima transparencia y estabilidad. Sin embargo, no existe una norma general o ley según la cual sólo los cristales ideales tienen propiedades optimizadas para las necesidades materiales. Por el contrario, artesanos como herreros y fabricantes de acero se han beneficiado durante mucho tiempo de las impurezas y defectos del cristal en sus productos. Los químicos, por otro lado, al sintetizar nuevos materiales para aplicaciones técnicas, prácticamente siempre han trabajado hacia cristales puros e ideales y luego han comprobado sus propiedades adecuadas. El enfoque de ingeniería por parte de los químicos sigue así la preferencia estética de la forma pura e ideal. Si bien eso ha demostrado ser exitoso en algunos casos, ignora y desprecia por completo todo el campo de cristales impuros, desordenados y de defectos por razones estéticas. Sin embargo, desde la década de 1970, ese campo ha sido explorado por la recién disciplina emergente de la ciencia de los materiales y la ingeniería. En particular, los materiales nanos estructurados, con defectos y trastornos de cristal en la gama de nanómetros son el campo más floreciente y prometedor, porque la adaptación de los defectos se ha convertido en un medio para adaptar propiedades sin precedentes. El ejemplo ilustra que los valores estéticos pueden ser profundamente engañosos en la medida en que te hacen ciego por oportunidades ricas, que, en este caso, fueron cosechadas por otros que ignoraron o abrazaron lo contrario de los valores estéticos.

Otro campo químico en el que la estética de las formas simétricas ha jugado un papel dominante es la síntesis de moléculas en las que los átomos de carbono se unen para formar cuerpos poliédricos o platónicos regulares. Dado que los átomos de carbono generalmente se unen con ángulos de unión de 109° , tales moléculas requieren enlaces cada vez más distorsionados si uno va de octaedro a cubo a tetraedro. Por lo tanto, tales moléculas son extremadamente inestables y difíciles de hacer, lo que requiere estrategias sintéticas sofisticadas. De hecho, muchos grupos de investigación trabajaron durante años, si no durante décadas, en la síntesis de poliédricos regulares de carbono desde la década de 1970. Era más bien como una competición deportiva, en la que el objetivo era estéticamente atractivo pero extremadamente difícil de lograr [Grahn, 1981; de Meijere, 1982; Hoffmann, 1990; Hargittai, 2000, págs. 419f.]. Aparte de la atracción estética, es cuestionable si al principio hubiera algún objetivo involucrado que no sea que, lograr el objetivo requeriría mejoras importantes en la caja de herramientas sintética para el beneficio de la química sintética. Sólo más tarde discutieron posibles spin-offs, como el uso de estos

compuestos extremadamente inestables como explosivos o como jaulas para la inclusión de iones. La fascinación estética por el poliédrico de carbono regular incluso involucró a un público más amplio en 1985 cuando Harold Kroto, Robert Curl y Richard Smalley hicieron y descubrieron una estructura de carbono estable similar a una pelota de fútbol, que llamaron Buckminster fullerene y por el que recibieron el Premio Nobel de Química 1996. Aunque eso abrió el campo de los fullerenos como una nueva clase de compuestos de carbono, para los que pronto se buscaron aplicaciones tecnológicas desesperadamente, la fascinación original era puramente estética.

En conjunto, los tres ejemplos mencionados anteriormente demuestran que la preferencia estética clásica de la simetría y las formas puras puede desempeñar papeles mixtos con respecto a los valores de investigación epistémica y funcional. Puede proporcionar una guía útil (de primer orden), como con la clasificación estructural de Werner de complejos metálicos de transición; puede ser profundamente engañoso, como con el descuido de los químicos de cristales impuros y defectuosos; y puede proporcionar orientación arbitraria para la investigación cuya utilidad debe establecerse sólo después.

3.3 Estética de las representaciones moleculares

Al igual que en otros campos de la ciencia y la ingeniería, las imágenes coloridas son hoy omnipresentes en la química, tanto en publicaciones de investigación como en presentaciones públicas. Habilitadas por las tecnologías de impresión y visualización recientemente mejoradas, estas imágenes ayudan a hacer un campo más atractivo para colegas, estudiantes y un público en general y, como tal, son herramientas de popularización. Sin embargo, las representaciones visuales de moléculas también han sido muy importantes en la investigación química, al menos desde mediados del siglo XIX. De hecho, los químicos han desarrollado sus propios lenguajes de signos que utilizan no sólo para presentaciones, sino también para su propia planificación y contemplación de la investigación. Han construido sus propios conjuntos de modelos moleculares o han utilizado imágenes estereo para representaciones tridimensionales y han adoptado con entusiasmo las últimas innovaciones, incluidas imágenes interactivas de Internet y conjuntos de realidad virtual para la comprensión visual de las estructuras moleculares.

Estas visualizaciones son herramientas necesarias en el proceso de investigación, ya que ayudan a formular preguntas y encontrar soluciones. Por lo tanto, es más que probable que los estilos gráficos y los elementos estéticos

tengan un impacto importante en las direcciones de investigación química, que la investigación sea frecuentemente estimulada por experiencias estéticas. Si bien los estudios de caso son raros en esta área, los químicos han expresado con frecuencia ideas al respecto. Hay al menos un ejemplo que ilustra que tales experiencias estéticas pueden estimular el desarrollo de un campo de investigación completamente nuevo, aquí tenemos los campos de la química supra molecular y la nanotecnología molecular [Schummer, 2006b].

Además de su fascinación por las moléculas simétricas (ver arriba), los químicos han sido particularmente cautelosos desde principios de la década de 1980 por moléculas que "parecen" como objetos ordinarios. Debido a que las moléculas son invisibles, de hecho el resultado de un enfoque modelo, que se aplica razonablemente sólo a ciertas clases de sustancias, es más bien un conjunto de imágenes moleculares que han elevado su fascinación. Estas imágenes son cautivadoras debido a su ambigüedad. Por un lado se refieren a entidades en el mundo molecular; por otro lado se refieren a objetos del mundo ordinario, como una cesta con un asa, una rueda en un eje o dos eslabones entrelazados de una cadena. Desde un punto de vista químico clásico, estos dos mundos son bastante dispares y desconectados entre sí, porque todas las propiedades moleculares que los químicos están interesados, sólo faltan en los objetos ordinarios y viceversa. Sin embargo, debido a su ambigüedad, las imágenes conectaron estos dos mundos de una manera productiva que estimuló la imaginación de combinar ambos mundos en uno. Una forma de combinar ambos mundos apareció en dibujos animados de pequeños humanos caminando y jugando con moléculas como objetos ordinarios. Otra forma era reproducir por medios químicos el mundo ordinario en miniatura. De hecho, desde la década de 1980, los químicos han imitado todo tipo de objetos del mundo ordinarios a nivel molecular, desde cosas divertidas como perros y cerdos hasta artefactos tecnológicos como engranajes, torniquetes y ascensores. Han desarrollado toda una batería de sistemas moleculares y dispositivos con diversas funciones mecánicas y eléctricas, como máquinas moleculares y circuitos. El campo así inspirado por el fenómeno estético de las imágenes ambiguas llegó a ser conocido como química supra molecular y, más recientemente, como nanotecnología molecular.

La teoría semiótica de la estética de Umberto Eco [Eco, 1962/1989] es un enfoque útil para entender la inspiración estética que ha desencadenado el desarrollo histórico [Schummer, 2006b]. Ante signos ambiguos, se instituye al intérprete a reducir la tensión de ambigüedad mediante el desarrollo de

interpretaciones nuevas, potencialmente reconciliadoras, y contemplando y revisando la forma de los signos. De hecho, el químico supra molecular no sólo ha tratado de resolver la ambigüedad reproduciendo el mundo ordinario a nivel molecular, sino que también ha desarrollado un nuevo lenguaje químico de signos tecno-mórficos que utilizan con frecuencia combinación de fórmulas estructurales clásicas. De acuerdo con la teoría estética de Eco, esto crea una nueva tensión productiva que requiere reinterpretación y revisión semiótica como un proceso reiterativo, que los químicos realizan explorando otras partes del mundo ordinario a nivel molecular y ajustando su lenguaje de señas. En la teoría de Eco, el proceso finalmente revela más sobre los intérpretes y su imaginación que sobre los signos originales. Estimados a partir de las áreas específicas del mundo ordinario, que los químicos han seleccionado para imitar a nivel molecular, los químicos revelaron una profunda fascinación por la ingeniería mecánica y eléctrica.

Las experiencias estéticas que estimularon el surgimiento de la química supra molecular y la nanotecnología molecular son difíciles de captar por la estética clásica de la belleza. Además, es difícil identificar los valores estéticos subyacentes a la fascinación estética de los químicos con ciertas representaciones moleculares. El ejemplo ilustra así que el campo de la estética en la ciencia es mucho más rico de lo que una simple estética de belleza orientada al producto sugeriría, que las representaciones intermedias y sus referencias simbólicas juegan un papel importante, y que las teorías estéticas más sofisticadas, como la de Eco, son capaces de explicar importantes dinámicas de investigación, que de otro modo seguirían siendo milagrosas.

3.4 Virtudes estéticas de la experimentación química

Los científicos utilizan con frecuencia categorías estéticas como la belleza para denotar la importancia, significación histórica o carácter modelo de ciertos experimentos, como en las diez listas principales de "los experimentos más bellos" [Freemantle, 2003]. Al hacerlo, hacen algún tipo de juicios de valor sin expresar el tipo específico de valor que significan. Con el fin de identificar el núcleo estético de tales declaraciones es útil excluir primero los valores no estéticos que con frecuencia se confunden con la belleza. Si un experimento se valora sólo porque produjo nuevos conocimientos o confirmó o refutó una teoría, el valor subyacente no es estético sino de naturaleza epistémica. Del mismo modo, la importancia o importancia histórica no es claramente una estética sino un valor instrumental, porque valora algo sólo porque ha permitido

otra cosa, por ejemplo, el desarrollo posterior o el estado actual de la técnica, que aquí solo se considera valioso por derecho propio. En términos más generales, si un experimento se valora sólo por su resultado, por ejemplo, la síntesis de una sustancia importante o alguna mejora económica, no es el experimento sino el resultado lo que importa. Esto también incluye todos los casos en los que el experimento es valorado éticamente en un sentido consecuente, por ejemplo, si ayuda a evitar el daño proporcionando información útil o reemplazando procedimientos dañinos como experimentos con animales. Si, por lo tanto, excluimos todos los valores epistémicos, instrumentales y éticos y nos centramos en el experimento en sí, es probable que cualquier evaluación adicional se guíe por valores estéticos.

Cabe recordar que en las ciencias experimentales como la química, un experimento no es sólo una prueba de hipótesis como en la física matemática, sino también un enfoque explorador bajo condiciones controladas que podrían estar relacionados, no solo con la mejora de los conocimientos teóricos, sino que con mayor frecuencia está dirigido a descubrir nuevos efectos o fenómenos, incluyendo nuevas sustancias como en la química sintética. En un libro reciente, Philip Ball ha examinado experimentos históricos en química por su apreciación estética por parte de la comunidad química [Ball, 2005] (véase también [Schummer, 2006c]). Encontró diez rasgos estéticos que se aplican tanto a experimentos particulares como a la actitud particular de los experimentadores en la realización de estos experimentos. Por analogía con la ética de la virtud, se puede hablar de virtudes experimentales que se valoran por razones estéticas en lugar de epistemológicas. Las diez virtudes de Ball y los experimentadores que las ejemplificaron son: cuantificación exacta (Johan Baptista van Helmont); atención a los detalles (Henry Cavendish); paciencia en la realización del experimento (Marie Curie); elegancia en el diseño del experimento (Ernest Rutherford); miniaturización y aceleración del experimento (varios grupos de química nuclear); simplicidad conceptual (Louis Pasteur); imaginación que trasciende los puntos de vista comunes (Stanley Miller); razonamiento simple y directo (Neil Bartlett); economía y evitar las desviaciones (Robert B. Woodward, véase también [Woodward, 1989]); y diseño conceptualmente sencillo (Leo Paquette).

Uno podría objetar que estas virtudes experimentales también se valoran por razones epistemológicas e instrumentales porque permitirían el éxito experimental. Sin embargo, incluso si permitieron el éxito experimental en los casos históricos particulares, en los que los químicos posteriores podrían

poner sus esperanzas, estas virtudes no garantizan el éxito. No existe una relación estadística lógica o probada entre las virtudes y el éxito experimental. Aún peor, algunas virtudes parecen contradecirse entre sí, por ejemplo, la imaginación que trasciende los puntos de vista comunes y el razonamiento sencillo y directo. El análisis de Ball más bien proporciona categorías para describir diferentes estilos de experimentación que han sido valorados en diferentes momentos por diferentes comunidades o grupos de investigación. Tales estilos incluyen, más allá de la metodología estándar de la disciplina, formas particulares de abordar un problema, focos particulares y cuidado en ciertos aspectos de la experimentación, y formas particulares de razonar o diseñar. Más allá de los valores epistémicos e instrumentales, los estilos experimentales cumplen con las preferencias estéticas que podrían resonar con las preferencias estéticas generales del contexto socio-histórico correspondiente.

Los valores estéticos realizan así una función intermedia en la experimentación química. Por un lado, se cree que permiten el éxito experimental, lo que los califica para valores instrumentales provisionales o epistémicos, en lugar de para valores estéticos propios. Por otro lado, debido a que estas creencias no tienen base metodológica, sino que se refieren a las preferencias estéticas generales, proporcionan orientación estética de la investigación. Si dicha orientación tiene éxito a largo plazo, los valores estéticos pueden incorporarse a la metodología estándar de la disciplina y así convertirse en valores epistémicos o instrumentales.

3.5 Valores estéticos en el modelado matemático de la ingeniería química y la química física

Existe una larga tradición platónica en matemáticas que considera la simplicidad matemática un valor estético por derecho propio. Basándose en la creencia metafísica de que la naturaleza tiene una estructura matemática simple, los físicos matemáticos han tratado de combinar la estética con la epistemología con el fin de derivar la simplicidad matemática como un criterio epistemológico en la ciencia. Por ejemplo, el profesor de matemáticas de Cambridge Paul Dirac [1963] afirmó famosamente que, para una teoría física, la belleza matemática de sus ecuaciones, su simetría algebraica es más importante que su acuerdo con los experimentos. La polémica afirmación de Dirac, refleja la tensión epistemológica particular entre la física experimental y la teórica. Su alusión a la belleza le ayudó a restar en contra de los estándares epistemológicos de las ciencias

experimentales, en favor de los estándares epistemológicos de su propio campo. Sin embargo, aparte de tales luchas epistemológicas, también hay una apreciación estética de ciertas estructuras matemáticas, en campos que utilizan modelos matemáticos de una manera más instrumentista, particularmente en ingeniería química y química física.

Un problema importante en la ingeniería química es desarrollar modelos matemáticos de procesos industriales donde los enfoques físicos estándar de análisis no funcionan por razones de complejidad, por ejemplo, el flujo de fluidos o la transferencia de calor a través de un sistema complicado que no se puede describir completamente en términos geométricos y físicos simples o que requieren demasiados parámetros con demasiadas dependencias funcionales. Un enfoque de modelado estándar para estos sistemas es el análisis dimensional. El arte del análisis dimensional consiste en combinar todos los parámetros posibles en unos pocos términos, de tal manera que todas las unidades se cancelen. Además, estos términos, que se denominan números sin dimensiones, deben tener un significado físico y ser accesibles mediante la medición de los elementos del sistema, para muchos problemas de ingeniería estándar, los datos incluso se catalogan. Si el análisis se realiza correctamente, el problema de modelado reduce maravillosamente de la complejidad pura a una ecuación simple con pocos parámetros recuperables. Esta repentina simplicidad matemática, surge con frecuencia una apreciación estética entre los ingenieros (véase, por ejemplo, Aris [1997]), que está por encima de la sospecha de epistemología platónica, porque el modelo debe ser factible en los procesos industriales. Sin embargo, como con todas las apreciaciones de la simplicidad matemática, sería un error decir que la solución del problema de modelado se guía por valores estéticos, porque reducir la complejidad matemática es en realidad el objetivo adecuado de ingeniería. En cambio, la sensación estética surge sólo, además de la satisfacción de resolver el problema.

Aparte de la simplicidad, hay otras características matemáticas que son valoradas estéticamente por los químicos. En particular, las analogías formales son candidatos prominentes. Si la estructura matemática de una ecuación es análoga a la estructura matemática de otra, esto sugiere que los dos sistemas descritos por estas ecuaciones están de alguna manera relacionados entre sí. Por ejemplo, el estudio del fenómeno de la ósmosis de las soluciones líquidas Jacobus Henricus van 't Hoff (1852-1911) derivó en 1887 una ecuación que era formalmente análoga a la ley de gas ideal y por la que finalmente recibió el primer Premio Nobel de Química en 1901. La analogía formal hizo una profunda

impresión estética en muchos químicos y lo hace todavía hoy en día (véase, por ejemplo, [Root-Bernstein, 2003, p. 36]), porque conectaba dos campos anteriormente dispares. Sugirió que las soluciones y los gases se comportan de manera similar y, por lo general, finalmente abrieron todo el campo de la termodinámica de las soluciones. Además de ser científicamente productivas, tales analogías parecen ser estéticamente satisfactorias porque sugieren una estructura holística subyacente de la naturaleza en la que, a pesar del enfoque analítico de la ciencia, todo está relacionado entre sí.

Uno de los ejemplos más impresionantes en este sentido son las relaciones recíprocas de Lars Onsager (1903-1976), por las que recibió el Premio Nobel de Química en 1966. Durante mucho tiempo se sabía que una diferencia de presión causa el flujo de materia, que una diferencia de temperatura causa el flujo de calor, y así sucesivamente para cada par de fuerzas y flujos termodinámicos. Sin embargo, al estudiar estas fuerzas y flujos con más detalle, Onsager encontró que una diferencia de presión también puede causar flujo de calor y que una diferencia de temperatura puede causar flujo de materia, y así sucesivamente para cada combinación de fuerzas y flujos termodinámicos. Además, para cada combinación los flujos son iguales, lo que se expresa matemáticamente por la igualdad numérica de los coeficientes recíprocos o por la simetría de la matriz de coeficientes. Aunque las relaciones de Onsager satisfacen la necesidad de simplicidad matemática, claramente se oponen a la idea de que la naturaleza es simple, porque cualquier flujo está ahora relacionado con cualquier fuerza, aunque de manera regular. Así, la satisfacción estética surge más bien del hecho de que, contrariamente a los enfoques analíticos anteriores, las relaciones recíprocas revelan una estructura profundamente holística de la naturaleza.

En general, parece haber dos fuentes diferentes de apreciación estética en el modelado matemático. Uno surge de una simplicidad matemática inesperada o sorprendente, que también se aplica al modelado de sistemas naturales y de ingeniería. Aparte de una inclinación a la simplificación excesiva, los valores estéticos aquí no pueden proporcionar ninguna orientación adicional de la investigación, porque lo que se valora estéticamente es al mismo tiempo la solución buscada del problema de la investigación. La otra fuente de apreciación estética parece estar arraigada en puntos de vista metafísicos de la naturaleza. Ya sea la simplicidad matemática o la constitución holística de la naturaleza, tales ideas metafísicas preconcebidas, probablemente tengan un impacto en la elección personal de aquellos campos de investigación que prometen

satisfacción estética al investigador individual. En particular, la apreciación de las estructuras análogas y holísticas parece ser epistemológicamente productiva porque la exploración de analogías con frecuencia abre nuevas perspectivas e indicaciones de investigación.

3.6 Conclusión

Tanto en la ciencia como en la vida cotidiana, la "belleza" se utiliza con frecuencia como un proxy para valores que no se pueden definir claramente. En esta sección he tratado de identificar las apreciaciones estéticas de los químicos, excluyendo las apreciaciones que se basan en valores epistémicos, instrumentales o éticos. Aunque la distinción no siempre es clara, los resultados prueban que hay un amplio espacio para los valores estéticos en diversas áreas de la investigación química. De hecho, los valores estéticos han desempeñado un papel importante en la selección y diseño de objetivos sintéticos, en el diseño e interpretación de representaciones moleculares, en el diseño y la realización de experimentos químicos, y en el desarrollo de modelos matemáticos. El impacto de los valores estéticos no siempre ha sido productivo con respecto a los objetivos epistémicos y funcionales. Particularmente la fascinación extrema de los químicos por la simetría y la pureza ha llevado a un fuerte y persistente descuido de los materiales "sucios" y desordenados, que la nueva disciplina de la ciencia de los materiales y la ingeniería ha explorado sistemáticamente en su lugar, con muchos resultados sorprendentes de importancia económica. Sin embargo, en otros campos, particularmente en la química supra molecular, la fascinación estética por las moléculas que "parecen" objetos ordinarios ha abierto todo un campo de investigación prometedor que hoy en día se llama nanotecnología. En la experimentación química, donde los valores estéticos dan forma a los estilos particulares de experimentación en forma de virtudes experimentales, la estética permite un espacio intermedio para los valores metodológicos provisionales y tentativos. En todos los casos, sean productivos o no, los valores estéticos de los investigadores individuales han sido una importante motivación de investigación.

Debido a su enfoque en la epistemología y la justificación de las teorías físicas, la filosofía de la ciencia ha descuidado durante mucho tiempo los valores estéticos en la ciencia, a menos que sean tratables como criterios cuasi-epistemológicos de ecuaciones matemáticas en la tradición platónica. Sin embargo, la investigación científica se trata de la producción de nuevos conocimientos en lugar de sobre la justificación de los viejos conocimientos, y

gran parte de los conocimientos científicos y de ingeniería se dirige en última instancia al desarrollo de productos útiles. Esto hace que la ciencia sea un escenario para una multitud de valores diferentes, incluyendo estéticos, éticos, económicos y epistemológicos, que pueden armonizar o estar en conflicto entre sí. Entender el papel de los valores estéticos en la investigación científica es, por lo tanto, esencial para la comprensión filosófica de la ciencia. Y debido a su posición poco clara entre la ciencia y la tecnología en el sentido recibido, la química es un excelente candidato para empezar.

4 DISEÑO DE OBJETOS VIRTUALES: INGENIERÍA DE SOFTWARE

4.1 Introducción

La ingeniería de software es una actividad históricamente nueva, por lo que no tiene una larga tradición estética como lo hacen las otras disciplinas de artes e ingeniería. Por lo tanto, es útil comenzar nuestra investigación estética con analogías a disciplinas más establecidas, siempre teniendo en cuenta las características distintivas del software. En este artículo dibujaré analogías principalmente de dos fuentes. En primer lugar, dado que los sistemas de software son grandes y complejos, a menudo construidos por equipos, destinados a cumplir una función útil, y capaces de causar lesiones y pérdidas económicas si fallan, dibujaré analogías de la ingeniería estructural de torres y puentes (por ejemplo, [Billington, 1983]), que comparte estas características. Esto conducirá a una exploración de la importancia práctica de la elegancia tanto para los diseñadores como para los usuarios de sistemas de software. En segundo lugar, debido al carácter abstracto y formal del software, dibujaré analogías con la estética en las ciencias exactas, incluidas las matemáticas (por ejemplo, [Heisenberg, 1975]). Aquí encontramos que la belleza depende de una interrelación armoniosa entre las partes de un todo orgánico. A continuación discutiré los medios para hacer perceptibles las cualidades estéticas abstractas, incluyendo lenguajes de programación visual y modelos basados en la realización humana. Por último, consideraré cómo podemos avanzar en la dimensión estética de la ingeniería de software.

4.2 Importancia de la estética en la ingeniería de software

4.2.1 Perspectiva del diseñador

Después de Billington [1983] podemos identificar tres dimensiones a lo largo de las cuales los diseños pueden ser evaluados: eficiencia, economía y elegancia: "las Tres E". Estos corresponden a tres aspectos de cualquier

artefacto, el científico, social y simbólico ("las Tres S", si usamos el idioma inglés). La eficiencia se ocupa de los recursos físicos utilizados por el sistema, que en el caso de los artefactos de software es principalmente tiempo de la computadora y memoria. Por lo general, hay compensaciones involucradas, con eficiencia sopesa frente a factores como la funcionalidad, la confiabilidad y la capacidad de mantenimiento. Se trata de cuestiones científicas porque se refieren a la utilización de los recursos físicos del diseño del sistema. La economía se refiere a todos los aspectos del costo del sistema, incluidos los costos de hardware y humanos, en todas las fases, incluido el desarrollo, el uso y el mantenimiento. Estos son problemas sociales porque los costos dependen de las fuerzas del mercado, los procesos sociales, las políticas gubernamentales, etc. Debido a las incertidumbres en estos factores, la economía de un diseño es más difícil de evaluar que su eficiencia, y está sujeta a cambios y contexto local. Además, no puede presumirse que todos los costes puedan reducirse a un denominador común, como el dinero, como suele ocurrir con el sufrimiento humano.

Esto nos lleva a la dimensión explícitamente estética de un diseño, su elegancia, que depende de los aspectos que Billington llama simbólico. Aunque podemos dar por sentado que se deben preferir diseños estéticamente atractivos, siendo otras cosas iguales, hay otras razones convincentes para preferir diseños elegantes, pero para entenderlos necesitamos revisar algunas de las características de los sistemas de software. (Véase también [MacLennan, 1999, págs. 156–60].)

Los sistemas de software modernos pueden ser enormemente complejos, a menudo comprenden millones de líneas de instrucciones. Incluso un editor de texto, generalmente considerado una herramienta de software básica, puede tener cientos de miles de líneas de longitud (por ejemplo, el editor de código abierto "vim 7.0" tiene aproximadamente 300 000 líneas de código fuente). El aumento constante de la complejidad del software ha sido el resultado de una serie de factores (tanto científicos como sociales), incluyendo el aumento de la capacidad y velocidad de los sistemas informáticos, las demandas de los usuarios de nuevas características e interfaces más ricas, y sistemas de la competencia con más características.

Los sistemas de software con un número tan grande de instrucciones se encuentran entre los sistemas más complejos jamás construidos, y las herramientas analíticas para entenderlos (como verificadores de programas y

generadores de pruebas) todavía son bastante limitados. La complejidad resulta en parte del hecho de que estos millones de componentes interactúan entre sí (y con otros sistemas de software y hardware) en tiempo real, y que el número de interacciones a considerar aumenta con al menos el cuadrado del número de componentes. Además, los componentes (por ejemplo, instrucciones informáticas) están muy alejados de los objetos físicos y las interacciones para las que tenemos una base intuitiva para la comprensión (por ejemplo, los componentes físicos y las interacciones de un sistema mecánico). Por lo tanto, nuestra intuición se desvía, y nuestras herramientas analíticas hacen poco para anclarla.

Cada análisis hace que la idealización de simplificaciones, y en general sea más complejo el sistema; mayor será la simplificación en su análisis. En el caso de los sistemas físicos, por ejemplo, podemos suponer que la dinámica es lineal, porque eso simplifica el análisis matemático (o lo hace factible), aunque sabemos que no es lineal. En el caso de un sistema de software, podemos suponer que se pueden añadir dos números y que el resultado será correcto, aunque sabemos que la aritmética informática es limitada en rango y precisión. Del mismo modo, podemos suponer que los procesos de entrada-salida y otros servicios del sistema funcionarán correctamente y se completarán dentro de las restricciones en tiempo real.

Es importante darse cuenta de que la simplificación es una limitación inherente en el análisis de sistemas complejos, ya que se supone que un análisis separa las características relevantes del sistema, para que podamos entenderlas mejor (con nuestras capacidades cognitivas limitadas), de las características irrelevantes (que pretendemos ignorar). Por lo tanto, la validez y utilidad de un análisis depende de las decisiones (a veces tácitas) en cuanto a lo que el análisis debe incluir u omitir, que se derivan de suposiciones (a menudo inconscientes) en cuanto a lo que es relevante o irrelevante. Además, dado que las capacidades cognitivas humanas son limitadas, cuanto más complejo es un sistema, más debe omitirse de su análisis para que el análisis en sí no exceda nuestra comprensión. Por lo tanto, existen limitaciones inherentes al análisis de sistemas muy complejos, como los sistemas de software modernos.

Problemas similares surgen en la ingeniería estructural, y Billington observa que los mejores ingenieros estructurales se guían tanto por la estética como por el análisis matemático. En diseños elegantes las disposiciones de masas y fuerzas se manifiestan en el diseño, y por lo tanto los diseños que se ven

bien (se ven equilibrados, seguros, estables, etc.) corresponden a los diseños que son seguros, eficientes y económicos. Por ejemplo, aunque se utilizó un extenso análisis matemático en el diseño del puente Tacoma Narrows, se derrumbó cuatro meses después de que se completó porque no se había incluido estabilidad aerodinámica en el análisis (no se consideró relevante). Por el contrario, los puentes anteriores, diseñados sin el beneficio de modelos matemáticos complejos pero de acuerdo con los principios estéticos, eran aerodinámicamente estables. ¿Cómo es posible que una buena estética pueda conducir a una buena ingeniería?

Billington observa que en la ingeniería estructural, los diseños están poco determinados, es decir, hay muchos diseños que resolverán un problema de ingeniería estructural particular, como puentear un determinado río (véase también [Ferguson, 1992, p. 23]). Por lo tanto, a diferencia de la máxima arquitectónica de Louis Sullivan, la forma sigue la función, lo que sugiere que el diseño está fuertemente determinado por su función, Billington argumenta que la máxima de ingeniería estructural más apropiada es la función sigue la forma, porque hay muchas estructuras que lograrán una función particular. Los mismos argumentos son aún más aplicables en la ingeniería de software, en la que normalmente muchos diseños de software diferentes satisfarán los requisitos del sistema. Por lo tanto, en la ingeniería de software tenemos una gran libertad en la elección de soluciones a un problema de software.

En particular, los ingenieros de software (como los ingenieros estructurales) pueden optar por trabajar en una región del espacio de diseño en el que la experiencia ha demostrado que los diseños que se ven bien de hecho son buenos (por ejemplo, seguros, eficientes y económicos). En el caso de torres y puentes, tales diseños hacen que la interacción de las fuerzas se manifieste, para que los diseñadores (y, como veremos, los usuarios) puedan percibirlos claramente. Dado que el juicio estético es un proceso cognitivo altamente integrador, combinando la percepción de las relaciones sutiles con la interpretación intelectual y emocional consciente e inconsciente, se puede utilizar para guiar el proceso de diseño formando una evaluación general de las innumerables interacciones en un complejo sistema de software.

La discusión hasta ahora se ha centrado en los aspectos cognitivos de la estética, ya que un sistema de software elegante es más fácil de entender y se puede diseñar de forma más fiable que uno no elegante. Por lo tanto, hay razones prácticas de ingeniería para luchar por la elegancia. Sin embargo, la

estética también juega un papel menos tangible, que puede llamarse ético, ya que un diseño también simboliza un conjunto de valores morales. Específicamente, si un diseñador está buscando un diseño elegante, entonces están siendo guiados por un conjunto de valores estéticos (que implican valores de ingeniería en el subconjunto elegido del espacio de diseño). Un diseño puede ser robusto o delicado, de repuesto o rico en características, directa o sutil, ad hoc o general, y así sucesivamente, y los valores ejemplificados en el diseño invocarán extensiones y modificaciones coherentes con esos valores. Al mantener ciertos valores, encarnados en la estética del diseño, ante los ojos de los diseñadores, estos valores se mantendrán en su atención y persistirán como objetivos conscientes. Por el contrario, los valores incompatibles con la estética, o no ejemplificados por ella, tenderán a retroceder en el fondo de la mente de los diseñadores, y estarán sub-representados en el diseño. Por lo tanto, un sistema de software puede encarnar un carácter ético-estético coherente, que es difícil de afirmar en palabras, pero puede guiar al ingeniero estéticamente sensible.

La apreciación estética puede unir una organización de desarrollo de software a través de un conjunto común de valores encarnados en un sentido compartido de elegancia. Podemos ver un papel similar para la estética entre matemáticos y científicos teóricos, que se esfuerzan por pruebas y teorías que son elegantes. Por ejemplo, Heisenberg [1975, p. 176] dice que la ciencia "también tiene un aspecto social y ético importante; para muchos hombres que pueden tomar parte activa en ella. Los científicos, dice, son como los maestros albañiles que construyeron las catedrales medievales, porque "estaban imbuidos en la idea de belleza que planteaban las formas originales, y se vieron obligados por su tarea, a llevar a cabo un trabajo exacto y meticuloso de acuerdo con estas formas" (ib.). Al igual que las catedrales y las teorías científicas, los grandes proyectos de software son el resultado de los esfuerzos de muchas personas, y los estándares estéticos proporcionan criterios por los cuales las contribuciones individuales pueden ser evaluadas objetivamente (ibíd.).

Así, en la ingeniería de software, como en matemáticas y ciencias teóricas, se requiere corrección, pero entre las soluciones correctas, se prefieren las más elegantes. (La educación de matemáticos y científicos teóricos también proporciona modelos de cómo se podría aprender un sentido compartido de la elegancia del software.) Por lo tanto, un sentido estético compartido puede unir a un equipo de ingeniería de software en un propósito común.

4.2.2 Perspectiva del usuario

Hasta ahora, he subrayado la importancia de la estética para los diseñadores de artefactos de software, pero también es importante para los usuarios. En la economía de la información moderna, muchas personas pasan gran parte de su vida laboral interactuando con uno o algunos sistemas de software (por ejemplo, un procesador de textos, un sistema de bases de datos o un sistema de reservas); además, en su tiempo recreativo, las personas pueden estar comprometidas con el mismo u otros artefactos de software (por ejemplo, un navegador web o un juego de computadora). Por lo tanto, la estética externa de los sistemas de software puede tener un efecto significativo en la calidad de vida de muchas personas. Otras cosas (como la funcionalidad) siendo iguales, la mayoría de la gente preferiría trabajar con una herramienta hermosa que con una fea.

Además, para muchas personas el ordenador no es simplemente una herramienta en una ocupación de otra manera no computarizada; más bien, el ordenador y su software constituyen, en gran medida, toda la ocupación. En estos casos, el sistema de software define el entorno de trabajo de forma fundamental que el espacio de trabajo físico. Por lo tanto, la estética de los sistemas de software merece al menos tanta atención como la debida a la arquitectura, decoración, etc. (Desde esta perspectiva, muchos programas contemporáneos son el equivalente de software de los talleres de sudor: desordenados, peligrosos, feos, alienantes y deshumanizantes). A medida que la arquitectura se ocupa de la funcionalidad y la estética del espacio físico, organizándolo para la practicidad y la belleza, por lo que los ingenieros de software organizan el espacio cognitivo (o virtual) hacia los mismos fines. Por lo tanto, la estética del software puede tener un efecto importante en la calidad del trabajo y la calidad de vida.

Un diseño de software elegante también puede promover el uso seguro del sistema, ya que eventualmente los usuarios adquirirán un sentido estético del espacio de diseño y llegarán a reconocer que los diseños que se ven bien también son funcionalmente buenos. Como es bien sabido, muchas personas se acercan al software con miedo, y parte de este miedo surge del hecho de que el software es impredecible (para ellos, pero a menudo también para los diseñadores!). Sin embargo, en el software de diseño elegante, la interacción dinámica de las partes se manifiesta en la forma externa, por lo que la comprensión estética de la forma puede guiar la comprensión del usuario del funcionamiento del sistema. Por lo tanto, como en matemáticas y ciencias teóricas, el objetivo es que, la belleza coincida con la inteligibilidad, para

entonces los usuarios (así como los programadores) experimentarán placer a través de la comprensión. Esto es posible tanto para la belleza como para la inteligibilidad se basan en la interrelación de las partes (Sección 4.3; cf. [Heisenberg, 1975, pp. 169–70]).

Es bien sabido que la capacidad de las personas para utilizar dispositivos tecnológicos con placer, confianza y fluidez depende de su capacidad para construir un modelo cognitivo o conceptual del comportamiento del dispositivo [Norman, 1988, Ch. 7; 1998, Ch. 8; 2005, Ch. 3]. Un modelo cognitivo eficaz de un sistema no es necesario para reflejar su estructura interna real u operación, pero debe ser lo suficientemente preciso como para no engañar al usuario (lo que resulta en una pérdida de confianza y en la frustración). Al implicar una estructura dinámica inteligible, un diseño elegante puede ayudar al usuario a formar un modelo cognitivo eficaz. Por lo tanto, un diseño elegante ayuda a los usuarios a entender un sistema de la misma manera que ayuda a la de los diseñadores del sistema.

Del mismo modo, al igual que para los diseñadores, la estética de un diseño tiene una dimensión ética y ejemplifica ciertos valores a la exclusión de otros, por lo que también la estética del diseño tiene implicaciones éticas para los usuarios. Al menos, al hacer algunas prácticas fáciles y otras incómodas, y al poner algunas preocupaciones en primer plano dejando otras en segundo plano, el aspecto externo del sistema influirá en su uso. En efecto, esta no neutralidad es una característica inevitable de la fenomenología de todas las herramientas [Ihde, 1986, Chs. 5, 6; 1993; MacLennan, 1999, págs. 33–35]. Sin embargo, además de esto, es la dimensión simbólica, ya que al ejemplificar normas estéticas particulares, el sistema las mantiene ante los ojos de los usuarios, y aumenta la probabilidad de que se guíen por estas normas en su propio trabajo.

Por último, hay un aspecto social para los usuarios de un diseño elegante tal como lo hay para los diseñadores. A medida que los usuarios aprecien la belleza de un diseño elegante, desarrollarán una apreciación por sus principios estéticos y esperarán una elegancia similar en otros sistemas de software. Por lo tanto, los usuarios (y consumidores) de los sistemas de software se incluyen en un bucle de retroalimentación que fomenta el desarrollo de software elegante y desalienta a los no elegantes. Esto acelerará el desarrollo de software que sea eficiente, económico, confiable y un placer de usar. (Billington señala el papel de un público con educación estética en la mejora del diseño de puentes en Europa.)

4.3 Inteligible

Todas las artes tienen sus características formales y materiales, pero la ingeniería de software es excepcional en el grado en que las consideraciones formales dominan las materiales. Todos los problemas más fundamentales en la ingeniería de software (por ejemplo, corrección, eficiencia, comprensibilidad, mantenimiento) dependen principalmente de las características formales del programa y sólo en segundo lugar de su realización material (es decir, el efecto del hardware en el software). Claramente, el hardware no puede ser ignorado (especialmente en los casos en los que la ingeniería se lleva a sus límites), pero en las consideraciones generales de hardware son secundarias y a menudo una idea posterior.

La ingeniería de software es una nueva disciplina y por lo tanto no tiene una tradición estética bien establecida. Podemos buscar sugerencias y analogías en otras artes, pero la falta de realización material esencial del software implica que las cualidades perceptivas no tendrán un papel tan grande como lo hacen en las otras artes. Más bien, las consideraciones estéticas en la ingeniería de software serán comparables a las de matemáticas y ciencias teóricas.

De hecho, las discusiones sobre la estética de las matemáticas y la ciencia teórica a menudo se centran en cualidades tales como la corrección (consistencia o adecuación empírica), la generalidad, la simplicidad y la belleza (abstracta), y las mismas cualidades son fundamentales para la evaluación estética del software. (Véase, por ejemplo, [Curtin, 1982; Farmelo, 2002, Pref.; King, 2006; Wechsler, 1988].)

La ciencia intenta comprender una multiplicidad de fenómenos bajo un único principio, expresado como una relación matemática simple y elegante entre las ideas abstractas. Más comúnmente, los fenómenos son relaciones dinámicas y procesos que evolucionan en el tiempo, y así, como explica Heisenberg (en el caso de la mecánica newtoniana, "Las piezas son procesos mecánicos individuales... Y el conjunto es el principio unitario de la forma que todos estos procesos cumplen [y que se expresa] en un simple sistema de axiomas" [Heisenberg, 1975, p. 174]. En la ciencia, entonces, como en el arte, "La belleza es la conformidad adecuada de las partes entre sí y con el todo" (ib.).

Los objetivos del ingeniero de software son similares a los del científico en que ambos están tratando de dar una descripción abstracta estática de los procesos materiales y las interacciones que tienen lugar en el tiempo. Una

diferencia, por supuesto, es que el científico está tratando de describir fenómenos naturales, mientras que el ingeniero está tratando de diseñar una estructura estática (programa) que generará las interacciones temporales deseadas.

A medida que los procesos mecánicos son descritos por los axiomas de la mecánica newtoniana, por lo que un programa, supeditado a eventos externos, describe un conjunto de posibles secuencias de ejecución. Las secuencias de ejecución individuales son las partes con respecto al conjunto infinito de todas las secuencias, para lo cual el programa proporciona una definición intensiva (finita). La belleza, entonces, reside en la conformidad de las secuencias de ejecución entre sí y con el programa. Deben formar un conjunto armonioso (extensión) y tener una simple relación con el programa (intensión). Para programas elegantes las posibilidades dinámicas (extensión) serán fáciles de visualizar desde la forma generativa (intensión). Los ingenieros tendrán una comprensión intuitiva confiable de las consecuencias de su diseño. Por el contrario, al diseñar un programa, los ingenieros de software tienen en mente ciertas secuencias de ejecución deseadas, y tienen que expandirlas en sus mentes en un conjunto infinito coherente de secuencias posibles (conformidad de las piezas entre sí). De esta multiplicidad de posibles dinámicas necesitan derivar una forma generativa estática finita y unificada (conformidad de las partes con el todo). La belleza reside en la simplicidad, la armonía, el orden y la simetría de estas relaciones, que suscitan una apreciación intelectual y estética simultánea.

4.4 Belleza visual

La belleza sensiblemente perceptible es un medio para la aprehensión de la belleza intelectual de las formas abstractas. Por lo tanto, consideraré brevemente el papel de la belleza visual en el diseño de software. La visión es nuestra modalidad sensorial más rica, y por lo tanto no es de extrañar que las representaciones visuales hayan desempeñado un papel esencial en el desarrollo de la ingeniería, en el diseño de ingeniería y en la educación en ingeniería [Ferguson, 1992]. En particular, la evaluación estética de los diseños se ve favorecida por tales "herramientas de análisis visual" como curvas características, que proporcionan representaciones visuales memorables y comprensibles de las relaciones de las variables relevantes, y estáticas gráficas, que ofrecen una evaluación intuitiva de las fuerzas relativas en una estructura [Ferguson, 1992, ch. 5]. ¿Existen medios comparables para visualizar las estructuras abstractas pertinentes en el software? Los Lenguajes de Programación Visual (VPV o LPV en español), en los que los programas se

representan como figuras bidimensionales en lugar de texto, se han investigado desde los primeros días de la informática electrónica (por ejemplo, AMBIT/G, SKETCHPAD) y se siguen desarrollando LPV (por ejemplo, Alice, StarLogo TNG), especialmente para la enseñanza de programación introductoria (por ejemplo, [Eades y Zhang, 1996; Stasko, et al., 1998]). En estos lenguajes, las relaciones formales entre las partes del programa se representan como relaciones espaciales entre formas visuales. Los primeros LPV representaban programas como diagramas de flujo, en los que los bordes de conexión representaban posibles rutas de flujo de control, pero después de la introducción de la programación estructurada alrededor de 1970 se hizo más popular para representar visualmente la estructura jerárquica del programa, que refleja tanto la organización lógica como dinámica de un programa estructurado. A menudo, las representaciones visuales de la estructura jerárquica del programa toman la forma de algún tipo de diagrama de árbol. A veces se trata de gráficos, en los que las hojas representan componentes de programa atómicos (instrucciones de lenguaje de programación individual), los nodos interiores representan componentes de programa compuestos y los bordes conectan componentes compuestos a sus componentes inmediatos. Un estilo más reciente, facilitado por la mejora de las capacidades gráficas por ordenador, representa los componentes del programa por formas bidimensionales que recuerdan a las piezas del rompecabezas, que se pueden entrelazar sólo de acuerdo con la sintaxis del lenguaje de programación (por ejemplo, Alice, StarLogo TNG).

Las representaciones visuales de la estructura jerárquica del programa parecen ser ideales como un medio para el diseño elegante del programa, y son ciertamente superiores en este sentido a los diagramas de flujo. Al representar las relaciones abstractas espacialmente, crean una correspondencia entre los dominios de las formas abstractas y de las formas espaciales, y facilitan la percepción visual (y la apreciación estética) de estructuras bien organizadas, simétricas y equilibradas; es decir, la belleza coincide con la inteligibilidad. Desafortunadamente, en la práctica estas representaciones visuales tienen limitaciones, ya que incluso los módulos de programa pequeños pueden estar bastante anidados (y se puede argumentar que, para módulos muy pequeños la representación visual no es importante). Como consecuencia, las representaciones visuales pueden ser bastante grandes en cualquier dimensión que represente la profundidad de anidamiento. Debido a las limitaciones de la percepción visual humana y el práctico tamaño de la pantalla del ordenador, nos enfrentamos a las alternativas indeseables de mostrar toda la estructura, pero con muchos componentes diminutos, que son difíciles de discernir, o de mostrar sólo una parte de la estructura a la vez y tener que utilizar dispositivos como la panorámica y el zoom para explorar la estructura secuencialmente. Tampoco es propicio para el reconocimiento Gestalt de la estructura del programa, o para

una comprensión intelectual intuitiva y la apreciación estética del mismo. Tal vez el problema es que los LPV dan lugar a una representación demasiado literal de la estructura del programa en forma perceptible, y que una expresión estéticamente satisfactoria del diseño requerirá una representación menos literal.

4.5 Encarnación

Fishwick y sus colegas han explorado un enfoque más metafórico de la estética de la programación (por ejemplo, [Fishwick, 2002]). Observando que los gráficos están "en gran medida carentes de textura, sonido y contenido estético", busca hacer que el software sea "más útil, interesante y completo" mediante un enfoque que comienza con un modelo; este es el "paso artístico digno de la artesanía". El modelo pretende ser la representación habitual del diseño del software, el programa textual que se relega a un estado secundario, marginado comparable al lenguaje ensamblador. Sin embargo, dado que la mayoría de los conceptos de software son abstractos y no tienen correspondientes del mundo real, están representados metafóricamente. Por lo tanto, una vez determinado el modelo, una estética debe ser elegida como base para las metáforas. Por ejemplo, si se eligiera la arquitectura, las relaciones de control-flujo abstractas en el programa podrían representarse mediante pasillos en un edificio a través del cual se mueven los avatares. Observe que tal representación metafórica recluta nuestra comprensión encarnada del espacio físico y el movimiento para mejorar nuestra comprensión del programa (ver más abajo). Del mismo modo, nuestra comprensión estética del espacio arquitectónico guía el diseño del programa y nuestra apreciación estética e intelectual del mismo. El modelo metafórico es la representación principal del software, que se convierte en un objeto de expresión estética y apreciación, enriqueciendo así la experiencia del software. Fishwick señala que, incluso los lenguajes de programación visual tridimensional tienden a utilizar iconografía simple en lugar de objetos sensiblemente ricos: "Uno es estéticamente cuestionado y platónico, mientras que el otro promueve el atractivo sensorial familiar". [Fishwick, 2006] contiene contribuciones recientes a la informática estética ("el impacto y los efectos de la estética en el campo de la computación", pág. 3).

Los recientes avances en la psicología han iluminado el papel esencial desempeñado en la cognición mediante la realización, confirmando así las ideas de la filosofía fenomenológica y la psicología (por ejemplo, [Gibbs, 2006]). Gran parte de nuestra comprensión del mundo está arraigada en nuestras

capacidades motoras de sensores, tanto las que forman parte de nuestra herencia genética, como las que se adquieren, especialmente en la primera infancia. De hecho, Lakoff y Núñez [2000] han argumentado que nuestra comprensión, incluso en dominios abstractos como las matemáticas se basa en una red de metáforas interrelacionadas basadas en las habilidades motoras de los sensores. Por ejemplo, en un nivel intuitivo, los conjuntos abstractos se entienden como contenedores físicos, trayectorias abstractas como rutas a través del espacio físico, etc.

Todos los seres humanos tienen un enorme repertorio de habilidades motoras de sensores, y es normal sentir placer cuando actúan con habilidad, competencia y fluidez, y estar insatisfechos de otra manera; esto es parte del mecanismo de retroalimentación que aumenta el alcance y la profundidad de nuestras habilidades. Por lo tanto, en la medida en que las interacciones de los usuarios con un sistema, como un programa, se realizan a través de un repertorio existente de habilidades motoras de sensores, se sentirán competentes y satisfechos cuando lo utilicen. De esta manera, la apreciación estética surge de la correspondencia entre las habilidades encarnadas de las personas y la interfaz motora del sensor y la estructura abstracta del sistema, que es un tipo diferente de resonancia o congruencia entre el sistema y las estructuras cognitivas humanas.

Por lo tanto, la apreciación estética y la satisfacción se mejorarán si un sistema y sus partes, incluida la interfaz, se comportan de forma similar al mundo físico, incluidos los objetos y procesos que son familiares para la mayoría de las personas. Por ejemplo, si cuando tiramos o arrastramos un objeto en la pantalla de una computadora se comporta de manera similar a un objeto físico (por ejemplo, en términos de estiramiento o inercia), entonces nuestras habilidades motoras del sensor se involucrarán, y nuestra hábil manipulación será placentera [Karlsson y Djabri, 2001].

4.6 Aplicación de principios estéticos en la ingeniería de software

Las observaciones anteriores se han limitado a esbozar un enfoque de una teoría estética apropiada para la ingeniería de software, por lo que valdrá la pena decir un poco sobre cómo una teoría de este tipo podría desarrollarse aún más. Podemos progresar en cuatro actividades simultáneas, que podemos llamar experimento, crítica, teoría y práctica.

Experimento se refiere al aprendizaje por medio de la práctica autoconsciente del arte del diseño del programa y la evaluación empírica de los resultados. Para que esto sea eficaz, los ingenieros de software deben ser conscientes de los problemas estéticos durante el diseño, y deben evaluar la estética de los diseños resultantes como experimentados por ellos mismos y otros (evaluados fenomenológica y estadísticamente). Toda esta actividad presupone una mayor conciencia estética en los programadores.

La crítica juega un papel importante en todas las artes, más obviamente para proporcionar al público en general evaluaciones estéticas, pero más importante aún para hacer que diversos problemas estéticos sean destacados, lo que influye en la sensibilidad estética tanto de los productores como de los consumidores de arte. Incluso cuando los artistas no están de acuerdo con la crítica, se les anima a defender sus opciones estéticas con palabras o argumentos. Por lo tanto, la crítica proporciona un importante bucle de retroalimentación que puede mejorar la calidad artística. Para lograrlo necesitamos más crítica estética publicada del software, tanto por su apariencia y comportamiento externo, como por su estructura interna y diseño, centrándonos en la estética en ambos casos.

La teoría se refiere al uso de resultados de investigación de la neuropsicología cognitiva y campos aliados, que continuarán proporcionando información sobre las cualidades que, hacen algo simultáneo, intelectualmente comprensible y estéticamente agradable (es decir, elegante). La comprensión teórica contribuye explicando los resultados de experimentos estéticos anteriores, y sugiriendo otros nuevos. A pesar de todo lo anterior, el arte del diseño de programas no es ni un cuerpo de teoría ni un conjunto de reglas de diseño; más bien, es una práctica. Tanto la larga historia del debate estético como la analogía de las consideraciones estéticas en matemáticas y las ciencias exactas sugieren que la belleza es un concepto ilusorio. Por lo tanto, en la programación como en las otras artes, mientras que muchos principios estéticos pueden ser declarados explícitamente, otros deben permanecer implícitos y esencialmente encarnados en las prácticas de los artesanos calificados.

5 CONCLUSION

Como se mencionó en la introducción, los tres campos de ingeniería han sido seleccionados para representar diferentes modos con respecto al tamaño y la visibilidad de sus respectivos productos de ingeniería, desde a gran escala hasta objetos virtuales. En conclusión podemos preguntarnos cómo afecta esto

al papel de la estética en el proceso de diseño, si las diferencias estéticas corresponden a este orden, y si hay características estéticas comunes en todos los campos.

Debido a que la estética de la ingeniería todavía está en su infancia y lejos de ser un campo canonizado, los autores de las secciones anteriores han discutido cada uno su dominio de ingeniería desde un ángulo personal, de tal manera que uno debe tener cuidado con las generalizaciones prematuras. Sin embargo, si pasamos de la ingeniería de gran escala a objetos virtuales, hay cuatro tendencias en el énfasis estético, algunas de las cuales son obvias y menos sorprendentes, sin embargo, con importantes excepciones. La primera tendencia es la importancia decreciente que la experiencia estética esperada por los consumidores juega en el proceso de diseño. Por supuesto que es una observación trivial, porque cuanto menos visible y comprensible es la estructura del producto por los consumidores, menos necesidad tienen los ingenieros la experiencia estética de los consumidores en su proceso de diseño. Como consecuencia, las consideraciones estéticas están menos relacionadas con los discursos estéticos generales, lo que permite a los ingenieros desarrollar sus preferencias estéticas específicas de una manera reflejada o inconsciente. En la química, que ocasionalmente ha llevado a esfuerzos de popularización desafortunados en los que los químicos elogiaron públicamente la supuesta belleza de sus moléculas, que, sin embargo, nadie más fue capaz de comprender. En cambio, para gran parte del público en general, los productos químicos, como los plásticos, se han convertido en un símbolo de lo sintético, artificial y antinatural, si no del modernismo excesivo, que por razones estéticas por sí solo, han ser rechazados, independientemente de su estructura molecular. La ingeniería de software parece ser la excepción a la regla, ya que, como argumenta Bruce MacLennan en la Sección 4.2.2, la estructura de software, que es estéticamente preferida por los ingenieros, es al mismo tiempo el software que los usuarios disfrutan estéticamente más debido a su transparencia e inteligibilidad.

La segunda tendencia, igualmente menos sorprendente, es que, si se pasa de la ingeniería de grandes objetos visibles a la de los objetos virtuales, el papel estético de la experiencia sensorial primaria disminuye. La segunda tendencia se ve compensada, sin embargo, por la tercera tendencia de la creciente importancia y el uso cada vez más deliberado de herramientas y medios de representación, que se convierten en los principales objetos de experiencia sensorial para los ingenieros en el proceso de diseño y al mismo

tiempo, mueven el impacto de los valores estéticos al estado de investigación temprana. La creación y selección de herramientas y medios de representación implican opciones estéticas y preferencias que guían y dan forma al proceso de investigación y diseño y a sus productos finales. En la arquitectura, el efecto podría ser observable en ligeros cambios de diseño debido al reciente cambio de los tableros de dibujo a los programas de diseño asistidos por ordenador. En química, la creación y el uso de modelos moleculares es tan influyente que puede inspirar campos de investigación completamente nuevos (Sección 3.3). Los ingenieros de software incluso han avanzado un paso más al emplear deliberadamente la última comprensión psicológica de nuestras capacidades motoras de sensores para construir varios modelos metafóricos, como espacios físicos, para la representación del software en el proceso de diseño (Sección 4.6). Lo que parece estéticamente preferible en el modelo metafórico se traduce así en decisiones sobre la estructura abstracta preferida del software.

La cuarta tendencia se refiere a la relación entre los valores estéticos y epistemológicos. En arquitectura y urbanismo, la conexión está menos presente, en parte porque la arquitectura se ha alejado más del discurso epistemológico. Sin embargo, desde la arquitectura antigua, como lo ejemplifica Vitruvio, hasta la arquitectura renacentista y modernista, particularmente en las obras de Le Corbusier, había lazos mucho más fuertes, ya que las proporciones matemáticas figuraban prominentemente no sólo como ideales estéticos, sino también como pautas epistémicas para ajustar las construcciones a la naturaleza humana. En química los valores estéticos asumen con frecuencia el papel de criterios proto-epistemológicos, es decir, guían las decisiones epistemológicas en caso de indeterminación epistemológica y, si resultan tener éxito a largo plazo, podrían incorporarse al canon estándar metodológico (Sección 3.4). Por último, en la ingeniería de software, al menos en la estética sugerida por Bruce MacLennan (Sección 4), los valores estéticos y epistemológicos se fusionan para formar una base común para evaluar la calidad del software.

Una característica común en las tres áreas de la ingeniería discutidas en este artículo es el papel prominente, aunque ligeramente diferente, que la estética clásica, con su énfasis en la pureza matemática y la claridad conceptual, todavía juega hoy en día. Esto es quizás menos obvio en la arquitectura y la planificación del paisaje urbano; pero, como argumenta Nigel Taylor en la Sección 2, los debates estéticos contemporáneos en la arquitectura siguen estando profundamente influenciados por el modernismo de principios del siglo XX y su preferencia estética de la forma geométrica pura y la clara expresión de

la función, que los enfoques posmodernistas han tratado de superar. Como pautas para identificar y diseñar el entorno humano "ideal", estos valores estéticos clásicos ciertamente han fracasado en los excesivos proyectos modernistas de la planificación del paisaje urbano posterior a la Segunda Guerra Mundial. Si bien la estética clásica ha sido debatida, y periódicamente aceptada y rechazada, en arquitectura durante más de dos mil años, los químicos descubrieron estos valores estéticos recientemente. Al igual que con los excesos del modernismo arquitectónico, la obsesión de los químicos por la simetría geométrica y la pureza, ha llevado a muchos conceptos erróneos y al descuido casi total de los materiales "impuros", que otros han cosechado con mucho éxito en su lugar (Sección 3.2). En el diseño de objetos virtuales, la ingeniería de software ha heredado mucho de las matemáticas hasta el punto de que el ideal clásico de "belleza coincidiendo con la inteligibilidad" se vuelve significativo tanto como los criterios de belleza están relacionados con las características matemáticas de las estructuras abstractas.

Otra característica común en los tres campos de la ingeniería es el descuido de los tratamientos explícitos y las investigaciones serias de la estética, aunque por diferentes razones. En la arquitectura y la planificación del paisaje urbano, que uno esperaría hacer uso de su larga tradición estética, el abandono es en gran parte un patrimonio de la actitud "antiestética" del funcionalismo de principios del siglo XX. Además, como señala Nigel Taylor (Sección 2.4), el paso más reciente de la planificación urbana hacia el ámbito político ha llevado a la paradoja de que los aspectos estéticos, aunque muy valorados por los ciudadanos, sean difíciles de articular en el proceso de decisión política. En química, la falta de investigaciones estéticas serias, está de acuerdo con un descuido general de la química, si no la quimiofobia, por la mayoría de los humanistas, que los químicos por otro lado, son propensos a aumentar en lugar de superar por los esfuerzos de popularización que se refieren a la belleza. En la ingeniería de software, el abandono parece deberse en gran medida a la juventud de la disciplina, ya que, como subraya Bruce MacLennan (Sección 4.2.1), el uso de criterios estéticos es cada vez más necesario debido a la creciente complejidad y funcionalidad bajo determinación de productos de software.

El descuido de las consideraciones explícitas de la estética en la ingeniería, coincide así con la riqueza de los valores estéticos y su fuerte impacto en el proceso de diseño de ingeniería en diversas etapas, conscientemente o no. Dado que el impacto estético puede ser productivo y contraproducente con

respecto a los valores puramente funcionales, como han ilustrado muchos ejemplos en este capítulo, incluso el ingeniero o filósofo con mentalidad más funcionalista podría convencerse fácilmente de la necesidad de investigaciones más serias acerca de la estética en la ingeniería.

RIESGO Y SEGURIDAD EN LA TECNOLOGÍA

Sven Ove Hansson

1 INTRODUCCION

El riesgo es omnipresente en la tecnología, y la seguridad ha sido una preocupación central de la ingeniería, siempre y cuando haya habido ingenieros. En los códigos de ética de la ingeniería, se enfatiza fuertemente la responsabilidad del ingeniero en la seguridad de los trabajadores y del público.

Este escrito comienza con una sección sobre la definición de términos clave en riesgo tecnológico y seguridad. Después de eso, siguen dos secciones que describen los dos enfoques principales y complementarios para el riesgo tecnológico y la seguridad: ingeniería de seguridad (sección 3) y análisis de riesgos (sección 4). La Sección 5 final está dedicada al análisis ético del riesgo.

2 DEFINICIÓN DE LOS TÉRMINOS CLAVE

El riesgo tecnológico y la seguridad es un área en la que la terminología está lejos de estar bien establecida. La definición de términos clave a menudo difiere entre las diferentes ramas y tradiciones de la ingeniería. Estas diferencias dependen en gran medida de la falta de comunicación entre las diferentes comunidades de expertos, pero también hay un elemento normativo o ideológico en la confusión terminológica. Los diferentes usos del "riesgo" y la "seguridad" pueden expresar diferentes prioridades sobre qué peligros deben estar sujetos a medidas preventivas o de mitigación.

En esta sección, se discutirán seis términos clave: riesgo, incertidumbre, peligro, seguridad, seguridad y el principio de precaución.

2.1 Riesgo

La palabra "riesgo" tiene varios significados claramente distinguibles, tanto en la tecnología como en otras áreas sociales. Esto se puede ilustrar con declaraciones sobre los riesgos asociados con la energía nuclear. Primero: "Un reactor de fusión es el riesgo más grave que afecta a la energía nuclear". Aquí, usamos "riesgo" en el siguiente sentido:

1. Riesgo = un evento no deseado que puede o no ocurrir.

A continuación, considere la siguiente declaración: "Las grietas ocultas en el tubo son uno de los principales riesgos en una central nuclear". Aquí usamos "riesgo" en otro sentido:

2. Riesgo = la causa de un evento no deseado que puede o no ocurrir.
Podemos cuantificar el riesgo de un accidente nuclear importante, por ejemplo, de la siguiente manera: "El riesgo de una fusión durante la vida útil de este reactor es menor que uno de cada 10.000". Este es otro concepto de riesgo:

3. Riesgo = la probabilidad de un evento no deseado que puede o no ocurrir.

En el análisis de riesgos, la energía nuclear a menudo se compara con otras fuentes de energía, en términos del número de víctimas estadísticamente esperado. Podemos decir, por ejemplo: "El riesgo total de energía nuclear es menor que el de la energía del carbón". A continuación, la palabra se utiliza en el siguiente sentido:

4. Riesgo = el valor de expectativa estadística de eventos no deseados que pueden o no ocurrir.

El valor de expectativa significa el valor ponderado por probabilidad. Por lo tanto, si 200 buceadores de aguas profundas realizan una operación en la que el riesgo individual de muerte es del 0,1 % para cada individuo, el número esperado de víctimas mortales de esta operación es de 200 a 0,1 % a 0,2. El riesgo de muertes en esta operación puede decirse que es 0,2. Los valores de expectativa tienen la propiedad importante de ser aditivo. Supongamos que una determinada operación está asociada con una probabilidad del 1 % de un accidente que matará a cinco personas, y también con una probabilidad del 2 % de otro tipo de accidente que matará a una persona. A continuación, el valor total de la expectativa es $0,01 \times 5 + 0,02 \times 1$ a 0,07 muertes. De manera similar, el número esperado de muertes por una central nuclear es igual a la suma de los valores esperados para cada uno de los diversos tipos de accidentes que pueden ocurrir en la planta.

En la teoría de decisiones, se hace una distinción esencial entre las decisiones "bajo riesgo" y "bajo incertidumbre". La diferencia es que en el primer caso, pero no en el segundo, se supone que se conocen probabilidades. Por lo tanto, podemos decir: "Las probabilidades de fallo de diferentes tipos de interruptores eléctricos para la sala de control son tan conocidas que una decisión, cuál de ellos instalar puede clasificarse como una decisión en riesgo". Esto corresponde a la siguiente definición:

5. Riesgo = el hecho de que se tome una decisión en condiciones de probabilidades conocidas ("decisión bajo riesgo") Con esto hemos identificado cinco significados comunes de "riesgo". Se han hecho muchos intentos para poner fin a la ambigüedad del "riesgo" a través de una definición estipulada, pero desafortunadamente estos intentos han ido en diferentes direcciones. En un libro conjunto de 1981, varios de los principales investigadores en el campo escribieron" que distingue un problema de riesgo aceptable de otros problemas de decisión es que al menos una opción alternativa incluye una amenaza para la vida o la salud entre sus consecuencias. Definiremos el riesgo como la existencia de tales amenazas" [Fischhoff et al., 1981, p. 2]. Esto está cerca de nuestra definición (1). En 1983, un grupo de trabajo de la Royal Society definió el riesgo como "la probabilidad de que un evento adverso en particular ocurra durante un período de tiempo establecido, o como resultado de un desafío particular", es decir, nuestra definición (3) [Royal Society, 1983, p. 22]. En la misma línea, el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos [1983] definió la evaluación del riesgo como una evaluación de la "probabilidad de que se produzca un efecto adverso como resultado de alguna actividad humana".

En la actualidad, la definición técnica más común de riesgo es nuestra (4), a saber, el riesgo como valor de expectativa estadística. Este es, de hecho, el más reciente de los cinco significados de riesgo mencionados anteriormente. Aunque los valores de expectativa se han calculado desde el siglo XVII, el uso del término "riesgo" en este sentido, tiene un origen mucho más reciente. Fue introducido en el análisis de riesgos tecnológicos en el influyente Estudio de Seguridad de Reactores (WASH-1400, el informe Rasmussen) de 1975 [Rechard, 1999, p. 776]. Hoy en día es el significado técnico más común del término "riesgo". La Organización Internacional de Normalización [2002] define el riesgo de manera un tanto vaga como "la combinación de la probabilidad de un evento y sus consecuencias", donde la "combinación" a menudo (pero no es necesario) se interpreta como multiplicación. Todas las principales variantes del análisis de riesgos tecnológicos se basan en la identificación del riesgo con valor esperado. Además, este concepto de riesgo se utiliza en campos relacionados, como la evaluación del riesgo químico. En el análisis coste-beneficio, los riesgos que entran en el análisis son valores de expectativa. En estudios de percepción del

riesgo, el "riesgo subjetivo" reportado por los sujetos se compara con el "riesgo objetivo", que se identifica con el valor esperado [Hansson, 1993].

La identificación del riesgo con valor esperado requiere que la gravedad de los resultados se pueda medir en términos numéricos. Idealmente, una medida de este tipo debería referirse a la utilidad general, en cuyo caso el análisis de riesgos se convierte en una rama de la teoría de la utilidad esperada. En el análisis riesgo-beneficio, los valores monetarios se utilizan como aproximaciones para los servicios públicos. En muchas aplicaciones de ingeniería, el número de muertes se utiliza, algo simplista, como una medida de la gravedad de los resultados.

Dado que el "riesgo" ha sido ampliamente utilizado en varios sentidos durante más de 300 años, no debería sorprender que los intentos de reservarlo para un concepto técnico que se introdujo hace 30 años den lugar a problemas de comunicación. Es aconsejable ser respetuoso con el uso común. Cuando existe el riesgo de malentendidos, es preferible emplear un término técnico como "valor de expectativa" para el concepto técnico, en lugar de tratar de eliminar los usos coloquiales establecidos del "riesgo".

2.2 Incertidumbre

No todos los peligros vienen con probabilidades asignadas a ellos. En la teoría de decisiones, los términos "riesgo" e "incertidumbre" se utilizan para distinguir entre los que sí lo hacen y los que no. En uno de los libros de texto más influyentes en la teoría de decisiones, los términos se definen de la siguiente manera:

Diremos que estamos en el ámbito de la toma de decisiones en:

a) Certeza si cada acción es conocida por conducir invariablemente a un resultado específico (también se utilizan las palabras prospecto, estímulo, alternativa, etc.).

(b) Riesgo si cada acción conduce a uno de un conjunto de posibles resultados específicos, cada resultado ocurre con una probabilidad conocida. Se supone que las probabilidades son conocidas por el responsable de la toma de decisiones. Por ejemplo, una acción podría conducir a este resultado arriesgado: una recompensa de \$10 si una moneda "justa" sale cara y una pérdida de \$5 si aparece sello. Por supuesto, la certeza es un caso de riesgo degenerado en el que las probabilidades son 0 y 1.

(c) Incertidumbre si cualquiera de las acciones o ambas tienen como consecuencia un conjunto de posibles resultados específicos, pero cuando las probabilidades de estos resultados son completamente desconocidas o ni siquiera son significativas. [Luce y Raiffa, 1957, p. 13]

Este uso de los términos clave "riesgo" e "incertidumbre" difiere claramente del uso diario. En las conversaciones cotidianas, no dudaríamos en llamar a un peligro un riesgo, aunque no hay medios para determinar su probabilidad. Por la incertidumbre nos significaría un estado de ánimo en lugar de la ausencia de información. No es raro que esta diferencia entre el uso técnico y no técnico dé lugar a confusión.

Las decisiones del jugador en la mesa de la ruleta son ejemplos claros de decisiones bajo riesgo, es decir, decisiones con probabilidades conocidas. Dado que la rueda es justa, las probabilidades de varios resultados —ganancias y pérdidas— son fácilmente calculables y, por lo tanto, reconocibles, aunque el jugador puede no tenerlos en cuenta. Para un claro ejemplo de una decisión bajo incertidumbre, considere en cambio la decisión de un explorador de entrar en una parte distante de la selva, previamente desafiada por el pie humano. Hay tigres y serpientes venenosas en la selva, pero no se pueden dar estimaciones mejores de lo que se pueden dar conjeturas de la probabilidad de ser atacados por ellos. Tales ataques son peligros conocidos con probabilidades desconocidas. Además, la selva puede contener un gran número de otras especies, desde microorganismos hasta mamíferos, algunas de las cuales pueden ser peligrosas aunque son completamente desconocidas. No sólo se desconocen sus probabilidades, sino también su propia existencia.

En la vida real rara vez estamos en una situación como la de la mesa de la ruleta, cuando todas las probabilidades se conocen con certeza (o al menos más allá de la duda razonable). La mayoría de las veces, tenemos que lidiar con los peligros tecnológicos sin conocer sus probabilidades, y a menudo ni siquiera podemos prever a qué peligros tendremos que hacer frente. Esto es cierto, sobre todo, en el desarrollo de nuevas tecnologías. Los efectos sociales y ambientales de una nueva tecnología rara vez pueden comprenderse plenamente de antemano, y a menudo existe una incertidumbre considerable con respecto a los peligros que puede dar lugar a [Porter, 1991; Rosenberg, 1995].

Sin embargo, existe una tendencia en los estudios de riesgo a proceder como si las decisiones sobre tecnologías se tomaran en condiciones análogas a los juegos de azar en la mesa de ruleta. Esto se ha llamado el síndrome del

esmoquin, y se ha argumentado que la metáfora de entrar en una jungla inexplorada describe mejor la difícil situación de los ingenieros y otros responsables de las nuevas tecnologías [Hansson, 2008]. Es importante observar que incluso en los casos en que la verosimilitud de los peligros puede resumirse significativamente en términos de probabilidades, todavía puede haber incertidumbres significativas sobre la exactitud de estas estimaciones.

A menudo hay una deriva en el sentido de la palabra "riesgo", en el siguiente sentido: Una discusión o un análisis comienza con una frase general como "riesgos en la industria de la construcción" o "riesgos en la producción de energía moderna". Esto incluye tanto los peligros para los que ya se dispone de estimaciones de probabilidad como los peligros para los que es dudoso que se puedan obtener estimaciones de probabilidad significativas. A medida que el debate o análisis entra más en detalles técnicos, el término "riesgo" se reduce para referirse únicamente a lo que puede cuantificarse en términos probabilísticos. En el curso de esta reducción, el analista a menudo pierde de vista las incertidumbres que deberían haberse tenido en cuenta en un análisis preciso de los peligros en cuestión. Para evitar el descuido de tales peligros, es importante tratar las incertidumbres explícitamente, en particular si se utiliza un concepto estrecho de riesgo en el análisis técnico.

2.3 Peligro

En muchos contextos de ingeniería, se hace una distinción entre un riesgo y un peligro. Un peligro puede definirse como un riesgo potencial. Por lo tanto, considere dos personas que detonan al mismo tipo de fuegos artificiales. Uno de ellos es un experto pirotécnico, el otro un adolescente borracho que nunca encendió fuegos artificiales antes. El peligro es el mismo en ambos casos, a saber, que el dispositivo puede explotar cerca de la persona que lo maneja. El riesgo (en el sentido 3 o 4 definido en la Sección 2.1) es mucho menor en el primer caso, siempre que el pirotécnico tome las precauciones estándar.

El peligro se trata principalmente como un concepto no cuantitativo. Se han hecho intentos para cuantificarlo. En tales cuantificaciones, el enfoque se centra en las consecuencias, no en las probabilidades [Rahman et al., 2005].

El límite entre un peligro y un no peligro es vago. Si un avión está a punto de estrellarse, y este avión está en el aire muy cerca de usted, diríamos que está expuesto a un peligro. Sin embargo, si el avión está volando normalmente a gran altitud, no lo consideraríamos un peligro ya que está

pasando. En términos más generales, cuando el riesgo asociado con un peligro se considera insignificante, tendemos a no llamarlo un peligro en absoluto.

2.4 Estar Seguro (Safety)

El concepto de seguridad se utiliza a veces en un absoluto, a veces en un sentido relativo. Con el fin de ilustrar el significado de la seguridad absoluta, supongamos que usted compra una chaqueta que se promete que es de tela ignífuga. Más tarde, en realidad se incendia. Entonces podría argumentar, si aplicas la noción absoluta de seguridad, que no estabas a salvo del fuego en primer lugar. Si el productor de la chaqueta trata de argumentar que de hecho estabas a salvo ya que la tela era muy poco probable que se incendie, dirías que simplemente estaba equivocado. En algunos contextos, por lo tanto, "Estoy a salvo contra el evento no deseado X" se toma como para significar que no hay ningún riesgo en absoluto que X sucederá.

La seguridad técnica se ha definido a menudo como seguridad absoluta. Por ejemplo, en la investigación sobre la seguridad de la aviación se ha afirmado que "la seguridad es, por definición, la ausencia de accidentes" [Tench, 1985]. Sin embargo, en la práctica la seguridad absoluta rara vez es alcanzable. Por lo tanto, para la mayoría de los propósitos no es un concepto muy útil. De hecho, el Tribunal Supremo de los Estados Unidos ha apoyado una interpretación no absoluta, afirmando que "seguro no es el equivalente de 'libre de riesgo' " [Miller, 1988, p. 54]. Con esta interpretación, una declaración como "este edificio es a prueba de incendios" se puede leer como una forma breve de la declaración más precisa: "La seguridad de este edificio con respecto al fuego es tan alta como se puede esperar en términos de costos razonables de acciones preventivas." En este caso, el departamento de defensa de Estados Unidos ha declarado que la seguridad es "la conservación de la vida humana y su eficacia, y la prevención de daños a los artículos, de conformidad con los requisitos de la misión" [Miller, 1988, p. 54].

Uso del término "seguro" (y derivados como "seguridad") en aplicaciones técnicas, por ejemplo, en seguridad de la aviación, seguridad vial, etc., vacilaciones entre el concepto absoluto ("seguridad no significa daño"), y un concepto relativo que sólo requiere la reducción del riesgo que se considera factible y razonable. No es posible eliminar ninguno de estos usos, pero es posible realizar un seguimiento de ellos y evitar confundirlos entre sí.

Por lo general, la seguridad se toma como la inversa del riesgo: cuando el riesgo es alto, entonces la seguridad es baja, y por el contrario. Esto puede parecer evidente, pero la relación entre los dos conceptos se complica por el hecho de que, como vimos en la sub-sección 2.1, el concepto de riesgo está en sí mismo lejos de ser claro. Se ha alegado que si el riesgo se toma en el sentido técnico como valor de expectativa estadística (daño esperado), entonces la seguridad no puede ser la antonimia del riesgo, ya que hay que tener en cuenta otros factores como la incertidumbre a la hora de evaluar la seguridad [Möller et al., 2006]. Con una definición más amplia de riesgo, una relación antonímica entre los dos conceptos puede ser más plausible.

2.5 Seguridad (Security)

La seguridad y estar seguro son conceptos estrechamente relacionados. (Algunos idiomas tienen la misma palabra para estos dos términos en inglés, como el alemán "Sicherheit" y el español, seguridad.) Con estar seguro, solemos significar protección contra amenazas no intencionales y de seguridad, con protección contra amenazas intencionales. Los problemas de seguridad típicos son la protección de un país contra la guerra, la protección de las personas contra la violencia, la protección de la propiedad contra el robo, la destrucción maliciosa o en desmedida y los delitos económicos, y la protección de las computadoras contra intrusiones no autorizadas.

Muchas de las medidas que se toman para mejorar la seguridad también aumentan el estar seguro, y viceversa. Por lo tanto, el mismo sistema de aspersores puede extinguir un incendio causado por una persona o por un accidente. Los controles de seguridad que impiden la entrada de personas no autorizadas a un edificio con maquinaria peligrosa contribuyen a prevenir accidentes y sabotajes, etc. Sin embargo, la seguridad y el estar seguro han sido tratadas tradicionalmente como cuestiones separadas, y han sido delegadas a diferentes profesiones. En muchas organizaciones que tienen que lidiar con ambos tipos de problemas, sorprendentemente poco se ha hecho para coordinarlos.

2.6 El principio de precaución

El principio de precaución se invoca con frecuencia en los debates sobre cuestiones medioambientales. Estrictamente hablando, es un principio para la toma de decisiones bajo incertidumbre científica que ha sido codificado en una serie de tratados internacionales.

Las formulaciones del principio de precaución pueden dividirse en dos grupos principales: versiones argumentativas y prescriptivas del principio. En el Principio 15 de la Declaración de Río [UNCED 1993] figura una versión argumentativa del principio de precaución. Exige que "la falta de plena certeza científica no se utilice como razón para posponer medidas rentables para prevenir la degradación del medio ambiente". Las versiones prescriptivas del principio de precaución prescriben acciones. Tal vez el más famoso de ellos es la llamada Declaración Wingspread: "Cuando una actividad plantea amenazas para el medio ambiente o la salud humana, se deben tomar medidas de precaución, incluso si algunas relaciones causa-efecto no se establecen científicamente plenamente" [Raffensperger y Tickner, 1999, págs. 354-355].

La mayoría de las versiones prescriptivas del principio de precaución comparten cuatro componentes comunes [Sandin, 1999]. Considere la siguiente formulación posible del principio de precaución:

Es obligatorio limitar, regular o prevenir tecnologías potencialmente peligrosas incluso antes de que se establezca la prueba científica.

Encontramos cuatro componentes diferentes en esta formulación, a saber:

1. El componente de amenaza, expresado en la frase "tecnologías potencialmente peligrosas";
2. El componente de incertidumbre, expresado en la frase "incluso antes de que se establezcan pruebas científicas";
3. El componente de acción, expresado en la frase "limitar, regular o prevenir";
4. El componente de prescripción, expresado en la frase "es obligatorio".

Los dos primeros pueden resumirse como el desencadenante del principio de precaución, mientras que los dos últimos constituyen la respuesta cautelar [Ahteensuu, 2008].

La dimensión de incertidumbre garantiza que la acción se active, incluso en ausencia de pruebas científicas completas. Es la parte más característica del principio. Es lo que distingue el principio de precaución de otros principios o formas argumentadoras para la protección de la salud y el medio ambiente.

En resumen, el principio de precaución proclama que las decisiones políticas en las decisiones medioambientales pueden basarse legítimamente en pruebas científicas de un peligro que no es lo suficientemente fuerte como para constituir una prueba científica completa de que el peligro existe [Sandin et al., 2004]. Sin embargo, no es desahuciable describir esto como un principio especial para las políticas ambientales, como una especie de cautela adicional que se supone que no se aplica en otras decisiones. Desde un punto de vista teórico de la decisión, permitir que las decisiones se vean influenciadas por información incierta no es un principio especial que deban ser defendidos, especialmente. Por el contrario, hacerlo no es otra cosa que la racionalidad práctica ordinaria, ya que se aplica en la mayoría de los otros contextos [Hansson, 2006a]. Si hay fuertes indicios científicos de que un volcán puede entrar en erupción en los próximos días, los responsables de la toma de decisiones, se espera que evacúen su entorno tan pronto como sea posible, en lugar de esperar a que se realicen pruebas científicas completas de que la erupción tendrá lugar. Además, como veremos en la siguiente sección, la ingeniería de estar seguro (safety) tradicional se basa en gran medida en patrones de pensamiento cautelosos que son similares al principio de precaución pero de origen mucho más antiguo.

3 INGENIERÍA DE ESTAR SEGURO (SAFETY)

La ingeniería es principalmente una práctica. Durante el tiempo en que la humanidad ha utilizado artefactos tecnológicos, hemos tomado medidas para proteger a los seres humanos contra diversos riesgos asociados con estos artefactos. Desde el siglo XIX, muchos ingenieros se han especializado en el estar seguro (safety) de los trabajadores y otras tareas relacionadas con eso. Con el desarrollo de la ciencia tecnológica, las ideas detrás de la ingeniería de estar seguro (safety) han sido objeto de tratamientos académicos. Ahora hay muchas maneras de sistematizar las prácticas de ingeniería de estar seguro (safety), pero ninguna de ellas ha ganado aceptación general. Una de las principales razones de esto es que la discusión sobre ingeniería de estar seguro (safety) está fragmentada entre diferentes áreas de la tecnología. En esta sección, se discutirán tres principios principales de la ingeniería de estar seguro (safety), y se argumentará que hay un principio subyacente que los une a todos.

3.1 Tres principios de la ingeniería de estar seguro (safety)

Los siguientes principios son de uso general en muchos campos de la ingeniería.

1. Diseño inherentemente seguro. Un primer paso recomendado en la ingeniería de estar seguro (safety) es minimizar los peligros inherentes en el proceso en la medida de lo posible. Esto significa que los peligros potenciales se excluyen en lugar de simplemente encerrados o de otro modo se afrontan. Por lo tanto, sustancias o reacciones peligrosas son reemplazadas por menos peligrosas, y esto se prefiere a utilizar las sustancias peligrosas en un proceso encapsulado. Los materiales ignífugos se utilizan en lugar de los inflamables, y esto se considera superior al uso de materiales inflamables, pero manteniendo las temperaturas bajas. Por razones similares, realizar una reacción a baja temperatura y presión se considera superior a realizarla a alta temperatura y presión en un recipiente construido para estas condiciones.

2. Factores de estar seguro (safety). Las construcciones deben ser lo suficientemente fuertes como para resistir cargas y perturbaciones superiores a las que se pretenden. Una forma común de obtener tales reservas de estar seguro (safety) es emplear factores de seguridad numéricos elegidos explícitamente. Por lo tanto, si se emplea un factor de seguridad de 2 al construir un puente, entonces el puente se calcula para resistir el doble de la carga máxima a la que, en la práctica estará expuesto.

3. Múltiples barreras de estar seguro (safety) independientes. Las barreras de estar seguro (safety) están dispuestas en cadenas. El objetivo es hacer que cada barrera sea independiente de sus predecesores para que si la primera falla, entonces la segunda sigue intacta, etc. Por lo general, las primeras barreras son medidas para prevenir un accidente, después de lo cual siguen las barreras que limitan las consecuencias de un accidente, y finalmente los servicios de rescate como último recurso. Una de las principales lecciones del desastre del Titanic es que una mejora de las barreras tempranas (en este caso: un casco dividido en compartimentos estancos) no es excusa para reducir las barreras posteriores (en este caso: botes salvavidas).

Hay que añadir varias advertencias a esta lista de prácticas de ingeniería de estar seguro (safety): La terminología no es universalmente aceptada, y algunos de estos principios también se conocen bajo otros nombres. Los tres principios están en parte sobre- poner. Además, la ingeniería de estar seguro (safety) incluye muchos más principios y prácticas que los tres mencionados anteriormente: mecanismos de retroalimentación negativa, educación de los operadores, mantenimiento de equipos e instalaciones, informes de incidencias,

etc. En las siguientes sub-secciones, cada uno de los tres principios se tratará con algo más de detalle.

3.2 Estar seguro (safety) inherente

El estar seguro (safety) inherente, también llamada prevención primaria, consiste en la eliminación de un peligro. Se contrasta con la prevención secundaria que consiste en reducir el riesgo asociado con un peligro. Esto se puede hacer reduciendo la probabilidad o las consecuencias de un evento adverso como un accidente en el que se realiza el peligro. Para un ejemplo simple, considere un proceso en el que se utilizan materiales inflamables. La seguridad inherente consistiría en sustituirlos por materiales no inflamables. La prevención secundaria consistiría en retirar o aislar fuentes de ignición y/o instalar equipos de extinción de incendios. Como se muestra en este ejemplo, la prevención secundaria suele implicar equipos de estar seguro (safety) adicionales.

Tradicionalmente, se recomiendan cuatro tipos de medidas de estar seguro (safety) en el diseño inherentemente más seguro de las plantas:

- Minimizar (intensificar): utilizar cantidades más pequeñas de materiales peligrosos.
- Sustituto: sustituya un material peligroso por uno menos peligroso.
- Atenuar (moderado): utilice el material peligroso de forma menos peligrosa.
- Simplificar: evitar la complejidad innecesaria en las instalaciones y procesos, con el fin de hacer que los errores de funcionamiento sean menos probables [Khan y Abbasi, 1998; Bollinger et al., 1996].

Es importante no exagerar el caso de estar seguro (safety) inherente. Muchos problemas de estar seguro (safety) no se pueden resolver con estar seguro (safety) inherente. A menudo, los medios socialmente deseables no se pueden lograr sin materiales o procesos peligrosos. En tales casos, debe basarse en la prevención secundaria bien desarrollada. Sin embargo, también hay muchos casos con la opción de eliminar y gestionar el peligro. Los defensores de la estar seguro (safety) inherente han demostrado que otras cosas que son iguales, la eliminación es la mejor opción. La razón principal de esto es que, mientras el peligro exista todavía, puede ser realizado por algún evento

desencadenante imprevisto. Incluso con la mejor de las medidas de control, alguna cadena imprevista de eventos puede dar lugar a un accidente. Incluso la mejor tecnología de estar seguro (safety) adicional puede fallar o ser destruida en el transcurso de un accidente.

Un argumento adicional para la estar seguro (safety) inherente es su utilidad para hacer frente a las amenazas a la seguridad. Las medidas de estar seguro (safety) adicionales a menudo pueden ser fácilmente desactivadas por aquellos que quieren hacerlo. Cuando los terroristas entran en una planta química con la intención de volarla, no importa mucho que todas las fuentes de ignición hayan sido retiradas de las proximidades de materiales explosivos (aunque esto tal vez haya resuelto el problema de estar seguro (safety)). Los perpetradores traerán su propia fuente de ignición. Por el contrario, la mayoría de las medidas que hacen que una planta sea intrínsecamente más segura, también contribuirán a desviar las amenazas terroristas. Si la sustancia explosiva ha sido sustituida por una sustancia no explosiva, o los inventarios de sustancias explosivas e inflamables se han reducido drásticamente, entonces la planta será mucho menos atractiva para los terroristas y, por lo tanto, también será un blanco de ataque menos probable.

La estar seguro (safety) inherente tiene un papel particularmente importante en la industria química. La mayor parte del desarrollo de técnicas para la estar seguro (safety) inherente ha tenido lugar dentro o en cooperación con las empresas químicas. La otra industria importante en la que a menudo se discute la estar seguro (safety) inherente es la industria nuclear. La estar seguro (safety) inherente se menciona a menudo en los esfuerzos por construir nuevos tipos de reactores más seguros. Un reactor será intrínsecamente más seguro que los actualmente en uso si, incluso en caso de fallo de todos los sistemas de refrigeración activos y pérdida completa de refrigerante, las temperaturas de los elementos de combustible no superarán los límites a los que la mayoría de los productos de fisión radiactiva permanecen confinados dentro de los elementos combustibles [Brinkmann et al., 2006].

3.3 Factores de estar seguro (safety)

Probablemente, los humanos han hecho uso de reservas de estar seguro (safety) desde el origen de nuestra especie. Hemos añadido fuerza adicional a nuestras casas, herramientas y otras construcciones con el fin de estar en el lado seguro. Sin embargo, el uso de factores numéricos para dimensionar las reservas de seguridad parece ser de origen relativamente reciente, probablemente la

segunda mitad del siglo XIX. El primer uso del término registrado en el Oxford English Dictionary es del libro de W.J.M. Rankine A Manual de Mecánica Aplicada de 1858. En la década de 1860, el ingeniero ferroviario alemán A. Wohler recomendó un factor de 2 para la tensión [Randall, 1976]. El uso de factores de estar seguro (safety) está ahora bien establecido en la mecánica estructural y en sus muchas aplicaciones en diferentes disciplinas de ingeniería. Se han desarrollado sistemas elaborados de factores de estar seguro (safety), que se especifican en normas y estándares [Clausen et al., 2006].

Un factor de estar seguro (safety) está destinado típicamente para proteger contra un mecanismo particular que amenaza la integridad, y diferentes factores de estar seguro (safety) se pueden utilizar contra diferentes mecanismos de este tipo. Por lo tanto, puede ser necesario un factor de estar seguro (safety) para la resistencia a la deformación plástica y otro para la resistencia a la fatiga. Un factor de estar seguro (safety) se expresa más comúnmente como la relación entre una medida de la carga máxima que no conduce al tipo especificado de falla y una medida correspondiente de la carga máxima que se espera que se aplique. En algunos casos, puede expresarse como la relación entre la vida útil estimada y la vida útil real.

En algunas aplicaciones se utilizan márgenes de estar seguro (safety) en lugar de factores de estar seguro (safety). Un margen de estar seguro (safety) difiere de un factor de estar seguro (safety) en ser aditivo en lugar de multiplicativo. Con el fin de mantener los aviones lo suficientemente separados en el aire se utiliza un margen de estar seguro (safety) en forma de una distancia mínima. Los márgenes de estar seguro (safety) también se utilizan en la ingeniería estructural, por ejemplo en cálculos geotécnicos de fiabilidad del terraplén [Duncan, 2000].

De acuerdo con los relatos estándar de la mecánica estructural, los factores de estar seguro (safety) están destinados a compensar cinco categorías principales de fuentes de falla [Knoll, 1976; Moses, 1997]:

1. Cargas más altas que las previstas,
2. Peores propiedades del material de lo previsto,
3. Teoría imperfecta del mecanismo de fracaso en cuestión,
4. Mecanismos de falla posiblemente desconocidos, y

5. Error humano (por ejemplo, en el diseño).

Los dos primeros se refieren a la variabilidad de las cargas y las propiedades del material. Esta variabilidad a menudo puede expresarse en términos de distribuciones de probabilidad. Sin embargo, cuando se trata de los extremos de las distribuciones, la falta de información estadística puede hacer imposible el análisis probabilístico preciso. Consideremos la variabilidad de las propiedades de los materiales. Los datos experimentales sobre las propiedades de los materiales a menudo son insuficientes para hacer una distinción entre, por ejemplo, las distribuciones gamma y log-normal, un problema llamado arbitrariedad de distribución [Ditlevsen, 1994]. Esto tiene poco efecto en la parte central de estas distribuciones, pero en las colas de distribución las diferencias pueden llegar a ser muy grandes. Esta es una de las principales razones por las que los factores de estar seguro (safety) se utilizan a menudo como guía de diseño en lugar de probabilidades, aunque el propósito es proteger contra los tipos de fallas que uno preferiría, teóricamente, analizar en términos probabilísticos.

Teóricamente, el diseño mediante el uso de la fiabilidad del sistema estructural es mucho más razonable que el basado en el factor de estar seguro (safety). Sin embargo, debido a la falta de datos estadísticos de la resistencia de los materiales utilizados y las cargas aplicadas, los conceptos de diseño basados en el factor de estar seguro (safety) seguirán dominando durante un período. [Zhu, 1993] Los tres últimos de los cinco puntos de la lista de los factores de estar seguro (safety) que deben proteger contra todos se refieren esencialmente a errores en nuestra teoría y en nuestra aplicación de la misma. Por lo tanto, son ejemplos claros de incertidumbres que no son fácilmente susceptibles de tratamiento probabilístico. En otras palabras: La eventualidad de errores en nuestros cálculos o sus fundamentos es una razón importante para aplicar factores de estar seguro (safety). Esta es una incertidumbre que no es reducible a las probabilidades que podemos determinar e introducir en nuestros cálculos. Por ejemplo, es difícil ver cómo un cálculo podría ajustarse con precisión para compensar de forma autorreferencial la posibilidad de que pueda estar equivocado. Sin embargo, estas dificultades no hacen que estas fuentes de fracasos sean menos importantes. Los factores de seguridad se utilizan para hacer frente tanto a los errores que se pueden contabilizar en términos probabilísticos como a los que no.

3.4 Barreras de estar seguro (safety) independientes

El uso de múltiples barreras de estar seguro (safety) se basa en el simple principio de que incluso, si una medida que tomamos para evitar un peligro debería fallar, debería haber alguna otra medida que lo averíe.

El arquetipo de múltiples barreras de estar seguro (safety) es una antigua fortaleza. Si el enemigo logra pasar la primera pared, hay capas adicionales que protegen a las fuerzas defensoras. Algunas barreras de estar seguro (safety) de ingeniería siguen el mismo principio de las barreras físicas concéntricas. Ejemplos interesantes de esto se pueden encontrar en la gestión de residuos nucleares. Los residuos se colocarán en un recipiente de cobre que se construye para resistir los desafíos previsibles. El contenedor está rodeado por una capa de arcilla de bentonita que protege el contenedor contra pequeños movimientos en la roca y "actúa como filtro en el improbable caso de que cualquier radionúclido escape de un contenedor". Toda esta construcción se coloca en roca profunda, en una formación geológica que ha sido seleccionada para minimizar el transporte a la superficie de cualquier posible fuga de radionúclido. Todo el sistema de barreras está construido para tener un alto grado de redundancia, de modo que si uno falla la barrera, los restantes serán suficientes.

Con los estándares habituales de análisis de riesgos probabilísticos, no sería necesaria toda la serie de barreras alrededor de los residuos. No obstante, se pueden dar razones sensatas a este enfoque, a saber, razones que se refieren a la incertidumbre. Tal vez el contenedor de cobre fallará por alguna razón desconocida no incluida en los cálculos. Entonces, con suerte, el radionúclido permanecerá en la bentonita, etc. En este caso particular, la redundancia también puede considerarse un medio para satisfacer el escepticismo y la oposición públicos (aunque no es evidente que las barreras de seguridad redundantes harán que el público se sienta más seguro).

La noción de múltiples barreras de estar seguro (safety) también puede referirse a barreras de estar seguro (safety) que no se colocan concéntricamente como los muros de defensa de una fortaleza, sino que están dispuestas consecutivamente en un sentido funcional. La característica esencial es que la segunda barrera se pone a trabajar cuando la primera falla, etc. Considere, por ejemplo, la protección de los trabajadores contra un gas peligroso como el sulfuro de hidrógeno que puede filtrarse de un proceso químico. Una protección adecuada contra este peligro puede construirse como una serie de barreras. La primera barrera consiste en construir toda la planta de una manera que excluye

las fugas incontroladas en la medida de lo posible. La segunda barrera es el mantenimiento cuidadoso, incluyendo la comprobación regular de detalles vulnerables como válvulas. La tercera barrera es un sistema de advertencia combinado con rutinas para la evacuación de las instalaciones en caso de fuga. La cuarta barrera son los servicios de rescate eficientes y bien entrenados.

La idea básica detrás de múltiples barreras es que incluso si la primera barrera está bien construida, puede fallar, tal vez por alguna razón imprevista, y que la segunda barrera debería entonces proporcionar protección. Para otra ilustración de este principio, podemos considerar lo que es posiblemente el ejemplo más conocido de fracaso tecnológico en la historia moderna, el Titanic que se hundió con 1500 personas en abril de 1912. Fue construido con un casco de doble fondo que se dividió en dieciséis compartimentos, construido para ser estancos. Cuatro de ellos podrían llenarse de agua sin peligro. Por lo tanto, se creía que el barco era insumergible, y por lo tanto estaba equipado con botes salvavidas sólo para aproximadamente la mitad de las personas a bordo.

Ahora sabemos que el Titanic estaba lejos de ser insumergible. Pero consideremos un escenario hipotético. Supongamos que mañana un constructor de barcos tiene un plan convincente para un barco insumergible. Los cálculos muestran que la probabilidad de que el barco se hunda es increíblemente baja y que el costo esperado por vida ahorrado por los botes salvavidas es superior a 1000 millones de dólares, una suma que evidentemente se puede utilizar de manera más eficiente para salvar vidas en otros lugares. ¿Cómo debe responder el ingeniero naval a esta propuesta? ¿Debería aceptar el veredicto de los cálculos de probabilidad y el análisis económico, y excluir a los botes salvavidas del diseño? Hay buenas razones por las que un ingeniero responsable no debe actuar de esta manera: Los cálculos pueden ser incorrectos, y si lo son, entonces el resultado puede ser desastroso. Por lo tanto, no debe excluirse la barrera de seguridad adicional en forma de botes salvavidas (y rutinas de evacuación y todo lo demás). Aunque los cálculos indican que tales medidas son ineficientes, estos cálculos no son lo suficientemente seguros como para justificar tal decisión.

El principal problema en la construcción de barreras de estar seguro (safety) es cómo hacerlas lo más independientes entre sí posible. Si dos o más barreras son sensibles al mismo tipo de impacto, entonces una y la misma fuerza destructiva pueden deshacerse de todas ellas de una sola vez. Por lo tanto, cualquier número de muros concéntricos alrededor de una ciudad fortificada no podía proteger a los habitantes contra el hambre cuando se quedaron sin

provisiones. Del mismo modo, tres válvulas de estar seguro (safety) consecutivas en el mismo tubo pueden ser destruidas en un incendio, o todas pueden ser incapacitadas debido al mismo error por parte del departamento de mantenimiento. Un gran evento geológico o un enemigo atacante, puede destruir todas las barreras de un depósito subterráneo de desechos nucleares al mismo tiempo, etc. Por lo tanto, es esencial, al construir un sistema de barreras de estar seguro (safety), hacer que las barreras sean lo más independientes posible. A menudo, se obtiene más estar seguro (safety) con menos barreras pero independientes que con muchas que son sensibles a las mismas fuentes de destrucción.

3.5 El rasgo común

Los principios de la ingeniería de estar seguro (safety) discutidos en esta sección tienen un rasgo importante en común: todos tienen como objetivo protegernos no sólo contra los riesgos (en el sentido técnico) sino también contra los peligros que no se pueden asignar estimaciones de probabilidad significativas, como la posibilidad de que algún evento imprevisto desencadene un peligro aparentemente bajo control. Aunque las discusiones explícitas sobre el riesgo y la incertidumbre son nuevas para la ingeniería, las ideas codificadas en ingeniería de estar seguro (safety) son mucho más antiguas que eso, de hecho más antiguas que la teoría de la probabilidad.

4 ANALISIS DE RIESGO

A finales de la década de 1960, la creciente oposición pública a las nuevas tecnologías dio lugar a un nuevo mercado para la ciencia aplicada: un mercado de experiencia en riesgos y sobre las actitudes del público ante los riesgos. La demanda provenía principalmente de empresas e instituciones asociadas con las tecnologías que habían sido objeto de oposición pública. La oferta fue satisfecha por profesionales y académicos con formación en ciencias naturales, conductuales y sociales. La mayoría de sus compromisos se centraban en los productos químicos y en la tecnología nuclear, los mismos factores de riesgo a los que se había dirigido la oposición pública. El nuevo campo se institucionalizó como disciplina de análisis de riesgos, con sociedades profesionales, institutos de investigación y revistas propias.

4.1 Las sub-disciplinas del análisis de riesgos

La breve historia del análisis de riesgos puede resumirse en términos de cinco enfoques principales para el riesgo que hicieron su aparición consecutiva, y ahora todos coexisten [Otway, 1987]. El primero de los cinco enfoques fue un riesgo aceptable. Muchos de los primeros estudios en el campo destinados a determinar un nivel de "riesgo", es decir, del número estadísticamente esperado de muertes, que es aceptado o que debe ser aceptado. Un procedimiento común era comparar los nuevos riesgos tecnológicos con los riesgos que se aceptan en la vida cotidiana.

El siguiente paso fue el análisis riesgo-beneficio, en el que se cuantificaron tanto los riesgos como los beneficios de una tecnología para poder compararlos. El método estándar consiste en asignar un valor monetario a todos los resultados relevantes (incluida la pérdida de vidas humanas) con el fin de hacer que los riesgos y beneficios sean computacionalmente comparables. Este enfoque fue en gran medida el resultado de que los economistas entraran en la etapa de la ciencia del riesgo.

El tercer paso resultó en parte de la creciente participación de los psicólogos en el análisis de riesgos. Este paso consistió en estudios de percepción de riesgo que estaban muy de moda a principios de la década de 1980. Se dijo que el orden de los riesgos obtenidos de los cuestionarios mide el "riesgo subjetivo", y se comparó con el número esperado de muertes que se denominaba "riesgo objetivo". La diferencia fue comúnmente concebida como un signo de irracionalidad o percepción errónea.

El siguiente enfoque fue la comunicación de riesgos que tiene como objetivo proporcionar a los laicos información que les ayude a ver los riesgos de cierta manera. Por lo general, la comunicación de riesgo se considera exitosa si ha hecho que las personas ajusten su "riesgo subjetivo" para encajar con el "riesgo objetivo".

El quinto enfoque fueron los estudios de confianza que emanaban de las dificultades que tanto las autoridades públicas como las empresas han encontrado al tratar de cambiar la opinión del público sobre el riesgo a través de diversas medidas de comunicación de riesgos. El problema, visto en su perspectiva, parece ser que el público no tiene confianza en las fuentes de información. La forma en que se puede lograr esa confianza es actualmente un tema importante en las conferencias sobre el riesgo.

Todas las principales variantes de análisis de riesgos están asociadas con el mismo modelo formal de riesgo, a saber, la definición de valor esperado del riesgo que se introdujo anteriormente en la sub-sección 2.1. En otras palabras, el procedimiento común consiste en multiplicar "la probabilidad de un riesgo con su gravedad, llamar a eso el valor esperado y utilizar este valor de expectativa para comparar riesgos" [Bondi, 1985, p. 9]. A continuación se muestra un ejemplo típico de la jerga:

El peor accidente de fusión de reactores normalmente considerado, que causa 50 000 muertes y tiene una probabilidad de 10 a 8 años, contribuye sólo alrededor del dos por ciento de los efectos medios para la salud de los accidentes de reactores. [Cohen, 1985, p. 1]

A continuación, examinaremos tres cuestiones metodológicas centrales en el análisis de riesgos (sub-secciones 4.2–4.4) y tres otras esas cuestiones en el análisis riesgo-beneficio (sub-secciones 4.5–4.7). La sub-sección final 4.8 está dedicada a una discusión comparativa de análisis de riesgos e ingeniería de estar seguro (safety).

4.2 Metodología del árbol de fallas

Cuando hay una experiencia estadísticamente suficiente de un tipo de evento, como un error de máquina, entonces podemos determinar su probabilidad recopilando y analizando esa experiencia. Por lo tanto, si queremos saber la probabilidad de que el airbag en una determinada forma de coche no se libere en una colisión, debemos recopilar estadísticas de los accidentes en los que dichos coches estuvieron involucrados.

Para las tecnologías nuevas y no probadas, este método no está disponible. Las estadísticas de accidentes no están a mano para determinar la probabilidad de fallo del airbag en un nuevo modelo de coche que sólo se va a introducir. Si la construcción es esencialmente inalterada desde modelos anteriores, entonces podemos confiar en las estadísticas de estos modelos anteriores, pero esto no es aconsejable si ha habido cambios significativos.

Incluso después de muchos años de experiencia en una tecnología puede haber datos insuficientes para determinar las frecuencias de los tipos inusuales de accidentes o fallas. Como ejemplo de esto, (afortunadamente) ha habido muy pocos accidentes graves en reactores nucleares para que sea posible estimar sus probabilidades. En particular, la mayoría de los tipos de reactores en uso nunca

han estado involucrados en ningún accidente grave. Por lo tanto, no es posible determinar el riesgo (probabilidad) de un accidente grave en un tipo especificado de reactor.

Una forma común de eludir estas dificultades es calcular la probabilidad de fallas importantes mediante una investigación cuidadosa de las diversas cadenas de eventos que pueden conducir a tales fracasos. Mediante la combinación de las probabilidades de los sub-eventos en una cadena de este tipo, se puede calcular una probabilidad total de un accidente grave. Tales cálculos estaban de moda en las décadas de 1970 y 1980. Hoy en día hay un creciente escepticismo contra ellos, debido a varios problemas difíciles con esta metodología. Uno de esos problemas es que los accidentes pueden ocurrir de más maneras de las que podemos pensar de antemano. No existe ningún método mediante el cual podamos identificar todas las cadenas de eventos que puedan conducir a un accidente grave en un reactor nuclear, o cualquier otro sistema tecnológico complejo.

Otro problema con esta metodología es que la probabilidad de una cadena de eventos puede ser muy difícil de determinar incluso si conocemos las probabilidades de cada evento individual. Supongamos, por ejemplo, que un accidente ocurrirá si dos válvulas de estar seguro (safety) fallan. Además, supongamos que tenemos experiencia mostrando que la probabilidad es de 1 en 500 de que una válvula de esta construcción fallará durante un período de un año. De ello no se deduce que la probabilidad de que ambos fallen en ese período es de $1/500 \times 1/500$, es decir, $1/250.000$. La razón de esto es que las fallas en las dos válvulas no son eventos independientes.

A pesar de estas dificultades, la construcción y el análisis de tales cadenas de eventos (a menudo llamados árboles de falla) no es un ejercicio inútil. Por el contrario, puede ser una manera eficiente de identificar debilidades en un sistema tecnológico complejo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no se puede obtener una lista exhaustiva de los acontecimientos negativos y que, por lo tanto, los niveles de riesgo totales no pueden determinarse de esta manera.

4.3 Efectos indetectables

Gran parte de la ciencia moderna se dedica al estudio de los sistemas compuestos: los ecosistemas, el cuerpo humano, la economía mundial, etc. Cada uno de estos contiene tantos componentes e interacciones potenciales que en la

práctica es impredecible. Algunos de estos sistemas son impredecibles no sólo en la práctica, sino también en principio, debido a fenómenos caóticos. Además, la ciencia siempre está sujeta a otro tipo de incertidumbre, a saber, la de factores desconocidos. Sólo rara vez tenemos buenas razones para creer que nuestros modelos científicos son completos en el sentido de que no se han dejado de lado componentes o interacciones importantes.

En algunos casos, el conocimiento sobre sistemas complejos se puede obtener a través de la experiencia sistematizada. Esto se aplica, por ejemplo, a los efectos de los agentes terapéuticos en el cuerpo humano. Debido a la complejidad del cuerpo, en la práctica es imposible predecir teóricamente los efectos de una nueva droga. En su lugar, una vez completados los ensayos preliminares, los medicamentos se prueban experimentalmente en grupos de pacientes. Sobre la base de las estadísticas de tales estudios (ensayos clínicos) los efectos de los medicamentos se pueden determinar con precisión razonable.

Sin embargo, hay muchos casos en los que este tipo de "bypass estadístico" al conocimiento sobre sistemas complejos no está disponible. No tenemos acceso a cien planetas tierra en las que podamos experimentar para determinar un nivel tolerable de emisiones de gases de efecto invernadero. Además, incluso en los casos en que se dispone de información estadística, no siempre reduce las incertidumbres tan eficientemente como esperaríamos tener.

Para ver esto, consideremos el ejemplo de los efectos para la salud de las sustancias químicas. ¿Hasta qué punto es posible determinar la presencia o ausencia de tales efectos a través de estudios directos de seres humanos expuestos? Desafortunadamente, la respuesta a esa pregunta es bastante desconcertante.

Para simplificar el debate, centrémonos en los riesgos de por vida de los efectos letales de las sustancias tóxicas. Para empezar, supongamos que 1000 personas están sujetas a una exposición química que da lugar a angiosarcoma hepático (un cáncer raro del hígado) entre el 0,5 % de los expuestos. Entre los individuos no expuestos, la frecuencia de esta enfermedad es muy cercana a cero. Si se hace una investigación adecuada, es muy probable que se descubra la sobrerrepresentación de esta enfermedad entre la población expuesta.

A continuación, supongamos que otro grupo de 1000 personas, está sujeta a una exposición industrial que aumenta la incidencia de cáncer de pulmón del 10,0 al 10,5 %. El número esperado de casos adicionales de cáncer es

el mismo que en el caso anterior. Sin embargo, como se puede demostrar con el cálculo de probabilidad, la diferencia entre 10,0 y 10,5 % es en este caso indistinguible de las variaciones aleatorias. Por lo tanto, los efectos de esta sustancia no pueden detectarse en un estudio de la población expuesta [Hansson, 1999].

Como regla general aproximada, los estudios epidemiológicos no pueden detectar de forma fiable el exceso de riesgos relativos si son aproximadamente un 10 % o menores. Para los tipos más comunes de enfermedades letales, como la enfermedad coronaria y el cáncer de pulmón, los riesgos de por vida son del orden de magnitud de alrededor del 10 %. Por lo tanto, incluso en los estudios más sensibles, un aumento en el riesgo de por vida del tamaño 10^{-2} (10 % del 10 %) o más pequeños pueden ser indetectables (es decir, indistinguibles de las variaciones aleatorias). En experimentos con animales tenemos problemas experimentales similares, y además problemas de extrapolación de una especie a otra.

No hay una respuesta objetiva a la pregunta de cómo los pequeños efectos para la salud deben ser de interés para nosotros. Sin embargo, se han hecho muchos intentos de establecer un límite de preocupación, expresado como "riesgo aceptable" o "riesgo de mínimos". La mayoría de la gente parece estar de acuerdo en que si una población humana está expuesta a un factor de riesgo que, estadísticamente, matará a una persona de 109, entonces ese riesgo no será un tema de alta prioridad. Podría decirse que no es un gran problema que nuestros métodos de evaluación de riesgos sean insuficientes para descubrir riesgos de ese orden de magnitud. Por otro lado, la mayoría de nosotros lo consideraría un problema grave si no se puede detectar un factor de riesgo que mata a una persona de 100 o 1000. Las propuestas más comunes de límites de preocupación por los riesgos letales son 1 de cada 100.000 y 1 de cada 1.000.000. Es difícil encontrar propuestas superiores a 1 de cada 10.000. Estos valores no son, por supuesto, límites objetivos o científicos; pertenecen al ámbito ético. Sin embargo, es importante señalar la presencia de lo que se ha llamado una brecha ética, una brecha entre los niveles de riesgo que son científicamente detectables y los que comúnmente se consideran éticamente aceptables o al menos de menor preocupación [Hansson, 2002]. Esta brecha tiene la amplitud de 2-4 órdenes de magnitud. Por lo tanto, incluso si no se han encontrado efectos adversos en las poblaciones expuestas, todavía puede haber efectos en los niveles de riesgo que son al menos 100 a 1000 veces más altos que los niveles de preocupación o aceptabilidad comúnmente propuestos.

4.4 La falta de fiabilidad de las estimaciones de probabilidad

Cuando las probabilidades no se pueden estimar a partir de frecuencias empíricamente conocidas, el método estándar es utilizar en su lugar las estimaciones de probabilidades de los expertos. La fiabilidad del análisis de riesgos dependerá entonces de la suposición de que no existen sólo pequeñas diferencias sistemáticas entre las probabilidades objetivas y las estimaciones de estas probabilidades por parte de los expertos.

Sin embargo, esta suposición no es correcta. Las diferencias significativas entre tales frecuencias objetivas y las estimaciones de expertos de ellas son bien conocidas a partir de la psicología experimental, donde se describen como falta de calibración. Las estimaciones de probabilidad están (bien) calibradas si "a largo plazo, para todas las proposiciones asignadas a una probabilidad determinada, la proporción que es verdadera es igual a la probabilidad asignada" [Lichtenstein et al., 1982, pp. 306-307]. Por lo tanto, la mitad de las declaraciones que un sujeto bien calibrado asigna probabilidad 0,5 son verdaderas, al igual que el 90 por ciento de las que asigna probabilidad 0,9, etc.

Los estudios experimentales indican que sólo hay unos pocos tipos de predicciones que los expertos realizan de una manera bien calibrada. Los meteorólogos profesionales y las casas de apuestas de carreras de caballos hacen estimaciones de probabilidad bien calibradas en sus respectivos campos de especialización [Murphy et al., 1984; Hoerl y Fallin, 1974]. Por el contrario, la mayoría de los otros tipos de predicción que se han estudiado están sujetos a un exceso de confianza sustancial. Los médicos asignan valores de probabilidad demasiado altos a la exactitud de sus diagnósticos [Christensen-Szalanski y Bushyhead, 1981]. Los ingenieros geotécnicos estaban demasiado confiados en sus estimaciones de la fuerza de una base de arcilla, etc. [Hynes y Vanmarcke, 1976].

No sabemos qué tan bien calibradas están las estimaciones de probabilidades de los expertos que se utilizan en el análisis de riesgos. En la medida en que están mal calibrados, el resultado del análisis de riesgos es, en consecuencia, inexacto.

4.5 Problemas de inconmensurabilidad

La mayor parte de la discusión filosófica sobre el análisis riesgo-beneficio, se ha preocupado por las dificultades que entraña asignar un valor económico a lo que concebimos como invaluable, como una vida humana o una especie animal. Claramente, las vidas humanas no tienen un precio monetario en el sentido común de la palabra. Un analista de riesgo-beneficio que asigna un valor monetario a la pérdida de una vida humana no implica así que alguien puede comprar a otra persona, o el derecho a matarla, por ese precio. En cualquier interpretación sensata de un análisis riesgo-beneficio, los valores de vida son sólo para fines de cálculo.

La motivación subyacente para los valores de la vida es que pueden ser utilizados como un medio para reducir los problemas de decisión multidimensionales a los unidimensionales. La forma común de hacerlo, técnicamente, es convertir todas las dimensiones de una decisión en valores monetarios, incluso aquellos que son inconmensurables con el dinero. El problema esencial —o tal vez incluso dilema— es que para lograrlo necesitamos evaluar comparativamente a las entidades que concebimos como incomparables.

Los defensores del análisis riesgo-beneficio tienden a enfatizar que las comparaciones entre vidas y dinero no son exclusivas del análisis riesgo-beneficio. De hecho, son componentes inevitables de muchas de las decisiones que tenemos que tomar en diferentes sectores sociales. Podríamos, por ejemplo, gastar siempre más dinero que nosotros en estar seguro (safety) del tráfico, tomando los recursos de actividades que no salvan vidas. Nuestra decisión de no gastar más de lo que tenemos contiene un valor implícito de la vida; no pagamos para salvar más vidas que nosotros, ya que sería demasiado costoso. El problema no viene con el análisis de riesgo-beneficio; sólo se exhibe más claramente cuando se realiza un análisis riesgo-beneficio para guiar la decisión.

Por otro lado, el dinero tiene connotaciones no compartidas por unidades no monetarias, que a veces se pueden utilizar para los mismos o similares propósitos, como QALYs (años de vida ajustados por calidad). Por lo tanto, el uso del dinero en lugar de alguna otra unidad puede enviar un mensaje que puede ser concebido como profano del valor de la vida.

Uno de los métodos más comunes utilizados para obtener valores de cálculo para bienes no de mercado es la valoración contingente (estudios de voluntad de pago, WTP). Esto significa que los valores se basan en las respuestas de la gente a preguntas del tipo "¿Cuánto estarías dispuesto a pagar por salvar al panda gigante de la extinción?" La presunción es que la suma de las respuestas

de todos a esa pregunta determina el valor que la no extinción del panda gigante debe asignarse en un análisis económico. Resulta, sin embargo, que nuestras respuestas a esas preguntas no dan buenas indicaciones de nuestras prioridades. Por lo tanto, Beattie y sus compañeros de trabajo [1998] encontraron que muchos encuestados tienden a reportar una cantidad que no perturbaría seriamente sus patrones normales de gasto y ahorro, típicamente una suma en el rango de 50 a 200 libras esterlinas al año. Los encuestados también fueron insensibles a la magnitud de la reducción del riesgo. Ningún otro método más fiable parece estar disponible para obtener valores de cálculo de los encuestados en el cuestionario.

Algunos métodos utilizados en el análisis riesgo-beneficio, incluida la valoración contingente, tienden a dar más influencia a las personas adineradas, ya que pueden pagar más que otros para que se abran a sí [Copp, 1987]. Aunque esta es una característica común en el análisis riesgo-beneficio, es metodológicamente fácil de evitar, por ejemplo, relacionando (real o hipotético) pagos de un individuo con los ingresos de esa persona.

4.6 Transferibilidad en todos los contextos

En los análisis riesgo-beneficio, las estimaciones de costes se transfieren regularmente a través de contextos. Esto se aplica, en particular, a las estimaciones de los valores de vida. Se pueden dar dos ejemplos para ilustrar esta práctica. El primer ejemplo es un análisis de riesgo-beneficio de la mamografía que fue realizado en 1992 por la FDA estadounidense. El análisis hizo uso de los valores de la vida para determinar, en términos monetarios, los beneficios económicos de salvar una vida con mamografía. Los valores de vida se derivaron de estimaciones de cuánto se paga a más trabajadores varones cuando trabajan en ocupaciones con un alto riesgo de accidentes mortales [Heinzerling, 2000, págs. 205–206]. El segundo ejemplo es un análisis riesgo-beneficio realizado en 2000 por la EPA estadounidense con el fin de determinar un nuevo estándar para el arsénico en el agua potable. Una vez más, los valores de la vida se tomaron de estudios sobre cuánta compensación reciben los trabajadores varones por los riesgos de accidentes mortales [Heinzerling, 2002, p. 2312].

En ambos casos, habría sido posible utilizar valores de vida derivados del contexto mismo del análisis riesgo-beneficio en cuestión. A las mujeres se les podría haber preguntado cuánto están dispuestas a pagar por la mamografía, dadas las suposiciones realistas sobre la reducción del riesgo que da lugar. Su disposición a pagar por la reducción de los riesgos podría utilizarse en un

análisis de riesgo-beneficio para la mamografía. Aunque el uso de esos valores no habría sido problemático, al menos habría estado mucho más cerca del contexto pertinente que del valor de vida que se utilizó realmente. Del mismo modo, se podría haber preguntado a las personas cuánto estaban dispuestas a pagar por la reducción de los niveles de arsénico en el agua potable, dadas las suposiciones realistas sobre los efectos en la salud de dicha reducción. Alternativamente, la disposición a pagar por el agua saludable (en forma de agua mineral) podría haberse obtenido de los mercados reales. En cambio, los valores de vida se transfirieron desde otro contexto, a saber, el de la compensación salarial por riesgos de salud en el trabajo.

La supuesta transferibilidad en todos los contextos que se ilustra en estos ejemplos es, de hecho, una condición esencial sin la cual no se pueden justificar los métodos actuales de análisis coste-beneficio. Si todos los valores utilizados en un análisis riesgo-beneficio tuvieran que derivarse del contexto preciso del análisis en particular, la práctica del análisis riesgo-beneficio se acercaría a la de realizar encuestas de opinión sobre el tema a analizar. Una vez que se renuncia a la transferibilidad en todos los contextos, parece que entramos en una pendiente resbaladiza en la que se perderían las características del análisis riesgo-beneficio tal como las conocemos hoy en día. Para evitar esto y defender la transferibilidad en todos los contextos, habría que afirmar que es mejor utilizar valores de un determinado contexto (como los salarios que compensan los riesgos en el lugar de trabajo) en un análisis de riesgo-beneficio relativo a otro contexto (como la mamografía), que utilizar valores derivados en el contexto del análisis en cuestión. Ningún argumento de este tipo parece estar disponible. En particular, no se ha demostrado que nuestras decisiones sobre lo que el empleo ofrece buscar y aceptar, estén mejor informadas que la mayoría de las otras decisiones que tomamos (como las decisiones sobre la mamografía y sobre los contaminantes en el agua potable).

4.7 Agregación interpersonal

En un análisis riesgo-beneficio, todos los riesgos y todos los beneficios se combinan en un mismo equilibrio. Esto significa que una desventaja que afecta a una persona puede ser compensada completamente por una ventaja del mismo tamaño que afecta a alguna otra persona. En otras palabras, se asume la compensabilidad interpersonal de ventajas y desventajas [Hansson, 2004]. Esta es una suposición de que el análisis riesgo-beneficio comparte con el

utilitarismo. Podemos expresarlo como un principio de pesaje, de la siguiente manera:

El principio de pesaje colectivista:

Una opción es aceptable en la medida en que la suma de todos los riesgos individuales que da lugar se supera a la suma de todos los beneficios individuales que da lugar. Esta no es la única manera en que los riesgos pueden sopesarse contra los beneficios. Otra posibilidad es realizar el pesaje individualmente para cada persona afectada, y requerir un balance positivo para cada persona:

El principio de pesaje individualista:

Una opción es aceptable en la medida en que los riesgos que afectan a cada individuo son compensados por los beneficios para esa misma persona.

El pesaje individualista tiene una fuerte tradición en las prácticas sociales que tienen su origen en la relación médico-paciente. Por ejemplo, considere un médico que selecciona pacientes para un ensayo clínico con un nuevo tratamiento experimental. Tal tratamiento implica riesgos y beneficios que deben sopesarse entre sí. Si el médico basa esta decisión en un análisis convencional de riesgo-beneficio, entonces incluiría a un paciente en el estudio si el riesgo para este paciente es superado por el beneficio social total. El beneficio social total incluye los beneficios esperados del estudio para futuros pacientes. Con tal criterio, un paciente puede ser incluido en el ensayo incluso si los riesgos superan con creces las ganancias esperadas para ella personalmente. Esto, por supuesto, no es cómo se toman tales decisiones. En su lugar, se fabrican de acuerdo con el principio de pesaje individualista. No se ofrece a una paciente que participe en un ensayo clínico a menos que se crea que los riesgos a los que estará expuesta son superados por las ventajas esperadas para ella del tratamiento experimental [Hansson, 2006b].

Para otro ejemplo, considere las recomendaciones de las autoridades sanitarias sobre el consumo de pescado. Aunque el pescado es generalmente alimentos saludables, los contaminantes en los peces capturados en ciertas aguas dan razones para recomendar límites en el consumo de pescado. Dichas recomendaciones se basan en los efectos positivos y negativos para la salud del individuo (y en el caso de las mujeres embarazadas o en periodo de lactancia, en los efectos correspondientes sobre el niño) [Knuth et al., 2003]. Se consideraría

inapropiado basar esas recomendaciones en un análisis completo de riesgo-beneficio que incluya otros factores, como los efectos de la disminución del consumo de pescado en el empleo en la industria pesquera o en la economía regional.

Por lo tanto, realizamos análisis de riesgo-beneficio, con pesaje de riesgos colectivistas, al decidir sobre proyectos de carretera y otros proyectos de ingeniería, pero utilizamos otros tipos de cálculos, basados en el pesaje de riesgos individuales, al decidir sobre ensayos clínicos y asesoramiento dietético. En algunos ámbitos políticos tenemos la tradición de sacrificar intereses individuales en aras de objetivos colectivos, mientras que los intereses individuales tienen una protección mucho más fuerte en otros ámbitos. Es un problema para el análisis riesgo-beneficio motivar por qué debemos emplear la agregación total (colectiva) en lugar de métodos alternativos que protejan a las personas contra el sacrificio de sus intereses por objetivos colectivos.

4.8 Análisis de riesgos frente a ingeniería de estar seguro (safety)

El análisis de riesgos probabilísticos y el análisis costo-beneficio a veces se han visto como competidores de las formas tradicionales de ingeniería de estar seguro (safety). Esta es una visión demasiado estrecha del asunto. En su lugar, debe reconocerse que ninguno de estos métodos puede en la práctica, decir la verdad completa sobre el riesgo y el estar seguro (safety). Es más constructivo verlos como complementarios. El análisis de riesgos probabilísticos es a menudo una herramienta indispensable para la fijación de prioridades y para la evaluación de efectos de las medidas de estar seguro (safety). Por otro lado, algunas de las incertidumbres con las que la ingeniería de estar seguro (safety) trata con éxito tienden a descuidarse en los cálculos probabilísticos. Se recomienda el pluralismo metodológico, en lugar del monopolio de una sola metodología.

Actualmente existe una tendencia en varios campos de la ingeniería hacia un mayor uso del análisis de riesgos probabilísticos. Esta tendencia fortalecerá la ingeniería de estar seguro (safety), siempre que conduzca a una ampliación de la base de conocimientos y no a la exclusión de la amplia gama de peligros —de los propios errores de cálculo a los ataques terroristas— para los que no se pueden obtener estimaciones de probabilidad significativas.

5 LA ÉTICA DEL RIESGO

A lo largo de la historia de la filosofía moral, la teorización moral se ha referido en su mayor parte a un mundo determinista en el que las propiedades moralmente relevantes de las acciones humanas son bien determinadas y conocibles. En los últimos años, los filósofos morales han dejado en la mayoría de los casos teóricos de la decisión, analizar las complejidades que el indeterminismo de la vida real da a esta altura. Las teorías éticas (y meta-éticas) dominantes todavía se centran en problemas deterministas; de hecho, carecen de los medios para hacer frente a problemas relacionados con el riesgo y la incertidumbre [Hansson, 2003]. En esta sección vamos a investigar cómo se puede ampliar la teoría moral para que pueda apoyar las decisiones sobre los riesgos tecnológicos.

5.1 El problema de dilución causal

¿Cómo podemos generalizar las teorías éticas para que puedan aplicarse eficazmente a problemas relacionados con el riesgo y la incertidumbre? El problema de cómo realizar esta generalización se puede especificar en términos del problema de dilución causal.

El problema de dilución causal (versión general):

Dadas las valoraciones morales que una teoría moral T hace de portadores de valor con propiedades bien determinadas, ¿qué valoraciones morales hace (una versión generalizada de) T de portadores de valor cuyas propiedades no están bien determinadas de antemano?

El término "evaluación moral" abarca una amplia gama de asignaciones de estatus moral, tales como declaraciones de que algo está prohibido, permitido, moralmente requerido, bueno, malo, mejor que otra cosa con la que se compara, etc. El término "portadores de valor" se refiere a todas las entidades que pueden ser asignadas como valor (moral), incluyendo en particular las acciones humanas y los resultados de las acciones humanas.

En condiciones de riesgo, podemos volver a afirmar el problema de dilución causal de la siguiente manera:

El problema de dilución causal (versión probabilística):

Dadas las valoraciones morales que una teoría moral T hace de portadores de valor con propiedades bien determinadas, ¿qué valoraciones

morales hace (una versión generalizada de) T de mezclas probabilísticas de tales portadores de valor?

5.2 El actualismo

Comenzaremos con el utilitarismo, la teoría moral que más a menudo se ha aplicado a los problemas de riesgo. Un enfoque bastante obvio del problema de la dilución causal para el utilitarismo es el siguiente [Carlson, 1995].

Actualismo: La utilidad de una mezcla (probabilística) de resultados potenciales es igual a la utilidad del resultado que realmente se materializa.

Para ejemplificar el enfoque actualista, considere la decisión de un ingeniero de reforzar o no un puente antes de que se utilice para un transporte único y muy pesado. Existe un 50 % de riesgo de que el puente se derrumbe si no se refuerza. Supongamos que decide no reforzar el puente y que todo va bien; el puente no está dañado. Según el enfoque actualista, lo que hizo estuvo bien. Esto es, por supuesto, contrario a las intuiciones morales comunes.

La solución actualista requiere que usemos términos morales como "correcto" y "equivocado" de una manera que difiere radicalmente del uso ordinario. Si aceptamos el uso del actualista, entonces en la mayoría de los casos será imposible saber lo que está bien o mal (o permitido, moralmente requerido, bueno, mejor, etc.) hacer. De esta manera, la guía de acción es expulsada del discurso moral. Sin embargo, la orientación de la acción es en gran medida para lo que necesitamos ética. Por lo tanto, este es un enfoque inusualmente útil. Si lo seguimos, entonces la guía de acción tendrá que ser reintroducida de alguna otra manera.

5.3 Utilidad esperada

La solución estándar de decisión teórica al problema de dilución causal para el utilitarismo es la maximización de la utilidad esperada. Maximizar la utilidad esperada significa elegir entre un conjunto de alternativas una de las que tienen la utilidad más alta esperada, es decir, utilidad ponderada por probabilidad:

Utilidad esperada:

La utilidad de una mezcla probabilística de resultados potenciales es igual al promedio ponderado por probabilidad de los servicios públicos de estos resultados.

El argumento más fuerte a favor de maximizar la utilidad esperada objetivista es que este es un método bastante seguro para maximizar el resultado a largo plazo. Supongamos, por ejemplo, que el número esperado de muertes por accidentes de tráfico en una región será de 300 por año si los cinturones de estar seguro (safety) son obligatorios y 400 por año si son opcionales. Entonces, si estos cálculos son correctos, unas 100 personas más por año serán realmente asesinadas en el último caso que en el primero. Sabemos, al elegir una de estas opciones, si conducirá a menos o más muertes que la otra opción. Si pretendemos reducir el número de víctimas de tráfico, esto puede lograrse de forma segura, debido a la ley de grandes cantidades, maximizando la utilidad esperada (es decir, minimizando el número esperado de muertes).

La validez de este argumento depende del gran número de accidentes de tráfico que suenen de efectos aleatorios a largo plazo. Por lo tanto, el argumento no es válido para las decisiones caso por caso sobre eventos únicos o muy raros. Supongamos, por ejemplo, que tenemos una opción entre una probabilidad de 0.001 de un evento que matará a 50 personas y una probabilidad de 0.1 de un evento que matará a una persona. Aquí, los efectos aleatorios no se nivelarán como en el caso del cinturón de tráfico. En otras palabras, no sabemos, al elegir una de las opciones, si conducirá o no a menos muertes que la otra opción. En tal caso, tomado de forma aislada, no hay ninguna razón convincente para maximizar la utilidad esperada.

Sin embargo, una decisión en este caso de preferir la primera de las dos opciones (con el menor número de muertes esperadas) puede muy bien basarse en una aplicación razonable de la teoría de la utilidad esperada, a saber, si la decisión se incluye en un grupo suficientemente grande de decisiones para las que se ha tomado una decisión meta, para maximizar la utilidad esperada. Por ejemplo, se puede argumentar que un criterio para la regulación de los equipos de estar seguro (safety) en los automóviles debe ser uno de maximizar la utilidad esperada (minimizando los daños esperados). La aplicación coherente de este criterio en todas las diferentes decisiones reglamentarias específicas debe minimizar los daños causados por fallos técnicos de los vehículos de motor.

Cuanto mayor sea el grupo de decisiones que están cubiertas por tal regla, más eficiente es el efecto de nivelación. En otras palabras, cuanto mayor sea el grupo de decisiones, mayores serán las consecuencias catastróficas. Sin embargo, hay un límite práctico y absoluto a este efecto. El límite práctico es que las decisiones deben tomarse en piezas manejables. Si se amontonan demasiadas

cuestiones, entonces los problemas del procesamiento de información pueden conducir a pérdidas que superan cualquier ganancia que se podría haber esperado. Obviamente, las decisiones se pueden dividir en paquetes manejables de muchas maneras diferentes, y cómo se hace esto puede tener una fuerte influencia en los resultados de la decisión. Por ejemplo, es posible que no se dé la misma prioridad a la protección de los trabajadores contra la radiación si se agrupa junto con otras cuestiones de radiación como si se incluyera entre otras cuestiones del entorno de trabajo.

El límite absoluto al efecto de nivelación es que algunos resultados extremos, como una guerra nuclear o una amenaza ecológica importante para la vida humana, no pueden ser nivelados incluso en el hipotético caso limitante en el que toda toma de decisiones humanas tiene como objetivo maximizar la utilidad esperada. Tal vez el mejor ejemplo de esto es el uso por parte del Pentágono de asignaciones secretas de servicios públicos para un ataque nuclear accidental y la falta de respuesta a un ataque nuclear, como base para la construcción de dispositivos de mando y control [Paté-Cornell y Neu, 1985].

Incluso, cuando el argumento de nivelación para la maximización de la utilidad esperada es válido, el cumplimiento de este principio no es necesario por la racionalidad. En particular, es muy posible que un agente racional se abstenga de minimizar el daño total para evitar imponer riesgos de alta probabilidad a los individuos.

Para ver esto, supongamos que tenemos que elegir, en una situación aguda, entre dos formas de reparar una fuga grave de gas en la sala de máquinas de una fábrica química. Una de las opciones es enviar al reparador inmediatamente. (Sólo hay una persona a la mano que es competente para hacer el trabajo.) A continuación, correrá un riesgo de 0,9 para morir debido a una explosión del gas inmediatamente después de que haya realizado las operaciones técnicas necesarias. La otra opción es dejar salir inmediatamente el gas en el medio ambiente. En ese caso, el reparador no correrá ningún riesgo particular, pero cada una de las 10.000 personas en las inmediaciones de la planta corre un riesgo de 0,001 para ser asesinado por los efectos tóxicos del gas. La máxima de maximizar la utilidad esperada requiere que enviemos al reparador a morir. Esta es también una manera bastante segura de minimizar el número de muertes reales. Sin embargo, no está claro que sea la única respuesta posible la que sea racional. Un responsable racional de la toma de decisiones puede abstenerse de maximizar la utilidad esperada (minimizar el daño

esperado) para evitar lo que sería injusto para una sola persona e infringir sus derechos.

5.4 Teorías deontológicas y basadas en derechos

Robert Nozick formuló el problema de dilución causal para las teorías basadas en derechos (en su versión probabilística): "¿Imponer cuán leve es la probabilidad de que un daño que viole los derechos de alguien, también viole sus derechos?" [Nozick, 1974, p. 7]. En un lenguaje algo más general podemos reafirmarlo, y su contraparte deontológica, de la siguiente manera:

El problema de dilución causal para las teorías morales deontológicas/basadas en derechos (versión general):

Dados los deberes/derechos que una teoría moral T asigna con respecto a acciones con propiedades bien determinadas, ¿qué deberes/derechos asigna (una versión generalizada de) T con respecto a acciones cuyas propiedades no están bien determinadas de antemano?

El problema de dilución causal para las teorías morales deontológicas/basadas en derechos (versión probabilística):

Habida cuenta de los deberes/derechos que una teoría moral T asigna con respecto a acciones con propiedades bien determinadas, ¿qué deberes/derechos asigna (una versión generalizada de) T con respecto a las mezclas probabilísticas de tales acciones?

Una extensión de una teoría deontológica a casos indeterministas se puede obtener simplemente prescribiendo que una prohibición de lograr un cierto resultado implica una prohibición de causar un aumento en el riesgo de ese resultado (incluso si el aumento es muy pequeño). Del mismo modo, para una teoría basada en los derechos, se podría afirmar que si tengo derecho a que usted no dé lugar a un determinado resultado, entonces también tengo derecho a que usted no realice ninguna acción que tenga un riesgo distinto de cero de lograr ese resultado. Desafortunadamente, una extensión tan estricta de los derechos y prohibiciones es socialmente insostenible. Su derecho a no ser asesinado por mí implica ciertamente una prohibición para mí de realizar ciertos actos que implican un riesgo de matarlo, pero no puede prohibir todos esos actos. Una interpretación tan estricta haría imposible de convivir a la sociedad humana. Se me permite conducir un coche en la ciudad donde vives, aunque esto aumenta el riesgo de ser asesinado por mí.

Por lo tanto, los derechos y prohibiciones tienen que ser defendibles para que puedan ser cancelados cuando las probabilidades son pequeñas. La forma más obvia de lograr esto es asignar a cada derecho (prohibición) un límite de probabilidad. Por debajo de ese límite, se cancela el derecho (prohibición). Sin embargo, como observó Nozick, tal solución no es creíble, ya que los límites de probabilidad "no pueden ser utilizados por una tradición que sostiene que robar un centavo o un alfiler o algo de alguien, viola sus derechos. Esta tradición no selecciona una medida umbral de daño como límite inferior, en el caso de daños que seguramente se producirán" [Nozick, 1974, p. 75].

Claramente, una teoría moral no necesita tratar una ligera probabilidad de un daño considerable de la misma manera que trata un daño leve. Sin embargo, la analogía es relevante. La misma propiedad básica de las teorías de los derechos tradicionales, a saber, la forma intransigente en que protegen contra las desventajas para una persona infligida por otra, les impide trazar una línea de principios entre los daños o entre las probabilidades en términos de su aceptabilidad o negligencia. En particular, dado que no parece estar disponible ningún método basado en derechos para la determinación de esos límites de probabilidad, tendrían que ser externos a la teoría basada en los derechos. Exactamente el mismo problema se obtiene para las teorías deontológicas.

Los límites de probabilidad no resuelven el problema de dilución causal para estos tipos de teorías. No hay otra solución del problema de dilución causal para estas teorías parece estar disponible.

5.5 Teorías contractuales

Las teorías contractuales tal vez parezcan algo más prometedoras. El criterio que ofrecen para el caso determinista, a saber, el consentimiento entre todos los implicados, también puede aplicarse a las opciones de riesgo. ¿Podemos entonces resolver el problema de la dilución causal para las teorías contractuales diciendo que las imposiciones de riesgo deben ser aceptadas en la medida en que estén respaldadas por un consenso?

Desafortunadamente, esta solución está lejos de ser no problemática. El consentimiento, tal como se concibe en las teorías contractuales, es real o hipotético. El consentimiento real no parece ser un criterio realista en una sociedad compleja en la que todos realizan acciones con efectos marginales pero aditivos en la vida de muchas personas. De acuerdo con el criterio del consentimiento real, tienes un veto contra mí o cualquier otra persona que

quiera conducir un coche en la ciudad donde vives. Del mismo modo, tengo un veto contra el uso de carbón para calentar su casa, ya que las emisiones contribuyen a los riesgos para la salud que me afectan. De esta manera todos podemos bloquearnos unos a otros, creando una sociedad de estancamientos. Cuando todas las opciones de una decisión están asociadas con el riesgo, y todas las partes reclaman sus derechos a mantenerse alejados de los riesgos que otros quieren imponerles, el criterio del consentimiento real no parece ser de mucha ayuda.

Nos quedamos entonces con un consentimiento hipotético. Sin embargo, como ha demostrado el debate posterior a la Teoría de la Justicia de Rawls, no existe una sola regla de decisión para el riesgo y la incertidumbre que todos los participantes en una hipotética situación inicial se supone que deben adherirse [Hare, 1973; Harsanyi, 1975]. Queda por demostrar que se puede llegar a un consenso viable sobre las imposiciones de riesgo entre los participantes que aplican diferentes normas de decisión en situaciones de riesgo e incertidumbre. Aparentemente, esto no se ha hecho, y por lo tanto, la teoría de contratos tampoco tiene una solución al problema de dilución causal.

5.6 Restablecer el problema

Las dificultades que encontramos al tratar de resolver, el problema de la dilución causal en los marcos de los tipos comunes de teorías morales son indicios de un problema más profundo. Los intentos de soluciones revisados anteriormente se basan en un principio de derivación implícito: Se supone que, dadas las evaluaciones morales de las acciones con resultados deterministas, podemos obtener evaluaciones morales de las acciones cuyos resultados son mezclas probabilísticas de tales resultados deterministas. En otras palabras, se supone que las probabilidades y las utilidades (deterministas) son toda la información que necesitamos (Figura 1). Sin embargo, esta imagen es demasiado simplificada. Los aspectos moralmente relevantes de las situaciones de riesgo e incertidumbre van mucho más allá de los conjuntos impersonales y flotantes de consecuencias sobre los que opera la teoría de decisiones. Los riesgos están inextricablemente relacionados con las relaciones interpersonales. No sólo "existen"; son tomadas, dirigidas o impuestas [Thomson, 1985]. Por poner sólo un ejemplo, hace una diferencia moral si es la propia vida o la de alguien más que uno arriesga con el fin de ganar una fortuna para sí mismo. Por lo tanto, los aspectos relacionados con la persona, como el albedrío, la intencionalidad, el

consentimiento, etc., tendrán que tomarse en serio en cualquier relato razonablemente preciso del indeterminismo de la vida real (Figura 2).

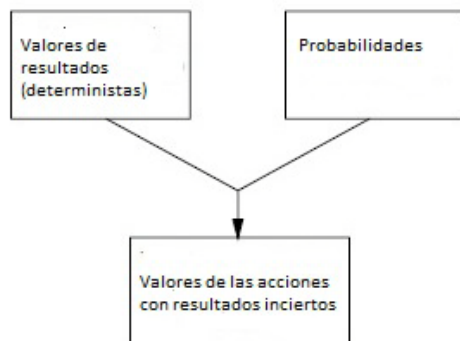


Figura 1. La vista estándar de cómo se pueden determinar los valores de las opciones indeterministas.

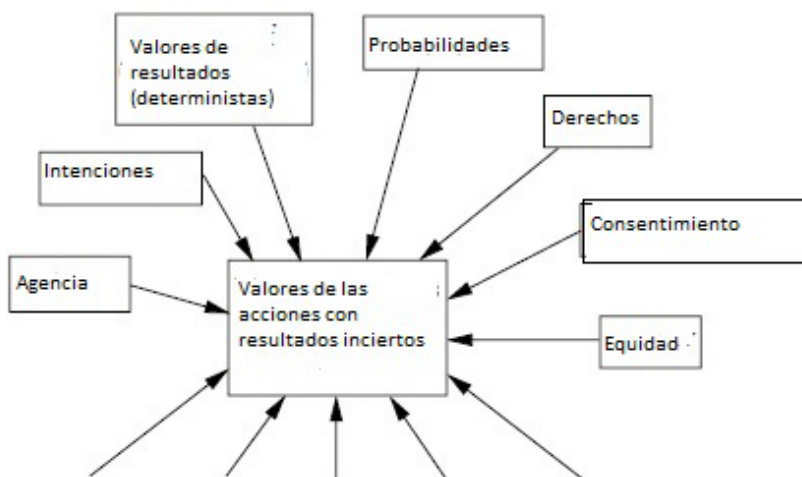


Figura 2. Una imagen menos incompleta de las influencias en los valores de Opciones.

Un análisis moral del riesgo que incluye consideraciones de agencia y responsabilidad será un análisis más en términos del verbo "riesgo" que del sustantivo (a) "riesgo". Los principales debates políticos sobre los riesgos han sido, en parte, los enfrentamientos entre el enfoque del "nombre" y el enfoque "verbo" del riesgo. Los defensores de la energía nuclear hacen hincapié en lo

pequeño que son los riesgos, mientras que los opositores cuestionan el acto mismo de arriesgarse a accidentes improbables pero potencialmente calamitosos.

Sobre la base de este análisis, el problema de dilución causal puede ser reemplazado por un problema de revocación que refleje mejor las cuestiones morales de las imposiciones de riesgo:

El problema de la revocación:

Es un derecho prima facie moral no estar expuesto al riesgo de impacto negativo, como el daño a la salud o a la propiedad, a través de las acciones de otros. ¿Cuáles son las condiciones en las que este derecho es derrotado, para que alguien pueda exponer a otras personas al riesgo?

5.7 Resolver el problema de la revocación

En la práctica social, el derecho prima facie moral a no estar expuesto al riesgo, tiene que ser revocado con bastante frecuencia. La vida social sería imposible si no se nos permitiera exponernos mutuamente a ciertos riesgos. Es importante observar que un derecho puede ser significativo y socialmente importante, incluso si a menudo puede ser revocado. Que es un derecho, significa que prevalece siempre que no hay razones de sobrepeso para no darse cuenta.

Para hacer esto más concreto: como conductores de automóviles ponemos en riesgo la vida de los demás. Sin embargo, si a todos se nos permite conducir un coche, exponiéndonos unos a otros a ciertos riesgos, entonces todos podemos llevar más vidas móviles, y esto será en equilibrio para todos nosotros (o eso podemos suponer). El mismo principio se puede aplicar a los intercambios de diferentes tipos de riesgos y beneficios, siempre y cuando estos intercambios sean mutuamente beneficiosos. Sin embargo, existe (o debería haber) un límite: Ninguna persona debe estar expuesta a riesgos en una medida o de maneras que sean sólo en beneficio de los demás, no de ella misma. No podemos exigir que cada exposición al riesgo sea para el beneficio de la persona expuesta al riesgo, pero podemos exigir que se organice la totalidad de las exposiciones al riesgo para que todos avancen y nadie sea explotado. Esto nos llevará a la siguiente solución al problema de la revocación:

(E) Nadie debería estar expuesto a un riesgo a menos que forme parte de un sistema social equitativo para la asunción de riesgos que funcione en su beneficio.

Por supuesto, esta regla debe especificarse en varios aspectos, tanto con fines teóricos como para hacerla útil en aplicaciones concretas. Debe compararse con el enfoque dominante en el análisis de riesgos que puede resumirse de la siguiente manera:

(RA) Una imposición de riesgos es aceptable si los beneficios totales que da lugar a ser, superan los riesgos totales, medidos como la inutilidad ponderada por probabilidad de los resultados.

Al elegir una regla como (E), en lugar de (RA), cambiamos el orden del día para los debates sobre el riesgo. Elegimos tratar a cada persona expuesta al riesgo como una persona soberana que tiene derecho a un trato justo, en lugar de como un portador de servicios públicos e inutilidad que tendría el mismo valor si fuera llevado por otra persona. Para argumentar de acuerdo con (RA) que es aceptable imponer un riesgo a una persona en particular, uno tiene que dar razones suficientes para aceptar el riesgo como tal, como una entidad impersonal. Según (E), uno en cambio tiene que dar razones suficientes para aceptar que esta persona en particular está expuesta al riesgo.

5.8 Retrospección hipotética

Con otros acontecimientos, el enfoque introducido en la sub-sección anterior puede ayudarnos a abordar las cuestiones distributivas en riesgo. Sin embargo, no nos ayuda a tratar la cuestión igualmente fundamental de los riesgos que debemos aceptar. Este es un asunto que trasciende el límite entre la moralidad y el interés propio racional.

Por supuesto, la respuesta estándar a esta pregunta es, que debemos aplicar la teoría de utilidad esperada. Sin embargo, esa teoría tiene varias debilidades, algunas de las cuales se han destacado anteriormente. Otra debilidad importante es su inestabilidad contra la ocurrencia real de un evento negativo grave que se incluyó en el cálculo. Esto se puede ver mediante el estudio de la discusión post-accidente después de casi cualquier accidente. Si se siguiera la argumentación de utilidad esperada hasta el final, muchos accidentes se defenderían como consecuencias de una maximización de la utilidad esperada que es, en todo, beneficiosa. Sin embargo, este tipo de razonamiento rara vez se

escucha en la práctica. Rara vez escuchamos a una empresa que fue responsable de un accidente mortal justificar la pérdida de vidas diciendo que fue el resultado de una decisión que, en términos de sus efectos totales, produjo mucho más bien que daño. En cambio, otros dos tipos de reacciones son comunes. Una de ellas es lamentar las deficiencias y estar de acuerdo en que uno debería haber hecho más para prevenir el accidente. La otra es afirmar que alguien más fue responsable del accidente.

También hay que señalar que las juntas de investigación de accidentes están instruidas para responder a las preguntas "¿Qué sucedió? ¿Por qué sucedió? ¿Cómo se puede evitar un evento similar?", no la pregunta "¿Era defendible el accidente en un cálculo de utilidad esperado?". Una vez que se ha producido un accidente grave, la aplicación de la maximización esperada de los servicios públicos parece mucho menos satisfactoria que la que hizo antes del accidente. En este sentido pragmático, la maximización de la utilidad esperada no es una estrategia estable.

Se necesita un marco de argumentación que aumente nuestra capacidad de llegar a decisiones de riesgo que somos capaces de defender incluso si las cosas no van en nuestro camino. Este marco se puede obtener mediante un sistematizador de un tipo común de argumentos en las discusiones cotidianas sobre las posibilidades futuras, a saber, argumentos que se refieren a cómo se podría llegar en el futuro a evaluar las posibles acciones consideradas. Estos argumentos se declaran a menudo en términos de arrepentimiento predicho:

"No hagas eso. Usted puede llegar a lamentarlo. Este tipo de argumento se puede sistematizar en un procedimiento en el que se identifican sistemáticamente los desarrollos futuros, y se evalúan las alternativas de decisión en cada uno de estos posibles desarrollos. Esta hipotética retro visión puede utilizarse como medio para lograr decisiones sociales más bien consideradas en cuestiones de riesgo. Sin embargo, no puede tenerse debidamente en cuenta en términos de arrepentimiento. Psicológicamente, el arrepentimiento es a menudo inevitable por la sencilla razón de que puede surgir en respuesta a información que no estaba disponible en el momento de la decisión. Por lo tanto, la evasión de la lamentación tiene que ser sustituida por métodos y criterios más cuidadosamente tallados para la hipotética retrospcción [Hansson, 2007].

Para un ejemplo simple, considere el propietario de una fábrica que ha decidido instalar un costoso sistema de alarma contra incendios en un edificio

que se utiliza sólo temporalmente. Cuando el edificio se toma fuera de uso, la alarma contra incendios aún nunca se ha activado. No obstante, el propietario puede considerar que la decisión de instalarla ha sido correcta, ya que en el momento de la decisión se tuvieron que considerar otros posibles acontecimientos en los que la alarma habría salvado vidas. Este argumento puede utilizarse, no sólo en la retro visión real, sino también, esencialmente de la misma manera, en una retrospección hipotética antes de la decisión. Alternativamente, supongamos que hay un incendio en el edificio. El propietario puede entonces lamentar que no instaló un sistema de aspersores mucho más caro pero altamente eficiente. A pesar de este pesar, puede considerar que la decisión ha sido correcta desde que lo hizo, tuvo que considerar el desarrollo alternativo, mucho más probable en el que no hubo incendio, pero el costo de los aspersores habría hecho imposibles otras inversiones. Por supuesto, este argumento se puede utilizar en una retrospección hipotética al igual que la anterior. De esta manera, cuando realizamos retrospectiva hipotética desde la perspectiva de una rama particular del desarrollo futuro, podemos referirnos a cada una de las ramas alternativas y utilizarla para desarrollar contraargumentos o argumentos de apoyo. En resumen, en cada rama podemos referirnos a todas las demás.

La retrospección hipotética puede convertirse en un procedimiento preciso para la deliberación colectiva sobre los riesgos e incertidumbres futuras [Godman y Hansson, 2009]. Sin embargo, también se puede simplificar a la versión de un gestor de riesgos: "Toma una decisión que también puedes defender si ocurre un accidente". En ambos casos, la retrospectiva hipotética tiene por objeto garantizar que pase lo que pase, la decisión que se tome será moralmente aceptable (permisible) desde la perspectiva de la retrospección actual. Del mismo tipo que podemos mejorar nuestras decisiones morales considerándolas desde la perspectiva de otras personas interesadas, también podemos mejorarlas considerando perspectivas alternativas de futuro.

EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA: CONCEPTOS Y MÉTODOS

Armin Grunwald

1 INTRODUCCION

La Evaluación Tecnológica (ET) constituye una respuesta científica y social a los problemas de la interfaz entre la tecnología y la sociedad. Ha surgido en el contexto de diversas experiencias relacionadas con los efectos secundarios no deseados y a menudo indeseables de la ciencia, la tecnología y la tecnificación que, en los tiempos modernos, a veces pueden asumir proporciones extremas. Los tipos de retos que han evolucionado para ET son los siguientes: el de integrar en una etapa temprana en los procesos de toma de decisiones, cualquier conocimiento disponible sobre los efectos secundarios, el de apoyar la evaluación del valor de las tecnologías y su impacto, el de elaborar estrategias para hacer frente a las incertidumbres de conocimiento que inevitablemente surgen, y el de contribuir a la resolución constructiva de los conflictos sociales sobre la tecnología y los problemas relacionados con la legitimación tecnológica. Lo que caracteriza a ET es su combinación específica de producción de conocimiento (en relación con el desarrollo, las consecuencias y las condiciones para la implementación de la tecnología), la evaluación de estos conocimientos desde una perspectiva social y las recomendaciones hechas a la política y a la sociedad. ET es por lo tanto interdisciplinario y trans-disciplinario y de acuerdo con sus métodos de investigación, puede ser clasificado como una "ciencia post-normal" [Funtowicz y Ravetz, 1993] y como una de las formas de "nueva producción de conocimiento" [Gibbons et al., 1994].

Todas las diversas preguntas relativas a los conceptos, metodología y contenido de ET están vinculadas a la filosofía. En cuanto a todas las cuestiones normativas que influyen en la evaluación tecnológica y el diseño tecnológico, existen estrechas éticas de los lazos tecnológicos [Grunwald, 1999], así como vínculos con las respectivas ramas de la ética aplicada (por ejemplo, bioética, ética médica, ética de la información). Las cuestiones relativas a la validez de los

conocimientos disponibles son pertinentes para la filosofía de la ciencia, especialmente en conjunción con la controversia científica, la relación entre los conocimientos y las interpretaciones divergentes de las implicaciones sociales del conocimiento científico (como actualmente, por ejemplo, se ejemplifican en la neurociencia). Las cuestiones normativas y epistémicas (conocimiento y valores) a menudo se entrelazan, como por ejemplo, cuando se trata de la aplicación y las consecuencias del principio de precaución [Harremoës et al., 2002; Schomberg, 2005]. Muchos temas de ET son, además, pertinentes a la filosofía de la tecnología o son antropológicamente relevantes, como las preguntas relativas a la interfaz hombre-máquina, la sustituibilidad de los seres humanos por los robots, el grado cada vez mayor en que los seres vivos están siendo penetrados por la tecnología, o la "mejora técnica" de los seres humanos [Roco y Bainbridge, 2002; Grunwald, 2007a].

Primero se ofrece una visión general de ET (Sección 2). ET se introduce de manera orientada a los problemas presentando las necesidades sociales que se propone abordar. Los antecedentes históricos de ET se esbozan sobre la base de los conceptos de ET propuestos y realizados y del espectro de métodos empleados en ET. El desafío central de ET consiste en el tratamiento de las dimensiones normativas de la tecnología. Por lo tanto, toda una sección (Sección 3) está dedicada a este aspecto. La sección final (Sección 4) ofrece una visión general de la evolución actual de la ET y de los requisitos para el futuro previsible.

2 EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA: UNA VISIÓN GENERAL

El término "Evaluación Tecnológica" (ET) es la designación colectiva más común de los métodos sistemáticos utilizados para investigar científicamente las condiciones y consecuencias de la tecnología y la técnica y para denotar su evaluación social. A primera vista, las actividades totalmente heterogéneas se someten bajo este nombre, como la predicción de las consecuencias de la tecnología, la comunicación del riesgo, la promoción de la innovación, la mejora de la legitimidad de las decisiones sobre la tecnología a través de una mayor participación [Joss y Belucci, 2002], la mediación en conflictos tecnológicos y la observación de la sostenibilidad. El problema que se ha encontrado al definir la ET consiste en que no está claro a priori cuál debe ser el denominador común de esos esfuerzos heterogéneos. Todavía no se ha proporcionado una definición consensuada, inequívoca y selectiva de ET. Dado que el surgimiento y el desarrollo de la ET están estrechamente relacionados con

situaciones específicas que surgen en la interfaz entre la tecnología y la sociedad, estas mismas situaciones constituyen el trasfondo central de la introducción y clarificación de la ET.

2.1 Los orígenes históricos de la evaluación tecnológica

ET surgió de circunstancias históricas específicas en las décadas de 1960 y 1970. El representante del Congreso estadounidense Daddario se considera ahora como el acuñador del término y de la teoría básica subyacente a ET [Bimber, 1996], que culminó con la creación de la Oficina de Evaluación Tecnológica (OET) en el Congreso en 1972 [Senado de los Estados Unidos, 1972]. Los antecedentes concretos consistían en el acceso asimétrico a información técnica y políticamente relevante entre los órganos legislativos y ejecutivos de los Estados Unidos. Mientras que el ejecutivo, gracias al aparato oficial a sus órdenes, fue capaz de recurrir a prácticamente, cualquier cantidad de información, el parlamento se quedó muy atrás. Se consideró que esta asimetría colocaba en peligro el equilibrio de poder —muy importante— entre las facetas legislativa y ejecutiva de las cuestiones relacionadas con la tecnología. Desde este punto de vista, el objetivo de la ET legislativa era restablecer la paridad [Bimber, 1996].

Paralelamente a este desarrollo muy específico, se estaban produciendo cambios radicales en los aspectos intelectuales e históricos, que debían resultar fundamentales para la ET. En primer lugar, se reforzó la creencia optimista en el progreso científico y técnico, que había predominado en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial. La ambivalencia de la tecnología fue un tema central tanto en la Teoría Crítica de la Escuela de Frankfurt (Marcuse, Habermas) como en la crítica "burguesa" occidental de la tecnología (Freyer, Schelsky) con su visión dialéctica del progreso tecnológico: "la fuerza liberadora de la tecnología —la instrumentalización de las cosas— se convierte en una plaga de liberación; la instrumentalización del hombre" [Marcuse, 1966, p. 159].

Al mismo tiempo, amplios segmentos de la sociedad occidental estaban profundamente inquietos por los "Límites de Crecimiento" [Meadows et al., 1972] que, por primera vez, abordaron los graves problemas ambientales percibidos como un efecto secundario de la tecnología y la tecnificación, y por las discusiones sobre invenciones técnicas en el entorno militar que pronosticaban la posibilidad de un ataque nuclear que pondría fin a la humanidad. La hipótesis optimista a favor del progreso de que todo lo que era científica y técnicamente nuevo beneficiaría definitivamente al individuo y a la sociedad. A partir de la

década de 1960, una visión más profunda de la ambivalencia tecnológica condujo a una crisis de orientación en la forma en que la sociedad se ocupaba de la ciencia y la tecnología. Sin esta crisis en torno a la creencia optimista en el progreso, ET presumiblemente, jamás se habría desarrollado o, más precisamente, nunca se habría extendido más allá de los modestos confines de la oficina del Congreso de los Estados Unidos antes mencionada.

Además, los problemas de legitimación relacionados con las decisiones tecnológicamente relevantes han sido cruciales para la génesis de la ET. Los problemas con los efectos secundarios, la finitud de los recursos y las nuevas cuestiones éticas han aumentado la complejidad de la toma de decisiones y han dado lugar a conflictos sociales sobre la legitimidad de la tecnología. Los procedimientos de planificación y toma de decisiones se desarrollaron ya en la década de 1950 con el espíritu de planificación del optimismo [Camhis, 1979] resultaron ser claramente inadecuados para resolver este problema. Además, el carácter tecnocrático y expertocrático de estos procedimientos se convirtió en un problema en una sociedad en la que la población y los medios de comunicación estaban empezando a vigilar más de cerca la democracia y la transparencia [van Gunsteren, 1976]. Las demandas de una democracia deliberativa [Barber, 1984] condujeron a un clima en el que fueron particularmente los aspectos críticos del progreso científico y técnico los que comenzaron a debatirse en la arena pública.

El alejamiento de las suposiciones metafísicas y filosóficas sobre la tecnología, también instigó el surgimiento de la ET, un campo que se centra en los criterios y medios que subrayan el desarrollo concreto de la tecnología en contextos históricos concretos, las condiciones que facilitan la maleabilidad de la tecnología en la sociedad y las limitaciones pertinentes. En el mundo post-metafísico [Habermas, 1988a], ya no es una cuestión de la liberación impulsada por la tecnología de la humanidad de las limitaciones de trabajo (Marx, Bloch) o de la "salvación" de la humanidad gracias a la intervención de ingeniería (Dessauer), tampoco es un problema de la deplorada "unidimensionalidad" del hombre en un mundo tecnificado (Marcuse), del "anticuismo del hombre" en marcado contraste con la tecnología que ha desarrollado (Anders) o de los temores de un fin tecnológicamente inducido a la historia humana [Jonas, 1979]. Se trata más bien del impacto de la tecnología y el diseño concreto de innovaciones técnicas específicas, por ejemplo, en el transporte, en la tecnología de la información, en el vuelo espacial y en la medicina. ET no se refiere a la tecnología como tal, sino más bien a los productos técnicos concretos, los

procesos, los servicios, los sistemas y sus impactos sociales y los entornos generales pertinentes. Estos desarrollos se reflejan en la filosofía de la tecnología, donde se hace más hincapié en la investigación empírica [Kroes y Meijers, 1995].

Los problemas mencionados desde el principio sobre el efecto que la toma de decisiones parlamentarias tiene en la tecnología, sólo dan la "ocasión" para la iniciación de instalaciones legislativas de ET, no las razones más profundas para la formulación de ET que se basan en la experiencia de la ambivalencia hacia el progreso técnico, en los problemas que rodean la legitimidad tecnológica en una sociedad con crecientes demandas de participación, y en la necesidad de concretar y contextualizar la evaluación de la tecnología en situaciones complejas de toma de decisiones. La ocurrencia de ET es, por lo tanto, uno de los descriptores más específicos que hacen de nuestra situación histórica una que pueda ser apodada "modernidad reflexiva" [Beck et al., 1996].

2.2 ET como respuesta a los desafíos sociales

El clima social de las décadas de 1960 y 1970 dio lugar a un perfil específico de requisitos de Asistencia al Cliente, que sigue siendo, en gran medida, pertinente en la actualidad, aunque siguen surgiendo nuevas expectativas y requisitos.

2.2.1 Las crecientes implicaciones de la ciencia y la tecnología

En el siglo XX, la importancia de la ciencia y la tecnología en casi todos los ámbitos de la sociedad (tocando el crecimiento económico, la salud, el ejército, etc.) ha crecido dramáticamente. Concomitante con esta mayor importancia, las consecuencias de la ciencia y la tecnología para la sociedad y el medio ambiente se han vuelto cada vez más serias. Ejemplos de ello son la creciente intervención en el medio natural como resultado de la actividad económica y del aumento de la interferencia del hombre —a través del progreso científico y técnico— en sus propias tradiciones sociales y morales y, en última instancia, también en su propia constitución biológica [Habermas, 2001]. El progreso tecnológico altera las tradiciones sociales, los hábitos culturales fijos, las identidades colectivas e individuales y los conceptos del yo, al tiempo que cuestiona las normas éticas tradicionales. Las decisiones relativas a la perseguida o el abandono de diversos caminos tecnológicos, reglamentos y programas de innovación, nuevos planes de desarrollo o la eliminación gradual

de las líneas de tecnología, a menudo tienen consecuencias de gran alcance para un mayor desarrollo. Pueden influir en la competencia en relación con las economías o carreras, activar o cambiar la dirección de los flujos de materias primas y residuos, influir en las fuentes de alimentación y la seguridad a largo plazo, crear problemas de aceptación, avivar las llamas de los conflictos tecnológicos, desafiar los sistemas de valor, crear nuevos "estados de ánimo" sociales e incluso cambiar la naturaleza humana [Roco y Bainbridge, 2002]. Las nuevas y emergentes tecnologías no son sólo un medio para realizar nuevas funciones técnicas, también son "indicadores del futuro" [Grunwald, 2006a], sobre la base de los cuales la sociedad llega a una comprensión de cuestiones no técnicas como las relacionadas, por ejemplo, con los cambios en las concepciones de la humanidad o de los nuevos órdenes sociales. A este respecto, existe una estrecha afinidad entre muchos problemas de ET y las grandes cuestiones filosóficas, incluso si las primeras se refieren a los detalles de las innovaciones técnicas.

La influencia considerablemente mayor de la ciencia y la tecnología hace que tales problemas ganen más atención tanto en la política como desde el punto de vista público y se conviertan en objeto de reflexión crítica. Esto se refiere directamente a los efectos secundarios tecnológicos, pero cada vez más a toda la dirección del progreso tecnológico. ET tiene una función importante a la hora de discutir y asesorar, de manera basada en el conocimiento y éticamente reflexiva, las posibilidades y/o necesidades de la conformación social de la tecnología [Yoshinaka et al., 2003], establecer una opinión democrática informada [Fisher, 1990], crear una política de conocimiento [Stehr, 2004], o fomentar el desarrollo sostenible [Ludwig, 1997; Grunwald y Kopfmaller, 2006].

2.2.2 Efectos secundarios y problemas de precaución

Desde la década de 1960, los efectos adversos de las innovaciones científicas y técnicas han sido considerables y algunos de ellos fueron de proporciones dramáticas: accidentes en instalaciones técnicas (Chernobyl, Bhopal), amenazas para el medio ambiente natural (contaminación del aire y el agua, agujeros de ozono, cambio climático), efectos negativos en la salud como en el caso del amianto, efectos secundarios sociales y culturales (por ejemplo, problemas del mercado laboral causados por ganancias) y el abuso intencional de la tecnología (los ataques al Centro del Comercio Mundial). Esta lista ilustra por qué se han abandonado actualmente muchas expectativas optimistas relacionadas con el progreso tecnológico futuro. La creciente gama de efectos

negativos en el tiempo y el espacio, alcanzando incluso un nivel tecnológico "global", enfatiza la relevancia de todo esto. En parte, incluso la percepción de la tecnología ha estado dominada por el temor a las amenazas apocalípticas a la continuidad de la humanidad (por ejemplo, [Jonas, 1984]). Jugar los efectos secundarios refiriéndose a ellos como "el precio del progreso técnico" puede hacer que la gente realmente cuestione los aspectos positivos de la tecnología.

Esta experiencia con impactos tan inesperados y en algunos casos graves de la tecnología, es fundamental para la motivación de ET. De hecho, en muchos casos, habría sido deseable haber sido advertido sobre los desastres de antemano, ya sea para prevenirlos, o estar en condiciones de tomar medidas compensatorias. Esto explica por qué el término metodológicamente bastante problemático "alerta temprana" con respecto a los impactos tecnológicos siempre ha tenido un lugar prominente en las discusiones de ET desde el principio [Paschen y Petermann, 1991, p. 26].

La creciente complejidad de los sistemas técnicos, su entrelazado diverso y su conectividad con muchas áreas de la sociedad, aumenta las dificultades de poder predecir y considerar las consecuencias de acciones o decisiones. Esto se aplica, por un lado, por ejemplo, a las tecnologías de infraestructura, en particular en los campos del transporte, la energía y el agua, que están estrechamente aliados a los hábitos, los patrones de consumo y las instituciones sociales. Por otro lado, debido al gran número de interfaces que deben tenerse en cuenta, las nuevas tecnologías transversales, como la nanotecnología, tienden a ampliar el espectro de los posibles efectos secundarios que deben incluirse en las decisiones relativas a estas tecnologías, aumentando así la incertidumbre conexas.

Esta situación conduce a un problema de precaución social y política: ¿cómo pueden las sociedades que depositan sus esperanzas y confianza en la innovación y el progreso, y deben seguir haciéndolo en el futuro, protegerse de los efectos secundarios indeseables, posiblemente desastrosos, y cómo el conocimiento puede almacenar prevención para hacer frente a posibles efectos adversos futuros? Los problemas clásicos de este tipo son, por ejemplo, el uso y la liberación de nuevos productos químicos —la historia catastrófica del uso del amianto es un buen ejemplo [Gee y Greenberg, 2002]—, que se trata de organismos modificados genéticamente, o las consecuencias desconocidas de la acumulación de sustancias químicas no degradables en los océanos del mundo, especialmente en las regiones polares (para más ejemplos, cf. Harremoës et al.

[2002]). Para poder hacer frente racionalmente a estas situaciones de poco o ningún conocimiento de algunos de los efectos del uso de la tecnología, se requieren investigaciones prospectivas y procedimientos de precaución correspondientes para la gestión del riesgo social, por ejemplo aplicando el principio de precaución [Schomberg, 2005]. Los problemas de precaución de este tipo son un campo clásico de ET.

2.2.3 Las cuestiones éticas del progreso técnico

Durante mucho tiempo, la cuestión de si la tecnología tenía algún contenido moralmente relevante y, por lo tanto, podía ser un tema de reflexión ética en absoluto era un tema controvertido. Ya en la década de 1990, la tecnología fue sostenida por muchos, en particular científicos e ingenieros, para ser libre de valor. Desde entonces, el contenido de valor de la tecnología ha sido revelado, y los antecedentes normativos de las decisiones sobre tecnología (tanto en el diseño como en el laboratorio) han sido reconocidos en numerosos estudios de caso y han sido objeto de reflexión (por ejemplo, [Winner, 1980; Mitcham, 1994; van de Poel, 2001; van Gorp, 2005]). La base de este desarrollo es ver la tecnología menos como un conjunto de objetos o procedimientos abstractos, pero más como integrado en los procesos sociales y tomarlo en serio. La tecnología no es la naturaleza; no emerge por sí sola, sino que se produce para satisfacer objetivos y propósitos. La tecnología, entonces, siempre está integrada en las intenciones sociales, los diagnósticos de problemas y las estrategias de acción. Debido a los efectos secundarios mencionados anteriormente, todo el campo de cuestiones éticas de aceptación de riesgos y aceptabilidad entra en juego. En este sentido, no existe una tecnología "pura", divorciada de la sociedad.

Por lo tanto, se ha reconocido ahora que la tecnología comprende valores y es un objeto legítimo de responsabilidad en el sentido normativo (cf. por ejemplo, van Gorp y Grunwald [2007]). Los criterios morales empleados (es decir, si algo debería, podría, o debe ser) diferir claramente según el grupo de que se trate, ya sean fabricantes, operadores, usuarios o afectados directa o indirectamente. Las tareas que requieren reflexión ética se presentan precisamente cada vez que el juicio de varios actores conduce a resultados divergentes y hace que los conflictos morales se manifiesten [Grunwald, 2000]. Se han planteado una serie de serias cuestiones éticas, especialmente como resultado de las innovaciones en las ciencias modernas de la vida, y también se han convertido en objeto de debate público. Estas cuestiones se refieren en

particular a la clonación reproductiva, la medicina reproductiva, la investigación con células madre y la "mejora técnica de los seres humanos" [Roco y Bainbridge, 2002]. Hoy en día, por lo tanto, no hay duda de que ET también debe preocuparse inevitablemente por cuestiones normativas, lo que significa que de esta manera se vuelve estrechamente relacionada con la ética [Grunwald, 1999].

2.2.4 Conflictos tecnológicos y problemas de legitimación

Los conflictos sociales relacionados con la ciencia y la tecnología no son inusuales; son inherentes a cualquier sociedad pluralista. Las respuestas a preguntas sobre la conveniencia o la aceptabilidad de la tecnología, sobre si los riesgos tecnológicos son aceptables o sobre dónde se encuentran precisamente los límites éticos de la tecnología son generalmente controvertidos debido al pluralismo social, los diferentes grados a los que diferentes grupos en el mundo moderno se ven afectados por diversos impactos tecnológicos, intereses divergentes y las diferentes convicciones morales de las personas. Las imágenes del futuro, los deseos y los temores, las visiones y los escenarios también suelen ser cuestionados [Brown et al., 2000]. Los conflictos son característicos de las decisiones en el ámbito de la tecnología, mientras que el consenso tiende a constituir la excepción. Tomar decisiones en tales situaciones de conflicto a menudo resulta en problemas de legitimación porque habrá ganadores (que se benefician de decisiones específicas) y perdedores. Este es con frecuencia el caso cuando se deben tomar decisiones sobre el sitio de una instalación técnica, como una central nuclear, una planta de eliminación de residuos o una gran planta de producción química. Dependiendo de la ubicación seleccionada, las personas en el vecindario directo tendrán que aceptar más desventajas que otras. Los problemas de legitimación siempre surgen cuando la distribución de ventajas y desventajas es desigual.

Habida cuenta de las décadas de experiencia en una serie de problemas de aceptación muy graves y ciertos conflictos graves sobre la tecnología, ha quedado claro que la cuestión de la legitimación es obviamente importante. Se pueden dar muchos ejemplos como: la oposición a la energía nuclear, el problema de la expansión de los aeropuertos, el problema de cómo eliminar los desechos radiactivos, la liberación de plantas modificadas genéticamente y los conflictos regionales y locales en los sitios de eliminación de desechos, las instalaciones de incineración de desechos o la ubicación de las instalaciones de procesamiento químico. En estos ámbitos, las decisiones políticas con frecuencia

no son aceptadas por los afectados o por el público en general, a pesar de que son el resultado de procedimientos democráticos de toma de decisiones.

La diferenciación de las sociedades modernas, su fragmentación en grupos plurales con diferentes convicciones morales y la heterogeneidad cultural aumentada por la migración y la globalización, hacen difícil lograr un consenso general sobre la tecnología. Como lo demuestran los ejemplos de tecnología nuclear (reactores atómicos, plantas de reprocesamiento, transporte y eliminación de residuos radiactivos), los conflictos sobre la tecnología y su falta de aceptación en la sociedad han dado lugar a situaciones que prácticamente conducen a un estancamiento social. Aquí es precisamente donde se encuentra el peligro: la escalada del conflicto sobre la tecnología puede conducir a un endurecimiento de las posiciones fundamentalistas que, a su vez, pueden ser una obstrucción para encontrar soluciones pragmáticas a los problemas y a veces casi incluso puede conducir a una guerra civil. El desafío a la sociedad consiste en hacer frente a los conflictos de tal manera que las decisiones resultantes sean reconocidas como legítimas, incluso si van en contra de los intereses, valores y preferencias de algunas partes. En particular, son los procedimientos participativos de ET los que tratan de proporcionar soluciones a este problema (Sección 2.4.2).

La resolución de los problemas relacionados con la legitimación y los conflictos tecnológicos se complica por una cierta desconfianza pública hacia las decisiones tomadas por expertos que ha ido creciendo durante décadas. Con frecuencia se plantea una situación en la que los conocimientos especializados y los contraproyectos entran en conflicto invalidando así a los ojos del público la experiencia de las autoridades científicas. Los científicos no sólo son, como dicta su auto-comprensión tradicional, defensores incorruptibles de los conocimientos objetivos, sino que también son partes interesadas en su propia causa, grupos de presión para intereses externos o ciudadanos comprometidos con convicciones políticas, no todos los cuales siempre se pueden mantener claramente separados de su posición profesional. Además de esto, el sistema político se percibe como cada vez menos de un fideicomisario de los intereses de los ciudadanos, y cada vez más interesado en su propio beneficio. Por lo tanto, los métodos para resolver problemas de legitimación implican básicamente la integración más frecuente de no expertos [Fischer, 1990]. Por lo tanto, la sección 2.4.2 de esta contribución, cf. Sección 2.4.2 de esta contribución) y las soluciones a problemas específicos en la comunicación entre expertos y no expertos

[Bechmann y Hronsky, 2003] pertenecen al espectro de la responsabilidad de ET.

2.2.5 Dificultades económicas y requisitos previos para la innovación

Desde el principio, ET ha sido un aspecto del sistema nacional de innovación. Si, en la fase inicial, se trataba principalmente de proporcionar una alerta temprana sobre los riesgos tecnológicos, no se hizo tanto para obstaculizar las nuevas tecnologías como para abrir oportunidades para evitar o superar esos riesgos detectándolos desde el principio. La detección temprana de riesgos se ajusta a la tradición de desplegar los potenciales de innovación de la ciencia y la tecnología "bien" como sea posible. Por esta razón, otro tema de ET que surgió desde el principio fue la detección temprana de oportunidades tecnológicas para que se pudiera aprovechar mejor estos beneficios y para que los beneficios y peligros también pudieran determinarse racionalmente. La búsqueda de oportunidades y posibles aplicaciones innovadoras de la tecnología es un aspecto inseparable de ET [Ayres et al., 1970; Smits y Leyten, 1991].

Desde la década de 1990, han surgido nuevos desafíos. En muchas economías nacionales, se han recortado graves problemas económicos, que han llevado al desempleo masivo y a las consecuencias que los acompañan a los sistemas de bienestar social. Se dice que el aumento de la innovación desempeña un papel clave en la solución de estos problemas. Sobre la base de este análisis, se han atribuido nuevas funciones a ET en el ámbito de la investigación en innovación [Smits and Den Hertog, 2007]. Su premisa básica es involucrar a ET en el diseño de productos y procesos innovadores porque la investigación en innovación ha demostrado que las invenciones científico-técnicas no conducen automáticamente a innovaciones relevantes y económicamente rentables. La "oferta" de la ciencia y la tecnología y la "demanda" social no siempre se corresponden. Esto significa que hay que prestar más atención a una orientación más pronunciada hacia las necesidades de la sociedad dentro del sistema científico-técnico, la difusión de innovaciones y el análisis de oportunidades y limitaciones.

La cuestión teórica de cómo las condiciones económicas contribuyen al éxito o al fracaso de las innovaciones técnicas demuestra que ET tiene un interés activo en los antecedentes sociales pertinentes. Las cuestiones culturales y sociales también se consideran factores relevantes para las innovaciones. La inclusión de los usuarios en el diseño de tecnología, con el fin de vincular mejor

las propuestas técnicas y las demandas de los consumidores, también debe mencionarse aquí [Smits and Den Hertog, 2007].

2.3 Características generales y definición de ET

Las facetas antes mencionadas del diagnóstico de la evolución de la sociedad en las últimas décadas, constituyen el contexto problemático con el que se formuló ET y la solución a la que se supone que debe contribuir. Dependiendo del contexto, las expectativas sociales correspondientes se presentan en una forma específica, y muestran una heterogeneidad considerable. A pesar de la diversidad estimulada por esta situación, las características generales de la ET pueden, no obstante, enumerarse:

- **Orientación sobre Asesoramiento y Toma de Decisiones:** ET apoya a la opinión pública y la participación del público en las decisiones sobre ciencia y tecnología. En este esfuerzo, tiene como objetivo integrar el conocimiento y las orientaciones de ET en la perspectiva de los responsables de la toma de decisiones: el conocimiento de ET es conocimiento para aquellos que deben ser aconsejados. Debido a que las decisiones siempre afectan al futuro, siempre se incluye una referencia al futuro. ET siempre funciona ex ante con respecto a las decisiones.

- **Efectos secundarios:** En ET, se trata de combinar el apoyo a la toma de decisiones "completo" con la contemplación más amplia posible del espectro de efectos previsible o presumibles. Más allá de la teoría clásica de la decisión, que establece la relación entre objetivos y medios de acuerdo con el punto de vista de la eficiencia, ET centra su atención en los efectos secundarios no intencionales como característica constitutiva [Bechmann et al., 2007].

- **Incertidumbre y riesgo:** Orientación hacia el futuro y los problemas planteados por los efectos secundarios a menudo conduce a una incertidumbre considerable con respecto al conocimiento de ET. Por lo tanto, ET siempre tiene que ver con la prestación de apoyo a la toma de decisiones en conjunción con innovaciones complejas en condiciones de incertidumbre. El impacto de tales decisiones es difícil de predecir.

- **Relación con el valor:** La racionalidad de las decisiones no sólo depende del conocimiento sobre los sistemas involucrados y de los conocimientos de orientación de la acción disponibles, sino también de los principios normativos básicos. Por lo tanto, la divulgación y el análisis de las

posiciones normativas implicadas son también un aspecto del servicio de asesoramiento de ET (por ejemplo, en función de la reflexión ética o de las evaluaciones de sostenibilidad [Grunwald, 1999; Ludwig, 1997]).

- **Enfoque Sistémico:** ET tiene como objetivo lograr una visión integral de los campos afectados. Varias perspectivas, por ejemplo, de diferentes disciplinas científicas, deben integrarse en un panorama coherente. La atención específica se dedica a las interrelaciones sistémicas entre los impactos de la tecnología en diferentes áreas sociales.

- **Amplia comprensión de la innovación:** ET entiende una noción amplia vinculada al término "innovación". Más allá de la mera comprensión técnica de las innovaciones como nuevos productos o sistemas, ET contempla las innovaciones sociales, políticas e institucionales y, en general, también considera las innovaciones socio-técnicas.

- **Pensar en alternativas:** Cuando se trabaja en proyectos concretos, ET no se limita a una determinada tecnología, sino que siempre opera en una ventana abierta de posibles alternativas. Las supuestas necesidades inherentes se desglosan para que se pueda ganar margen de maniobra para la estructuración. En los procesos concretos, siempre se plantea la cuestión de si los resultados deseados no se podían realizar de una manera diferente. Por lo tanto, también se examinan opciones alternativas que no se basan en la tecnología, sino que se refieren a las medidas de planificación política. "Pensar en alternativas" se ha convertido así en una tradición específica de ET.

- **Interdisciplinario y Trans-disciplinario:** ET se preocupa por problemas sociales complejos que afectan las decisiones tecnológicas y los efectos secundarios tecnológicos. Lo hace por razones científicas respaldadas por la investigación. Por regla general, tales problemas se trabajan de manera interdisciplinaria o trans-disciplinaria.

- **Limitación del tiempo:** Los plazos para completar los análisis y estudios también se entrelazan inextricablemente con el proceso de toma de decisiones. El conocimiento de ET tiene que estar disponible en ciertos momentos, independientemente de si toda desiderata para un conocimiento integral y confiable puede ser satisfecha. Sin este límite pragmático, la afirmación de ET de proporcionar análisis que sean lo más completos posibles podría conducir a historias interminables.

Ahora que se han enumerado las principales características, introduciremos ET de manera orientada a los problemas de acuerdo con sus responsabilidades sociales en la prestación de conocimientos específicos y servicios de asesoramiento. Podemos aprovechar la definición existente de ET que establece que: "La evaluación de la tecnología (ET) es un proceso científico, interactivo y comunicativo que tiene como objetivo contribuir a la formación de la opinión pública y política sobre los aspectos sociales de la ciencia y la tecnología" [Decker y Ladikas, 2004]. Esta definición hace hincapié en que ET contribuye a la resolución de problemas, pero no pretende proporcionar soluciones reales. ET proporciona conocimiento, orientación o procedimientos sobre cómo hacer frente a ciertos problemas en la interfaz entre la tecnología y la sociedad, pero no es capaz ni legitimado para resolver estos problemas. Sólo la sociedad puede hacerlo, a través de sus instituciones y sus procesos de toma de decisiones. Por lo tanto, existe una diferencia constitutiva entre asesorar y decidir.

La definición anterior también incluye el atributo "sociedad" que especifica que la esfera pública y política, es el lugar para discutir y tratar los efectos pertinentes del impacto tecnológico. ET se ocupa de los aspectos de la tecnología que tienen implicaciones sociales. Aquí el enfoque de ET habita en la perspectiva de efectos secundarios no deseados. Los accidentes, el impacto ambiental, los efectos secundarios no intencionales en la vida social (por ejemplo, en el empleo) y otras consecuencias tecnológicas que no fueron intencionadas ni previstas, son algunas de las cuestiones más importantes en los tiempos modernos. ET también se ha establecido como un medio social para permitir que tales situaciones se aborden de manera constructiva al tiempo que se hace uso de la investigación científica [Bechmann et al., 2007]. La alerta temprana, el desarrollo sostenible y el principio de precaución son nociones pertinentes aquí.

Se ha formado una comunidad internacional en torno al concepto de ET esbozado más o menos anteriormente [Rader, 2002; Vig y Paschen 1999]. Parte de esta comunidad trabaja en instituciones expresamente dedicadas a TA (por ejemplo, para proporcionar asesoramiento sobre política parlamentaria) y sus organizaciones (cf., por ejemplo, la Red Europea de Evaluación de la Tecnología REET, www.eptanetwork.org), parte de ella está organizada en redes (cf., por ejemplo, la red en lengua alemana TA, www.netzwerk-ta.net), y otra parte converge en las organizaciones disciplinarias y conferencias, como en secciones de organizaciones profesionales o filosóficas, o en la Comunidad STS científica

social (Estudios científicos y tecnológicos), por ejemplo, bajo los auspicios de EASST (la Asociación Europea para el Estudio de la Ciencia y la Tecnología), y de muchas actividades IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) relacionadas con las implicaciones sociales de la tecnología.

2.4 Conceptos de Evaluación Tecnológica

Cumplir las responsabilidades antes mencionadas de ET y satisfacer las expectativas sociales detrás de esas responsabilidades requiere un marco operable que incluya diferentes facetas, típicamente conceptos de investigación, modelos de difusión del conocimiento, conceptos de tareas para instituciones dedicadas de ET, o ideas sobre el discurso público y el papel de ET dentro de eso. Existen conceptos de ET en el nivel más alto de la operacionalización de ET, ya que reducen la complejidad de toda la colección de requisitos a los puntos focales.

A lo largo de su historia, ET ha sufrido una serie de metamorfosis. Tendencias sociales e indicaciones de investigación como la planificación del optimismo o el escepticismo, el positivismo y la orientación al valor, el constructivismo social y la investigación sobre la génesis de la tecnología, la participación y la sociedad civil, la pérdida de confianza en las decisiones de expertos y conceptos como la Sociedad de Riesgos, la Sociedad de Redes y la Sociedad del Conocimiento, la globalización económica, la discusión sobre la incertidumbre del conocimiento, las nuevas formas de producción de conocimiento [Gibbons et al. , 1994], y el principio rector del desarrollo sostenible han dejado su huella en ET. Durante más de 30 años se han desarrollado de esta manera algunos conceptos complementarios, algunos competidores y algunos conceptos de ET adaptados a diversos requisitos. Los conceptos de ET que se presentan a continuación tienen por objeto proporcionar la impresión más variada posible de la diversidad conceptual de ET.

2.4.1 El concepto "clásico" de ET

El concepto clásico de ET es una construcción ex post facto. De hecho, incorpora aspectos de la forma en que se practicó ET durante su fase "clásica" en la década de 1970, en la Oficina de Evaluación Tecnológica (O ET) en el Congreso de los Estados Unidos [Senado de los Estados Unidos, 1972; Bimber, 1996] pero en muchos aspectos es una estilización posterior y no una reconstrucción histórica adecuada. No obstante, es útil recordar los elementos de este concepto clásico, sobre todo porque las delimitaciones y las reorientaciones pueden

describirse más claramente en este contexto. Los siguientes seis elementos (parcialmente normativos) se consideran constitutivos para la conceptualización clásica de ET:

Positivismo: ET en el sentido clásico está dominado por una comprensión positivista de la ciencia. Designa un método para producir "información exacta, completa y objetiva sobre la tecnología, con el fin de facilitar el compromiso social efectivo de los decisores" [Senado de los Estados Unidos, 1972]. En primer plano y elaborado a los efectos de los decisores, está la descripción de lo que es el estado del arte de la técnica y las supuestas consecuencias de la misma. Las recomendaciones o sentencias independientes siguen reservadas a la esfera política; no son el dominio de ET. La O ET no da "recomendaciones, qué se debe hacer, sino más bien... información sobre lo que se podría hacer" [Gibbons, 1991, p. 27]. El legado positivista de ET de que "O ET nunca toma posición" [Williamson, 1994, p. 212] se deriva de que el postulado de la ciencia está libre de valor (Weber). El concepto clásico corresponde de esta manera a una división de trabajo decisoria que entre la ET positivista y la preservación de la planificación de la política: ET proporciona un conocimiento supuestamente libre de valor sobre la tecnología y el impacto de la tecnología mientras que el sistema político evalúa estos conocimientos y toma decisiones.

Estatismo: En la visión clásica ET se percibe exclusivamente para proporcionar asesoramiento a la política. Esto se basa en la suposición de que el Estado tiene la autoridad para dirigir la tecnología en una dirección deseada de la sociedad: el Estado puede adquirir los conocimientos necesarios sobre los impactos; representa el interés público, a diferencia de las preferencias e intereses de los ciudadanos, y es la autoridad central de planificación facultada para implementar realmente intenciones y programas de gestión social. Esta interpretación estatista del Estado es característica del período de planificación del optimismo [Camhis, 1979] cuando se estableció ET. Esta fijación sobre el estado en la primera fase de ET ha recibido desde entonces duras críticas (por ejemplo, [van Gunsteren, 1976]) que han motivado el desarrollo de enfoques de ET más participativos.

Exhaustividad: ET en el sentido clásico tiene como objetivo la exhaustividad con respecto a las consecuencias de la tecnología a estudiar. La esperanza es que un registro completo de los efectos de una tecnología ayude a la sociedad a evitar sorpresas desagradables durante su introducción y en la automatización de procesos. En cierto sentido, esta suposición es el legado del

optimismo de planificación anterior. Según este punto de vista, debe haber un conocimiento completo de todos los datos sobre el problema que se decidan —y un conocimiento completo de todos los efectos secundarios— para eliminar las incertidumbres. En concepciones anteriores, las personas trataron de satisfacer esta demanda de integridad a través del análisis del sistema [Paschen et al., 1978]: los efectos secundarios de la tecnología son a menudo el resultado de un proceso reticulado sistémicamente con relaciones e interacciones no lineales de causa y efecto que son difíciles de discernir.

Cuantificación: En este enfoque también había grandes expectativas con respecto a la aprensibilidad cuantitativa de los efectos de la tecnología. Se esperaba que la teoría de sistemas, en combinación con la cuantificación de las regularidades sociales, preparara modelos cuantitativos de cadenas causales y leyes de procesos sociales y, por lo tanto, los "objetive". Este enfoque también albergaba la expectativa de que el problema de la subjetividad (o de la falta de intersubjetividad) en las evaluaciones de los efectos de la tecnología pudiera resolverse mediante la cuantificación (véase la Sección 3.2 para conocer las limitaciones de esta expectativa).

Pronóstico: ET en la interpretación clásica fue visto, por encima de todo, como una determinación pronóstico del impacto de la tecnología y como un mecanismo de alerta temprana para los riesgos causados tecnológicamente. En analogía con un pronóstico basado en sistemas naturales, las leyes de los procesos sociales debían ser descubiertas y utilizadas para los pronósticos cuantitativos, que deberían ser lo más exactos posible. Por lo tanto, las extrapolaciones de tendencias y las suposiciones sobre las leyes deberían permitir extrapolar una serie empíricamente registrada de parámetros relevantes en el futuro. Este conocimiento pronóstico debería permitir entonces que el sistema político reaccionara de manera adecuada y pronta y, si surge la situación, tomar contramedidas contra los peligros.

Orientación hacia los expertos: El concepto clásico de ET está orientado a los expertos de ET. Deben proporcionar los conocimientos necesarios y comunicarse con los responsables de la toma de decisiones ofreciendo asesoramiento político. A diferencia de los diversos modelos de ET participativo (véase más adelante), la ET clásica se considera centrada en expertos, de ahí la acuñación del término a veces utilizado "expertocrático".

2.4.2 Tecnología participativa, una evaluación

Desde los inicios de ET, ha habido una demanda reiterada de orientación participativa, siguiendo con frecuencia las ideas normativas de los campos de la democracia deliberativa o la ética del discurso [Barber, 1984; Habermas, 1988b; Renn y Webler, 1998]. Los problemas de evaluación fueron una fuerza impulsora detrás de esta demanda, ya que, de acuerdo con ideas derivadas de la teoría de la democracia (por ejemplo, [Barber, 1984]), la evaluación no debe dejarse únicamente a los expertos científicos (expertocrático) o a los decisores políticos (decisionismo). Es tarea de la ET participativa incluir a los grupos sociales —grupos de presión, ciudadanos afectados, no expertos y el público en general— en el proceso de evaluación de la tecnología y sus consecuencias. De esta manera, se considera que los procedimientos de asistencia personal y servicios de asistencia personal participativa mejoran la legitimidad práctica y política de las decisiones sobre tecnología [Paschen et al., 1978, p. 72]. Dicha ET está informada por la ciencia y los expertos y, además, por personas y grupos externos a la ciencia y la política [Joss y Durant, 1995; Joss y Bellucci, 2002].

La demanda de que los afectados participen en las decisiones sobre tecnología, se ha puesto en práctica cada vez más desde la década de 1980, comenzando en las naciones más pequeñas y tradicionalmente discursivas de Europa occidental y septentrional, como Dinamarca y los Países Bajos. La participación ha adquirido especial relevancia, por un lado, en muchos debates sobre localización tecnológica (por ejemplo, ampliación de aeropuertos, sitios de eliminación de residuos, plantas de procesamiento de productos químicos, sitios de eliminación final de residuos radiactivos), en los que el problema generalizado de NIMBY (No en mi patio trasero) conduce a que la participación sea enfáticamente necesaria [Renn y Webler, 1998]. Por otro lado, la participación se convirtió en una característica constitutiva de los llamados procesos "Previsión" [Martin e Irvine, 1989] en los que, por ejemplo, se formuló la agenda para las políticas de investigación y para la promoción de la tecnología, o se formularon visiones para el desarrollo de ciertas regiones [FOREN, 2001].

Se cree que la participación de los ciudadanos y de los afectados mejora el conocimiento, así como los valores en los que se basan los juicios y se toman decisiones. El "conocimiento local", con el que los expertos y los responsables de la toma de decisiones a menudo no están familiarizados, debe utilizarse para lograr la base de conocimientos más amplia posible y para fundamentar las decisiones. Esto discerniblemente se aplica especialmente a los problemas tecnológicos locales y regionales, en particular, a las cuestiones de ubicación.

Además, en una democracia deliberativa, es necesario tener en cuenta los intereses y valores de todos los participantes y afectados en el proceso de toma de decisiones. La participación debe hacer posible que las decisiones sobre tecnología sean aceptadas por un espectro más amplio de la sociedad a pesar de las convicciones normativas divergentes. Al final, esto también mejorará la solidez de tales decisiones y mejorará su legitimidad [Joss y Belucci, 2002].

La participación en ET de los afectados por la tecnología está diseñada para mejorar la legitimidad de las decisiones subsiguientes y prevenir así conflictos. La expectativa es que cuando los afectados han tenido la oportunidad de presentar sus argumentos y sopesarlos con los de sus oponentes, es más probable que reconozcan las decisiones resultantes como legítimas y las acepten, incluso si tales decisiones van en contra de sus propios intereses. Para muchos, también se supone que la ET participativa contrarresta el desencanto político observado en muchos países y "empodera" a los afectados. El modelo de democracia representativa, que se ve amenazado por la emaciación, se enfrenta aquí a una democracia renovada civil-social [Barber, 1984].

Sin embargo, estos ambiciosos objetivos son difíciles de alcanzar en la práctica [Grunwald,2004b]. No sólo la democracia representativa, sino también la Asistencia al Mercado de Cuentas Directas participativa se enfrenta al problema de la representación: sólo unas pocas personas pueden asistir a esas reuniones, pero deben representar a todos los grupos pertinentes. La voluntad de participar en la asistencia personal participativa varía según el grupo de población y se correlaciona con el nivel de educación. La relación entre los procesos participativos y los procesos democráticos habituales de toma de decisiones sigue siendo una cuestión no resuelta en muchos países y esto pone en peligro la pertinencia de la ET participativa.

2.4.3 Evaluación de la Tecnología Constructiva (ETC)

La premisa básica de ETC, desarrollada en los Países Bajos [Schot, 1992], es que ET responde a problemas difíciles de aplicación y eficacia siempre que se refiere a los impactos de una tecnología después de que ésta haya sido desarrollada o incluso ya esté en uso [Rip et al., 1995]. Según el dilema de Collingridge [Collingridge, 1980], una vez que los impactos son relativamente conocidos, las posibilidades de influir en ellos disminuirán significativamente. Por lo tanto, sería más eficaz acompañar el proceso de desarrollo de una tecnología constructivamente (de manera similar a la idea de un ET "en tiempo real", cf. [Guston y Sarewitz, 2002]). El origen del impacto tecnológico se

remonta a la fase de desarrollo de una tecnología para que el tratamiento de las consecuencias de la tecnología se convierta en una responsabilidad que ya comienza en la fase de diseño de la tecnología.

El trasfondo teórico de ETC es el programa de Construcción Social de Tecnología (CSDT), que también se desarrolló en los Países Bajos y que ha sido elaborado en una serie de estudios de caso [Bijker et al., 1987; Rip et al., 1995]. De acuerdo con este enfoque, el desarrollo de la tecnología debe ser percibido como el resultado de procesos sociales de entrega de significado y negociación. La tecnología se "construye socialmente" durante estos pasos. ETC ha defendido la participación temprana y amplia de los actores sociales, incluidos los actores económicos clave, y por el establecimiento de una sociedad del aprendizaje, aquellos experimentos con la tecnología. En el sentido normativo, ETC se basa en una democracia deliberativa en la que una imagen liberal del Estado destaca los procesos de auto-organización en el mercado. Para ello, se han propuesto tres procesos (según [Schot and Rip, 1997, p. 257f.]):

Forzamiento tecnológico: Influir en el progreso tecnológico a través de la promoción de la investigación y la tecnología, así como a través de la regulación es la forma en que el Estado puede intervenir en la tecnología. Sin embargo, las opciones están restringidas. Por lo tanto, ETC también se dirige a otros actores (bancos y compañías de seguros, organismos de normalización y organizaciones de consumidores). A través de su política empresarial y organizativa, estas instituciones pueden intervenir directamente en ciertas innovaciones tecnológicas, por ejemplo, dispensando química del cloro, invirtiendo en tecnología de fabricación compatible con el medio ambiente, o desarrollando normas sociales que también son válidas para las sucursales de una empresa ubicada en países en desarrollo.

Gestión Estratégica de Nichos: Según ETC, la promoción gubernamental de innovaciones debería ocupar "nichos" en el repertorio de la tecnología. En estos nichos, la tecnología patrocinada públicamente puede, si está protegida por subvenciones, desarrollarse, hacer uso de los procesos de aprendizaje, ganar aceptación y, finalmente —se espera— mantener la suya propia en libre competencia sin ayuda pública. Este enfoque, en el que el Estado dirige la tecnología cerca del mercado, es especialmente relevante en campos reacios a embarcarse en la innovación, como las tecnologías de infraestructura. La implementación exitosa presupone procesos de aprendizaje considerables y una observación cuidadosa de los desarrollos, ya sea para evitar exponer la

"tecnología de nicho" a la competencia demasiado pronto, poniendo así en peligro su crecimiento, o para evitar subsidios prolongados que le lleven a perder el momento de su comercialización.

Diálogo social sobre tecnología: Es necesario crear las oportunidades y estructuras para un diálogo crítico y abierto sobre la tecnología. En el proceso, uno tiene que ir más allá de los límites del discurso científico y talleres de expertos para incluir la economía y la población. Esto se aplica tanto al forzamiento de la tecnología como a la gestión de nichos. "Gestión de la tecnología en la sociedad " [Rip et al., 1995] sólo es posible cuando estos elementos armonizan.

2.4.4 Evaluación de la declaración de objetivos (Leitbild)

En Alemania, el concepto de tecnología empírica que configura la investigación se desarrolló en paralelo con ETC [Dierkes et al., 1992; Weyer et al., 1997]. Al igual que en ETC, el objetivo primordial es analizar la conformación de la tecnología y su "enculturación" por parte de la sociedad en lugar de reflexionar sobre sus impactos. La conformación y difusión de la tecnología se remontan a los procesos sociales de comunicación, redes y toma de decisiones. ET consiste en la investigación de los procesos sociales que contribuyen al diseño tecnológico, el análisis de los "tornillos" para intervenir en estos procesos e informar a los responsables de la toma de decisiones sobre estos hallazgos. En este concepto, casi no se menciona más el impacto tecnológico; se presume que los efectos secundarios no deseados podrían evitarse total o en gran medida mejorando el proceso de modelado de la tecnología.

La evaluación de Leitbild [Dierkes et al., 1992] ha dejado claro que el desarrollo de la tecnología a menudo sigue ideales no tecnológicos. Leitbilder ("visiones guía", cf. Grin [2000]) a menudo se muestran como metáforas que son compartidas, implícita o explícitamente, por los actores pertinentes (por ejemplo, la "oficina sin papel", "guerra sin derramamiento de sangre" o la "ciudad del automóvil"). La investigación de estos ideales ha buscado en detalle, empírica y hermenéuticamente, qué mecanismos dominan este desarrollo, incluido el análisis lingüístico del uso de metáforas en los círculos de ingeniería [Mambrey y Tepper, 2000]. La expectativa es que a través de la construcción social de los ideales que lo configuran, la tecnología puede ser indirectamente influenciada con el fin de prevenir cualquier efecto negativo.

Estas deliberaciones han dado lugar a una gran cantidad de estudios de casos instructivos [Weyer et al., 1997], pero en realidad no se han integrado en la práctica de la ET. La razón probablemente radica en el hecho de que se requieren fuertes supuestos para la transferencia de los conocimientos adquiridos ex post en estudios de caso sobre problemas de ET, que siempre se refieren inevitablemente al futuro. La evaluación de Leitbild es una forma de explicar el curso del desarrollo tecnológico ex post en lugar de dar indicaciones sobre cómo dar forma a la tecnología. Además, la perspectiva sociológica ha dado lugar a la negligencia de la dimensión normativa de la conformación tecnológica.

2.4.5 Evaluación de la tecnología orientada a la innovación

La incorporación de la tecnología en la sociedad se lleva a cabo mediante la innovación. Por lo tanto, existen solapamientos entre ET y la investigación en innovación y en los últimos años los dos campos han desarrollado conceptos de ET "orientados a la innovación" en su interfaz [Smits y Den Hertog, 2007]. La investigación en innovación se centra en el análisis de los procesos de innovación completados y actuales y está principalmente interesada en factores que son cruciales para una penetración exitosa en el mercado. Se identifican los factores que permiten y previenen el éxito innovador. El objetivo es lograr una mejor comprensión de los procesos de innovación y sus factores de influencia. Con este conocimiento, se pueden apoyar las investigaciones gubernamentales y las políticas tecnológicas, así como las decisiones industriales sobre innovaciones.

A este respecto, la ET contribuye en primer lugar, ampliando el espectro de factores que influyen, añadiendo elementos sociales y culturales. A continuación, ET examina — análogo a la ET participativa — el papel de los usuarios en los procesos de innovación. En ET orientada a la innovación, se asigna un papel especial a los usuarios cada vez que están en juego los diseños de tecnología social y orientados al cliente. Para alcanzar este objetivo, los usuarios deben ser incluidos en las primeras fases del desarrollo tecnológico [Smits y Den Hertog, 2007]. Los instrumentos clásicos de la investigación de mercado son inadecuados para este fin. En su lugar, los usuarios deben integrarse en los procesos deliberativos y prospectivos del pronóstico tecnológico (previsión). En este sentido, pueden desempeñar papeles muy diferentes. "Los usuarios pueden desempeñar un papel como consumidores más o menos activos, y modificadores, como domesticadores, como diseñadores, y, de

hecho, también como opositores a la innovación tecnológica... Las relaciones con los productores de usuarios de alta calidad, así como las posibilidades de aprendizaje y experimentación son requisitos previos para procesos de innovación exitosos" [Smits and Den Hertog, 2007, p. 49]. Con este fin, una función importante para ET es identificar a los actores relevantes en un determinado campo, informarles y luego, lo más importante, utilizar procedimientos discursivos para establecer las necesidades, visiones, intereses y valores de los usuarios. A continuación, se trata de integrar estos hallazgos en el proceso de desarrollo tecnológico. Por lo tanto, la ET orientada a la innovación debería contribuir a que los sistemas de innovación regionales o nacionales estén más orientados hacia las necesidades de los ciudadanos y de los consumidores [Smits y Den Hertog, 2007].

2.4.6 Evaluación tecnológica y ética en ingeniería

En las ciencias de la ingeniería, los desafíos a los que se enfrenta la ET se han discutido como demandas sobre la profesión de ingenieros. La dimensión de valor de la tecnología se ha demostrado en muchos estudios de caso, especialmente en los procesos de diseño de ingeniería ([van de Poel, 2001; van Gorp, 2005]; cf. también el escrito sobre valores y diseño de Ibo van de Poel en esta compilación). Las decisiones sobre el diseño de tecnología implican juicios de valor. En otras palabras, existe una estrecha relación entre la ética de la ingeniería profesional y la ética de la tecnología [Mitcham, 1994]. A modo de ejemplo, se puede citar la directriz VDI N°. 3780 de la Asociación de Ingenieros Alemanes [VDI, 1991], que se ha generalizado relativamente. Prevé una "Guía para la evaluación de la tecnología de acuerdo con los aspectos éticos individuales y sociales". Para los ingenieros y en la industria, las evaluaciones son, en cierta medida, parte de su trabajo diario. Las evaluaciones desempeñan un papel central siempre que, por ejemplo, se juzgue que una línea de tecnología es prometedora o que conduce a un callejón sin salida; siempre que se evalúen las posibilidades de futuros productos; siempre que se elija entre materiales de la competencia; o siempre que se introduce un nuevo método de producción en una empresa. Aunque la evaluación puede ser común en la práctica diaria de ingeniería, lo que es esencialmente nuevo en esta directriz, para la evaluación tecnológica social es su alcance, que también incluye las dimensiones relevantes de la sociedad de los impactos, así como los factores técnicos y económicos. La evaluación tecnológica debe llevarse a cabo de acuerdo con los valores reconocidos por la sociedad. Se han identificado ocho valores centrales que forman el VDI "Value Octagon": fiabilidad funcional, eficiencia económica,

prosperidad, seguridad, salud, calidad ambiental, desarrollo de la personalidad y calidad social [VDI, 1991]. Se cree que estos valores influyen en la acción técnica y entran dentro de la premisa [VDI, 1991, p. 7]: "Debe ser el objetivo de toda acción técnica ... para asegurar y mejorar las posibilidades humanas en la vida." Están involucrados en el desarrollo de la tecnología cuando son observados por los ingenieros en la práctica, es decir, están prácticamente integrados en la tecnología. Los ingenieros o científicos deben, sobre la base de sus conocimientos y habilidades, señalar el desarrollo de la tecnología en la dirección "correcta" observando estos valores y evitando desarrollos indeseables. Si esto excede su autoridad o competencia, los ingenieros deben participar en los procedimientos correspondientes de evaluación tecnológica.

2.5 Métodos en ET

Los métodos asumen una función central en ET para cumplir con sus responsabilidades en investigación, evaluación o asesoramiento. La garantía de la transparencia, la comprensión y la intersubjetividad de los resultados de ET se garantiza principalmente, como en las disciplinas científicas clásicas, la capacidad de seguir la materialización de los resultados paso a paso a medida que avanza el método. El uso de métodos está estrechamente aliado a la observancia de ET de las normas de calidad [Decker y Ladikas, 2004]. ET requiere métodos específicos o conjuntos de métodos que se adapten a las asignaciones, fondos y constelaciones de actores relevantes. En ET los métodos se pueden utilizar para recopilar datos, proporcionar conocimientos, organizar comunicaciones relevantes para la ET, obtener ideas sobre la gestión de conflictos, descubrir la estructura normativa de los conflictos tecnológicos, establecer escenarios sobre desarrollos futuros o evaluar estructuras de valor.

Con el fin de poner en práctica las actividades de ET en proyectos específicos, se dispone de un conjunto de métodos en forma de una "caja de herramientas de métodos" (véase Decker y Ladikas [2004]). Un primer paso en el diseño de un proyecto de ET es seleccionar los métodos adecuados y aclarar su integración en una mezcla coherente relevante para los objetivos generales del proyecto y el entorno específico. A menudo, los objetivos específicos de un proyecto ET sólo pueden alcanzarse combinando diferentes métodos o adoptando otros nuevos. Naturalmente, las necesidades y expectativas de los beneficiarios respectivos influirán en el conjunto de métodos elegidos, porque los conocimientos de ET deben ser "personalizados". El diseño del proyecto también tiene en cuenta los criterios generales de calidad de ET, como la

fiabilidad científica o la equidad interactiva. El diseño del proyecto está influenciado por el entorno institucional, la misión de la institución, su tradición o historia y su estatus formal. Por lo tanto, debe llevarse a cabo con antelación una cuidadosa "apreciación de la situación" para determinar qué métodos son apropiados [Bütschi et al., 2004]. Los métodos aplicados en ET son métodos de investigación, métodos interactivos y métodos de comunicación [Decker y Ladikas, 2004].

Los métodos de investigación se desarrollan en disciplinas relacionadas con las ciencias y las humanidades. Se aplican a los problemas de ET con el fin de recopilar datos, facilitar las predicciones, hacer una evaluación cuantitativa del riesgo, permitir la identificación de las consecuencias económicas, investigar los valores sociales o los problemas de aceptación y hacer el equilibrio ecológico. Esta clase de métodos incluye (1) modelado, análisis de sistemas, análisis de riesgos (cf. Sección 3.3.1), análisis de flujo de material (cf. Sección 3.3.3) (para comprender el sistema socio-técnico que se está investigando, así como para poder evaluar los impactos de las medidas políticas propuestas); 2) extrapolación de tendencias, simulación, creación de escenarios (para crear conocimiento sistemático con el fin de contemplar el futuro); 3) el método Delphi (para reunir conocimientos expertos, especialmente sobre la evaluación de los desarrollos futuros de la ciencia y la tecnología); 4) entrevistas de expertos y debates de expertos (para obtener más información sobre las situaciones actuales, pero también para analizar la controversia científica y la evaluación divergente con respecto a los argumentos utilizados); (5) análisis del discurso, investigación de valores, ética y análisis de árboles de valor (para la evaluación y revelación del paisaje argumentativo en los respetos normativos).

Se desarrollan métodos interactivos, participativos o de diálogo para organizar la interacción social de manera que se facilite la gestión de conflictos, permita la resolución de conflictos, reúna la experiencia científica y los ciudadanos, involucre a las partes interesadas en los procesos de toma de decisiones y movilice a los ciudadanos para dar forma al futuro de la sociedad. Esta clase de métodos incluye (1) conferencias de consenso (para involucrar a los ciudadanos en el debate social sobre la ciencia y la tecnología de manera sistemática, de acuerdo con un marco específico (cf. Sección 3.3.5)); 2) audiencias de expertos (para informar al público, pero también para confrontar a los expertos con opiniones laicales y con juicios de expertos divergentes); 3) grupos focales (para obtener opiniones coherentes sobre un tema específico de un conjunto de actores y ciudadanos); 4) los jurados de los ciudadanos (para

evaluar las medidas y las ideas de planificación con respecto a los valores e intereses de los participantes interesadas y los grupos interesados); (5) talleres de escenarios y talleres de perspectiva (para crear borradores del futuro de manera interactiva).

La comunicación debe considerarse como un proceso bidireccional. Por un lado, los métodos de comunicación se utilizan para comunicar la imagen corporativa de un instituto ET, el enfoque ET, el proceso de ET y el producto ET al mundo exterior con el fin de aumentar el impacto de ET. Por otro lado, la comunicación es importante para permitir que el instituto ET se mantenga en contacto con el mundo exterior y, por lo tanto, con la realidad. Esta clase de métodos incluye (1) boletines informativos y revistas de enfoque, tal vez incluyendo artículos de opinión (para crear conciencia y señalar temas críticos); 2) teatro científico y presentaciones en vídeo (para ilustrar posibles impactos científicos y tecnológicos en la sociedad futura y la vida cotidiana); 3) sitios web, cuestionarios locales o foros de debate (para facilitar o fortalecer la comunicación interactiva a nivel informal); 4) conferencias de redes y diálogo (para promover el intercambio mutuo y la distribución de las nuevas ideas y cuestiones a considerar).

3 PROBLEMAS DE NORMATIVIDAD Y VALOR EN ET

Ya no es un punto de controversia que el desarrollo tecnológico necesite orientación normativa porque los valores y los juicios normativos entran en el diseño tecnológico (cf., por ejemplo, van de Poel [2001] y van Gorp [2005]) y el desarrollo tecnológico en muchas etapas del proceso, determinando así en gran medida, las implicaciones sociales eventuales de la tecnología. Los juicios normativos sobre opciones técnicas, impactos tecnológicos o potencial de innovación con respecto a la conveniencia o aceptabilidad social son algunas de las muchas decisiones que deben tomarse durante el desarrollo tecnológico. Analizar estas cuestiones normativas de la tecnología y dar asesoramiento a la sociedad son algunas de las responsabilidades de ET. Sin embargo, los problemas específicos relacionados con este tipo de consejos deben ser observados cuidadosamente [Grunwald, 2003].

3.1 Sentencias normativas en la práctica de ET

La evaluación prospectiva de los impactos tecnológicos es una parte importante de los proyectos de ET en los que las consideraciones normativas y evaluativas desempeñan un papel, pero no el único papel. Estas consideraciones

acompañan también a los procesos de ET en la fase de definición, en la aplicación y en la evaluación de impacto:

Definición de la tarea:

Los temas de ET no surgen "por sí mismos". Muchas preguntas sobre tecnología y automatización podrían hacerse de varias maneras, por ejemplo, desde perspectivas económicas o sociales, culturales o políticas, o incluso ambientales o psicológicas. La investigación de células madre se puede abordar desde el ángulo médico de curar la enfermedad de Alzheimer, o puede ser visto como una brecha moral en el dique, la terapia génica puede ser visto como un instrumento terapéutico, o como un paso hacia una nueva forma de eugenesia, cualquiera que sea el enfoque cada uno descubre horizontes completamente diferentes de tratamiento y posibles respuestas. La definición de la tarea está relacionada con una percepción correspondiente del problema (por ejemplo, con respecto a los efectos secundarios previstos). Todo está ligado a prioridades, perspectivas, valores, intereses de los actores y, de vez en cuando, incluso podría haber un deseo de ocultar ciertas preguntas. Es relevante ver quién define el problema, qué personas, grupos y subsistemas sociales están involucrados, y qué intereses persiguen. La determinación del tema es el resultado de la evaluación y, por lo tanto, es políticamente relevante. Por esta razón, debe tenerse en cuenta la participación de los afectados y de las "partes interesadas" en la definición, descripción y estructuración del problema, más aún, hasta el punto de que es absolutamente necesario para evitar llegar a respuestas que son completamente irrelevantes en términos sociales. En este punto, ocasionalmente surge la tensión entre las necesidades científicas de independencia de las instituciones ET [Grunwald, 2006b] y la dependencia de determinación de temas de los clientes, por ejemplo, los parlamentos [Vig y Paschen, 1999]. Una de las responsabilidades de la ET es también ser crítico con las formulaciones de problemas convencionales y, en particular, llamar la atención sobre aspectos que han sido desatendidos hasta ahora.

Delimitación del Sistema: Dado que es imposible investigar completamente todo el espectro de impactos tecnológicos o las consecuencias e implicaciones de una tecnología, los contornos de un proyecto ET concreto, deben determinarse en detalle. Antes de comenzar un estudio de ET, uno tiene que decidir lo que es de interés cognitivo y lo que se puede dejar fuera. Esto se refiere, por un lado, a convertir el tema en cuestión en una serie de preguntas detalladas y, por otro, a demarcar los límites del sistema que se examinarán en

términos espaciales, temporales y temáticos. Tomando el ejemplo de la evaluación del ciclo de vida (LCA, Sección 3.3.3), la importancia de esta delimitación puede verse inmediatamente. Incluso para un producto técnico simple, la cadena de productos y procesos preliminares puede asumir proporciones bastante considerables y esto es aún más con productos complejos, como una lavadora o un automóvil. En vista de los límites de los recursos temporales y financieros, hay que tomar decisiones sobre hasta qué punto se quiere volver sobre la cadena de fabricación y qué procesos o flujos de material pueden rechazarse por irrelevantes. Cuando se toma este tipo de decisión, a menudo surgen controversias sobre la cuestión de la medida en que estas demarcaciones del sistema perjudican los resultados posteriores. Las decisiones de este tipo son decisiones sobre la pertinencia y la importancia del problema en cuestión. En términos de método son, por lo tanto, evaluaciones. Las demarcaciones temáticas del interés del conocimiento tienen un efecto en la elección de las disciplinas científicas, y posiblemente también de los grupos sociales que están invitados a participar. Así se determinan los ámbitos del conocimiento, los rangos de valores e intereses que se tienen en cuenta, y éstas también son decisiones normativas sobre lo que es relevante y lo que no es [Decker y Ladikas, 2004; cf. Sección 2.6.1]. ET tiene que determinar qué interacción o aspectos del área de estudio son relevantes para el análisis y para encontrar una solución. Esto se hace de acuerdo con los criterios de evaluación normativa utilizados para distinguir aspectos importantes de aspectos poco importantes y a menudo es controvertido. Lo que es importante para un actor puede ser poco importante o incluso perjudicial para los demás. Existe el riesgo de hacer tales juicios de relevancia: más tarde podrían resultar injustificados. Podría suceder que, a pesar de todos los cuidados importantes, los aspectos importantes sean "olvidados" o no se evalúen adecuadamente. Esta dimensión normativa en la fase de iniciación de los proyectos y procesos de ET es precaria porque a menudo influye de manera crucial e irreversible en otras etapas.

Aspectos normativos del enfoque metódico: Ciertos métodos del proyecto ET no se basan exclusivamente en la racionalidad del fin de los medios, es decir, su probabilidad de alcanzar los objetivos pertinentes perseguidos. En cambio, también entran en juego consideraciones normativas. Al elegir métodos cuantitativos, por ejemplo, también se aceptan ciertas normas de cuantificación (normativas). Aunque en muchos casos esto puede no ser un problema, como en el registro cuantitativo de emisiones por centrales eléctricas, en otras áreas las cuantificaciones pueden ser éticamente cuestionables (Sección 3.2.4). Por lo

tanto, a la hora de elegir métodos, es imperativo tener en cuenta las presunciones normativas pertinentes. Por ejemplo: ¿son adecuados en ese contexto y son aceptados por los involucrados? Esto es análogo al modelado científico que siempre implica pre-concepciones normativas. Por ejemplo, en la economía neoclásica tenemos el concepto común de homo oeconomicus, cuyo conocimiento es amplio y que toma sus decisiones de acuerdo con la maximización de la utilidad. Por lo tanto, tan pronto como se utilizan modelos en ET, uno debe investigar sus supuestos normativos, su adecuación y su aceptabilidad en el contexto en cuestión.

Evaluación del estado del conocimiento: Comprender y evaluar el nivel de conocimiento sobre la tecnología en cuestión, así como establecer sus condiciones de funcionamiento y consecuencias previsibles es una parte integral de ET. Esto no es una cuestión trivial que implique la mera recopilación de conocimientos disponibles, sino más bien una actividad con sus propios desafíos normativos. En primer lugar, ¿no suele haber consenso sobre el reconocido "estado del conocimiento" con respecto a una determinada cuestión? Debido a que los conocimientos requeridos para ET no son generalmente conocimientos de libros de texto, sino más bien conocimientos que deben buscarse a la vanguardia de la investigación, a menudo no hay consenso dentro de las comunidades científicas pertinentes. En cambio, las controversias científicas tienden a convertirse en el orden del día. Estos pueden consistir en diferentes estimaciones de la fiabilidad de ciertas existencias de conocimiento; también pueden derivarse de opiniones divergentes sobre la importancia de estas poblaciones de conocimientos en el contexto del problema particular de los Acuerdos Sobre el Desarrollo. La naturaleza interdisciplinaria del conocimiento de ET complica estos juicios. Por lo tanto, la evaluación de los conocimientos constituye un paso independiente en los procesos de ET [Pereira et al., 2007]. Los mandantes del "estatus del conocimiento" que puede establecerse como consenso deben determinarse y las controversias científicas deben ser investigadas más de cerca, tanto en lo que respecta a sus orígenes epistemológicos como normativos. Por esta razón, la dimensión reflexiva de la racionalidad [Decker y Grunwald, 2001] nos obliga, por un lado, a revelar las incertidumbres y controversias relacionadas con los conocimientos disponibles. Por otra parte, los problemas que dificultan la determinación clara de los límites de conocimiento en consenso deben hacerse transparentes. ET incluye, en este sentido, consideraciones epistemológicas: el estado epistemológico de las poblaciones de conocimientos utilizados debe ser claro para evitar que se

saquen conclusiones unilaterales, exageradas o arbitrarias sobre la base de conocimientos que no lo apoyen epistemológicamente.

Evaluación prospectiva del impacto de la tecnología: La evaluación de las posibles consecuencias de una tecnología es en sí misma el punto más prominente y más a menudo discutido y la etapa en que surgen problemas de evaluación de ET. Esto se refiere a desafíos como la evaluación de los riesgos, la evaluación de las expectativas relativas a los beneficios y, a menudo, la necesidad de sopesar los hechos. Los siguientes tipos de situaciones de evaluación son comunes en la práctica de ET:

- Las consecuencias de una tecnología pueden ser juzgadas en relación con los objetivos perseguidos tecnológico, social o políticamente determinados y legitimados. Dondequiera que haya objetivos políticamente determinados, siempre hay una base normativa clara para la evaluación (que naturalmente puede ser cuestionada en un nivel diferente). En numerosas estrategias de sostenibilidad existen, por ejemplo, valores objetivos políticos (por ejemplo, con respecto a las emisiones de CO₂) que pueden utilizarse como criterios de evaluación.

- La evaluación de los efectos de la tecnología puede incluir un estudio del logro de objetivos desde el punto de vista de la eficiencia. ¿Hay otras maneras de lograr los mismos objetivos con menos efectos secundarios, menos riesgos y a menores costos, etc.?

- Tal evaluación puede referirse a la aceptación o aceptabilidad de los efectos secundarios. En este caso, incluso el rechazo general de una tecnología puede ser un tema, a pesar de las expectativas que rodean a los posibles beneficios (como es a menudo el caso de los organismos modificados genéticamente). Alternativamente, podría referirse a propuestas de moratoria o (como es más frecuente el caso) comparando los efectos secundarios que deben aceptarse y los beneficios esperados.

En cualquier caso, la alegación de ET sobre transparencia y comprensión obliga a divulgar los respectivos criterios de evaluación (véase la Sección 3.2.1). De este modo, los ciudadanos, los políticos o las partes interesadas pueden comparar las premisas de las conclusiones de ET con sus propios valores y aceptarlas (por razones fundadas), modificarlas o rechazarlas. Esto aumenta la transparencia del debate público porque se establecen

posiciones y se sacan conclusiones en relación con los locales y valores subyacentes.

3.2 Desafíos metodológicos

La orientación metodológica de ET tiene como objetivo hacer posible, incluso en el campo de las evaluaciones, proporcionar la mayor cantidad posible de racionalidad, transparencia e intersubjetividad. Los resultados de ET tienen que estar protegidos de las sospechas ideológicas y de ser acusados de ser particularistas o arbitrarios. De este modo surgen problemas metodológicos específicos, incluida la cuestión de si las conclusiones normativas "objetivas" pueden justificarse en primer lugar [Grunwald, 2003].

3.2.1 El origen de los criterios normativos

Los criterios normativos son necesarios para evaluar todos los campos mencionados anteriormente. Estos pueden derivarse y justificarse de maneras conceptualmente divergentes:

- **Decisionismo:** En el punto de vista regido por una estricta "división del trabajo", la normatividad necesaria para las decisiones sociales relevantes se crea directa e inmediatamente a través del sistema político [Schmitt, 1934]. Por lo tanto, es superfluo asesorar a los órganos políticos. Este posible asesoramiento debe limitarse a una representación de la situación fáctica y a la provisión de conocimientos descriptivos. Esta posición (cf. Sección 2.4.1) no se estudiará más adelante en las secciones siguientes porque se considerará obsoleta por las razones expuestas anteriormente.

- **Investigación de valores:** Con métodos social-científicos, los valores que prevalecen actualmente en la sociedad pueden ser investigados empíricamente (para el caso de riesgo véase Slovic [1993]). Estos resultados empíricos pueden ser utilizados por políticos o ingenieros como base normativa para decisiones tecnológicamente relevantes para perseguir el diseño tecnológico de acuerdo con los valores de los ciudadanos.

- **Participación:** Los criterios de evaluación se pueden negociar directamente con los afectados. Mediante procedimientos participativos (cf. Secciones 2.4.2 y 3.3), los ciudadanos con sus valores, preferencias e intereses,

pueden participar directamente en la constitución de los criterios de evaluación [Joss y Belucci, 2002].

- **Ética filosófica:** La ética normativa intenta derivar los criterios para juzgar opciones técnicas alternativas de los principios universales tomando, por ejemplo, el imperativo categórico o la regla de maximización de la utilidad [Ferré, 1995; Mitcham, 1994; Beauchamps, 2001].

Precisamente cuál de estos enfoques para incluir consideraciones normativas debe ponerse en juego sigue siendo controvertido (por ejemplo, Grunwald [1999]). La cuestión de, de dónde deben provenir los criterios de evaluación y de cómo pueden justificarse conduce a una controversia fundamental entre el enfoque normativo de la ética filosófica y el enfoque empírico de la investigación de valores científicos sociales. Mientras que la ética advierte contra una "falacia naturalista" [Moore 1905] y rechaza la idea de que un "debería" puede derivarse de un "es" observado empíricamente, la investigación de valores investiga los valores representados empíricamente en la sociedad y se propone obtener orientación de exactamente esas observaciones empíricas.

En este campo de tensión la participación se puede emplear de diversas maneras: los procedimientos participativos pueden ser "informados" por la investigación sobre los valores y por la ética filosófica. Alternativamente, se puede entender que los procedimientos son la aplicación de la ética del discurso. La ética del discurso y la democracia deliberativa [Habermas, 1988b] han sido tomadas como modelo para la ET participativa [Renn y Webler, 1998]. Con este enfoque, no se supone que existan valores sustanciales sobre tecnologías aceptables o inaceptables, pero el recurso a la ética del discurso sugiere la presencia de criterios normativos que indiquen cómo deben organizarse los procedimientos de participación. Por ejemplo, es necesario que los procesos sean justos y transparentes, que los participantes se comprometan a proporcionar argumentos en lugar de simplemente tratar de persuadir a sus oponentes y que estén dispuestos a cuestionar y modificar sus propias posiciones si hay buenos contraargumentos. De esta manera, la ética del discurso puede ofrecer orientación sobre la organización de un procedimiento "bueno" y sólo participativo [Skorupinski y Ott, 2000].

En la actualidad, la relación entre los enfoques descriptivos de la investigación de valores y los enfoques normativos de la ética filosófica se considera predominantemente complementaria y cooperativa por muchos

profesionales de ET, así como por muchos profesionales de la ética aplicada. En consecuencia, hay problemas de ET en los que se pueden derivar los criterios de evaluación empíricamente y otros problemas de ET cuando eso no sea posible. La pregunta que surge entonces es: ¿Cuándo, en ET, existe una necesidad explícita de reflexión y cuándo es suficiente la investigación empírica? La respuesta a esta pregunta obviamente depende de la comprensión de la ética. En la medida en que la ética es vista como una disciplina que reflexiona sobre las concepciones morales empíricamente existentes y tan relevante en el momento preciso en que surgen conflictos entre concepciones morales divergentes [Grunwald, 2000], el criterio decisivo se convierte en si el conflicto amoral tiene que ser tratado o no en un proyecto de ET dado. Se han propuesto los siguientes requisitos para poner en práctica este criterio abstracto [Grunwald, 2005]: integridad pragmática (el marco normativo actual debe abarcar todos los aspectos normativos de la decisión que se ha de tomar); coherencia local (debe haber un grado "suficiente" de coherencia entre los elementos del marco normativo); no ambigüedad (entre los actores pertinentes debe haber un acuerdo suficiente sobre la interpretación del marco normativo); aceptación (el marco normativo debe ser aceptado por los afectados como base de la decisión); y el cumplimiento (el marco normativo debe cumplirse en la práctica).

Si se cumplen todas estas condiciones no hay conflicto moral ni ambigüedad moral, por lo que no hay necesidad de reflexión ética. ET puede utilizar el marco normativo como base para la evaluación normativa sin necesidad de una reflexión ética adicional. En tales situaciones, es posible llevar a cabo una ET prácticamente descriptiva, en la que la normatividad que debe tenerse en cuenta no es en sí misma un objeto de reflexión, sino algo que se recoge empíricamente de las circunstancias políticas prevalecientes. Esto es especialmente cierto en las situaciones de proceso de diseño estándar [van Gorp, 2005]. Se vuelve problemático tan pronto como se transgrede el alcance de estos criterios. Es un serio desafío para ET reconocer este punto en absoluto. Para ello, debe haber la correspondiente "conciencia" y competencia en la elaboración de juicios éticos.

3.2.2 La posibilidad de generalizar sobre las sentencias evaluativas

En su capacidad de asesoramiento a la sociedad y a la política, ET opera en la esfera pública y debe trabajar hacia resultados válidos más allá de un nivel subjetivo o particular. La cuestión es si, en qué medida y en qué circunstancias pueden generalizarse las evaluaciones de los impactos tecnológicos. ¿Puede ET

apoyar las sentencias? de una manera generalizada, y de qué manera metodológicamente segura se puede hacer? ¿Pueden los aspectos evaluativos de la ET simplemente dejarse en manos de los procesos de negociación social y, por lo tanto, dependen de las diferencias de poder? En primer lugar, es indiscutiblemente cierto que ET no puede plantear que los postulados normativos o los valores sociales sean válidos, ni declararlos vinculantes. Por consiguiente, ET no puede decidir sustancialmente si el desarrollo y el uso de una tecnología son aceptables, deseables o incluso imperativos. ET sólo puede preocuparse condicionalmente por ciertos principios normativos para proponer conclusiones metodológicamente seguras sobre esta base. Puede proponer declaraciones "si-entonces" en la siguiente sintaxis: "Si se aplican ciertos criterios normativos, entonces esto tiene las siguientes consecuencias o implicaciones para esta cuestión tecnológica ..." ET no puede declarar válidas a los antecedentes "si": es a la sociedad, es responsabilidad de la sociedad en sus procedimientos e instituciones legitimadas, informadas y orientadas de manera normativa a través de la deliberación ética y la consulta [Grunwald, 2003].

Es esta estructura condicionalmente normativa de las evaluaciones, lo que hace posibles las declaraciones generales e intersubjetivas sobre los problemas de evaluación. Deja claro que las evaluaciones no son simplemente una función de las decisiones normativas individuales y subjetivas, sino que, de hecho, existen posibilidades de evaluaciones científicas (generalizadas). Es, por lo tanto, la tarea de ET hacer esta estructura transparente y comprensible. Una evaluación o decisión política no se anticipa ni se obvia de ninguna manera por esto; sigue siendo responsabilidad de los procedimientos políticos o de formación de opiniones y negociaciones sociales decidir sobre la validez de la cláusula "si". Sin embargo, el nexo "si-entonces" debe ser reconocido como una propuesta científica que es accesible al interés cognitivo científico y al método científico. De esta manera, ET puede contribuir a no dejar la elaboración de los aspectos normativos de la base de evaluación al azar – en otras palabras, a constelaciones aleatorias de actores o relaciones de poder – sino a mejorar más bien la comprensión y transparencia de las evaluaciones relevantes de la sociedad a través de la evaluación crítica sistemática y a través de juicios condicionalmente normativos [Grunwald, 2003].

3.2.3 Integración multidimensional

La elección de las soluciones técnicas suele depender de una serie de criterios (cf., por ejemplo, la sección 2.5.6). Estos criterios, como los riesgos, los

costes o los aspectos medioambientales, son generalmente bastante heterogéneos y en parte inconmensurables (véase el escrito de Ibo Van de Poel anteriormente). Dependiendo de los hechos del caso, tienen un peso variable cuando se trata de llegar a una evaluación general y pueden entrar en conflicto. Un desafío particular es, por lo tanto, el de agregar las evaluaciones con arreglo a criterios específicos con el fin de proporcionar una evaluación global que pueda constituir la base de una decisión. A menudo es imposible lograrlo proyectando los criterios en una escala cuantitativa uniforme (de, por ejemplo, valores monetarios) para resolver el problema, por ejemplo, maximizando cuantitativamente la utilidad. De este modo, los conflictos sobre la tecnología, los problemas de legitimación y los problemas normativos inherentes se ocultarían simplemente en los procedimientos de cuantificación subyacentes (sección 3.2.4).

Los estudios de ET sobre aspectos de sostenibilidad son especialmente desafiantes [Ludwig, 1997]. Se llevan a cabo con la ayuda de evaluaciones del ciclo de vida (LCA; cf. Sección 3.3.3) en todas las dimensiones pertinentes de la sostenibilidad: ecológica, económica y socialmente. A lo largo de un ciclo de vida, por ejemplo, en la extracción de materias primas, el transporte, el procesamiento, el uso y la eliminación, entran en juego una gran cantidad de aspectos diversos e inconmensurables relevantes para la sostenibilidad. Una evaluación de la sostenibilidad tendría que proporcionar un equilibrio completo de estos factores muy heterogéneos. Sería un problema de integración de considerable complejidad. Existe un riesgo extremo de proporcionar resultados arbitrarios en estas integraciones multidimensionales, porque la integración metodológicamente segura, difícilmente es posible en una "jungla" de evaluaciones heterogéneas y posiblemente contradictorias.

3.2.4 Limitaciones de los métodos cuantitativos

En muchos campos de la ciencia, la cuantificación es el medio elegido para hacer posibles declaraciones objetivas. En la medida en que exista "cuantitativa" una teoría de medición normativa reconocida y un método de cuantificación correspondientemente reconocido pueden equipararse, en esas condiciones, a "objetivo". En las ciencias sociales se basan en cierta medida esperanzas similares en métodos de investigación social empírica. En este ámbito, tales expectativas también conducen a la crítica y a las alusiones al hecho de que sólo se puede obtener el conocimiento selectivo de los fenómenos sociales a través de la cuantificación. A continuación, se hace referencia a las

dimensiones del significado, la comunicación y la comprensión, etc. que se resisten a la compilación cuantitativa.

La cuantificación es muy popular entre los políticos y en la administración pública. Estos actores esperan que la cuantificación permita "objetivar" las cuestiones subjetivas de la evaluación. La disponibilidad de valores numéricos que sirven, por ejemplo, como muescas evaluativas en una escala de clasificación no sólo facilita un enfoque práctico de los problemas de evaluación, sino que también sugiere un tipo de objetividad: la evaluación se reduce a una operación matemática. Las críticas surgen cuando uno consulta la importancia real de estas declaraciones "objetivas". Estos procedimientos de evaluación cuantificados son sólo objetivos y adecuados a condición de que las "reglas de medición" y el método de cálculo de las cifras evaluativas sean reconocidos como métodos por los involucrados.

En ET se cuantifican parámetros muy diversos. Estos incluyen, a un nivel todavía muy cercano a la tecnología, las emisiones de procesos técnicos en diversas áreas ambientales (agua, suelo y aire). En cuestiones de evaluación, las cuantificaciones económicas (monetarias) de los beneficios o perjuicios esperados y, utilizando la versión cuantitativa del concepto de riesgo, la probabilidad de una posible ocurrencia adversa son algunas de las dimensiones cuantificadas con más frecuencia. Sin embargo, también se cuantifica el grado de aceptación o resistencia a las tecnologías en la población, u otros resultados representativos de las encuestas, al igual que los resultados de las encuestas de Delphi-muestra.

Existen limitaciones al análisis cuantitativo, aunque similares, por ejemplo, cuando no se dispone de datos o se discuten las medidas de cuantificación. Este último se encuentra con especial frecuencia, y no sólo en las compilaciones y evaluaciones de las consecuencias sociales y culturales de la tecnología. Incluso las cuantificaciones de los efectos de la tecnología en el medio natural, por ejemplo, en forma de valores monetarios para el capital natural dañado son controvertidas porque la utilidad de esos efectos externos no se estima mediante un mecanismo de oferta y demanda similar al de un mercado, sino sólo mediante simulaciones de mercado, por ejemplo mediante el enfoque de "voluntad de pago". Ejemplos de estos problemas son las cuestiones relativas al valor monetario de una especie rara de sapo o de un pájaro cantor en comparación con la utilidad económica esperada de construir una carretera a través de su biotopo. El valor del bienestar subjetivo o de un paisaje

estéticamente agradable, destruido por la construcción de un parque industrial también puede cuantificarse con reservas, o no en absoluto. Se han desarrollado varios métodos de evaluación que, a pesar de estos problemas, llegan a las cuantificaciones, utilizando algunas consideraciones sustitutivas dudosas. Una de ellas es la investigación sobre la voluntad de pago por parte de las personas afectadas. A los potencialmente afectados se les pregunta, por ejemplo, en vista de la posible pérdida de un paisaje estéticamente valioso, cuánto estarían dispuestos a pagar para preservar ese paisaje. Sobre la base de este método, las preferencias personales de los interesados se transforman en valores monetarios.

Métodos de este tipo son controvertidos en comparación con los métodos empleados en la física o la química. Atribuir un valor monetario o utilitario a un impacto de la tecnología (en beneficio o daño) no está exento de cuestiones políticas y éticas (cf. van de Poel, anteriormente). La base de las cuantificaciones en las mediciones teóricas es inseparable de las preferencias, los valores, las normas y sus cambios a lo largo del tiempo, y esto es lo que diferencia a todos los dominios sociales, no sólo a la economía, del ámbito de las ciencias naturales. En el dominio social, las cuantificaciones dependen de los supuestos normativos que entran en el método de cuantificación. Esta es la razón por la que en el campo de la cuantificación del impacto tecnológico sigue siendo controvertido y no se limita a proporcionar los hechos "objetivos" esperados del caso. Esto es especialmente drástico cuando, por ejemplo, en el modelado económico de los efectos del cambio climático los valores monetarios tomados de los cálculos en el negocio de seguros se asignan a las vidas humanas. Una evaluación cuantitativa de la vida humana y de la calidad de vida humana obviamente se encuentra con objeciones éticas.

Estas limitaciones no hacen que la cuantificación sea obsoleta en ET. En muchos casos, los enfoques cuantitativos son absolutamente cruciales para el desarrollo de afirmaciones que se enfrentarán al debate. En el análisis del ciclo de vida (Sección 3.3.3), se lleva a cabo la cuantificación para evaluar el impacto ambiental de la tecnología. Esto es vital para lograr un equilibrio general frente a efectos que en cierta medida compiten. Al evaluar el riesgo (Sección 3.3.1), el análisis cuantitativo del riesgo también suele ser muy útil. A pesar de los problemas ya mencionados, el resultado de la cuantificación es a menudo beneficioso, pero esto no significa que los resultados sean reconocidos como objetivos por todas las partes. Por ejemplo, el debate sobre la mejor compatibilidad medioambiental de los envases no retornables en lugar de los

envases retornables no puede decidirse sobre la base de un análisis cuantitativo: en cambio, la controversia cambia a la forma en que se podrían cuantificar adecuadamente y cómo podrían determinarse los límites del sistema (sección 3.1.2). Si los resultados de una evaluación cuantitativa en un conflicto tecnológico no son aceptados por una parte determinada, a menudo no es difícil atacar las reglas de cuantificación. Los resultados de las evaluaciones dependen de los métodos de cuantificación elegidos. Por esta razón, los aspectos normativos de los métodos de cuantificación deben ser transparentes. Sólo entonces, los resultados de las evaluaciones cuantitativas pueden interpretarse adecuadamente y vincularse a contenido cualitativo. Las evaluaciones cuantitativas no se destacan "objetivamente" por sí solas. En ET a menudo dependen de la forma de cuantificación. Por lo tanto, deben integrarse en un marco transparente de interpretación y deliberación.

3.3 Métodos de evaluación

Por razones de comprensión y transparencia intersubjetivas, la evaluación de la ET debe llevarse a cabo de manera metodológicamente bien fundamentada. En casos individuales, esto puede lograrse a través de cadenas de justificación minuciosa como, por ejemplo, con la argumentación para una interpretación determinada de los límites de un sistema en las condiciones pertinentes. Sin embargo, al evaluar el impacto tecnológico, existen métodos científicos que se han desarrollado para una mayor "objetivación" de la evaluación en las esferas política y pública en las que opera ET. En la siguiente sección se presentan brevemente algunos métodos pertinentes en los que el enfoque específico se centra en el debate de los aspectos normativos de estos métodos.

3.3.1 Evaluación de riesgos

Una de las principales razones para el surgimiento de ET fue debido a los riesgos causados directa o indirectamente por la tecnología y su uso. Cualquier decisión tomada sobre la tecnología también es una decisión simultánea sobre los riesgos y, por lo tanto, depende de estimaciones ex ante de estos riesgos y de la disposición a aceptarlos. El mero hecho de que en el presente tomemos decisiones sobre los peligros futuros y las condiciones de vida demuestra la considerable relevancia de este tema, al tiempo que revela su sensibilidad social. ET debe y contribuye a la señalización temprana de los riesgos y a la forma en que deben abordarse (Sección 2.3.2). A este respecto, ET abarca elementos de un sistema de "alerta temprana".

Hacer frente a los riesgos tecnológicos siempre ha sido una faceta del desarrollo de la tecnología. Con el fin de cumplir con las normas de seguridad y, por ejemplo, para obtener licencias públicas, es que se presenten algunas pruebas. Por lo tanto, se desarrollaron métodos técnicos de análisis de riesgos y evaluación de riesgos. Cuando el riesgo se interpreta como el producto de la probabilidad de daño (es decir, la probabilidad de que ocurra un accidente) y el alcance del daño (expresado como regla en las unidades monetarias), la suposición es que el riesgo puede cuantificarse y, por lo tanto, "objetivado". Este procedimiento permite realizar análisis de riesgo-beneficio antes de la toma de decisiones (cf. Hansson anteriormente).

Sin embargo, estos procedimientos tradicionales de evaluación del riesgo tienen dos limitaciones intrínsecas (cf. escrito de Hansson sobre el riesgo anteriormente y [Shrader- Frechette, 1991]). En primer lugar, para muchos nuevos análisis de riesgos tecnológicos falta experiencia cuantitativa que significa que el alcance del daño no puede cuantificarse adecuadamente. Si no obstante se dan cuantificaciones, es fácil descartarlas como arbitrarias, subjetivas o ideológicas. En campos tecnológicos controvertidos, como la energía nuclear o la ingeniería genética, no ha tenido éxito la esperada objetivación de los riesgos tecnológicos sobre la base de conocimientos prácticos irrefutables. En segundo lugar, especialmente en el debate sobre los peligros de la energía nuclear, ha surgido que este concepto "objetivo" de riesgo era inútil en casos de crisis porque el público afectado no estaba muy impresionado por los valores numéricos "objetivos". Aunque la energía atómica, de acuerdo con criterios técnicos de análisis de riesgos, no parecía ser problemática, la sociedad se negó a aceptarla, en particular debido a los riesgos percibidos. Esta fue una razón para integrar los enfoques socio-científicos y psicológicos del riesgo en el análisis de riesgos, al tiempo que dedicó atención al fenómeno de la comunicación de riesgos [Slovic, 1993].

La ética filosófica, en cambio, subraya el papel de las consideraciones normativas para determinar la aceptabilidad de los riesgos y formula los principios correspondientes, como el principio de coherencia pragmática [Gethmann y Mittelstras, 1992]. Según este principio, la aceptabilidad del riesgo tecnológico es proporcional a los riesgos que alguien acepta voluntariamente a la hora de elegir un estilo de vida (como, por ejemplo, el de participar en deportes riesgosos). Se considera irracional rechazar los riesgos tecnológicos si no exceden los riesgos aceptados voluntariamente. Este enfoque, sin embargo, falla al menos por dos motivos [Grunwald, 2005]: en primer lugar, no existe una

forma objetiva y neutral en cuanto al valor de comparar tipos de riesgo categóricamente diferentes, por ejemplo, los riesgos de tecnologías que no sirven para los mismos fines; en segundo lugar, el riesgo inducido tecnológicamente sería adicional a otros riesgos, por lo que se requeriría un paso adicional de aceptación acordada en todos los casos (otros enfoques filosóficos son analizados por Hansson).

Lo que es completamente diferente es el "imperativo de responsabilidad" de Hans Jonas [1984] que aboga por que se evite el uso de la tecnología si es concebible que la perpetuación de la humanidad pueda verse amenazada por dicha tecnología ("prioridad de la predicción negativa", "heurística del miedo"). En este caso, la sentencia no depende de las probabilidades de ocurrencia. Este tipo de juicio radical de los riesgos tecnológicos y demandas igualmente radicales de renuncia o retirada no ha ganado aceptación general. Puntos de vista como lo haría, por necesidad, conducir a un estancamiento completo ya que se puede; después de todo, magnifique una catástrofe para prácticamente todas las innovaciones. Los argumentos que dan prioridad a la predicción negativa no permiten distinguir entre empresas cada vez menos riesgosas.

Habida cuenta de la falta de conocimiento sobre los posibles riesgos, y de evitar limitarse a una estrategia de "esperar y ver", con todos los peligros de catástrofe que ello conlleva (cf., por ejemplo, la historia del amianto, Gee y Greenberg [2002]), el principio de precaución se ha introducido en la legislación medioambiental europea. Se incorporó en 1992 al Tratado de la Unión Europea. El principio de precaución establece una justificación para la acción política en caso de conocimientos altamente inciertos y reduce sustancialmente el nivel (umbral) para la acción de los gobiernos. La siguiente caracterización del principio de precaución muestra, a pesar de que todavía no abarca todos los aspectos pertinentes, la compleja estructura inherente del principio de precaución: "Cuando, tras una evaluación de la información científica disponible, exista una preocupación razonable por la posibilidad de efectos adversos, pero persista la incertidumbre científica, podrán adoptarse medidas basadas en el principio de precaución, , a la espera de más información científica para una evaluación más completa del riesgo, sin tener que esperar a que la realidad y la gravedad de esos efectos adversos se hagan plenamente evidentes" [Schomberg 2005, p. 168]. En la actualidad, esta discusión se centra especialmente en la posible toxicidad de las nano-partículas. La aplicación del principio de precaución requiere una evaluación cuidadosa del estado de los conocimientos

científicos y de las lagunas en ese conocimiento, así como una decisión política sobre el nivel de protección requerido contra los riesgos potenciales. ET se preocupa por proporcionar asesoramiento sobre la acción política en relación con los problemas de precaución e inciertos.

3.3.2 Análisis costo-beneficio

La evaluación de la tecnología o de las medidas para hacer frente al impacto de la tecnología en lo que respecta a la eficiencia económica es una evaluación estándar de la Estrategia de Salud (especialmente en la Evaluación de la Tecnología Sanitaria, ETS). Esto afecta especialmente a la relación costo-beneficio de los principales proyectos públicos o a la evaluación de la eficiencia de los programas de estimulación de la investigación. El análisis costo-beneficio es un procedimiento de evaluación gerencial que en ocasiones también se emplea en ET (véase el escrito de Ibo van de Poel en esta compilación para una explicación más detallada). Intenta cuantificar y equilibrar todos los datos pertinentes de la decisión —los costes y los beneficios— en las unidades monetarias. Aunque en este cálculo pueden tenerse en cuenta los "efectos externos" como los riesgos para la salud humana o para el medio ambiente, el daño correspondiente debe expresarse, en última instancia en términos de unidades monetarias (cf. sección 3.2.4 para los problemas).

Los proyectos tecnológicos deben ser evaluados desde el principio con respecto a su eficiencia económica esperada. Esto no sólo se aplica a productos técnicos como automóviles o teléfonos móviles, sino también indirectamente a cuestiones, por ejemplo, de infraestructura de tráfico, construcción de edificios o proyectos técnicos a gran escala como la construcción de presas. Los cálculos de costes de los productos tecnológicos deben realizarse a lo largo de todo su ciclo de vida. Consisten en los costes de desarrollo (gastos para la fase de planificación, los trabajos de investigación potencialmente necesarios, el diseño, la redacción y realización de ensayos y, si es necesario, la construcción de un prototipo seguido de pruebas de producción), los costes de fabricación (costes de producción en forma de gastos de materiales, costes de energía y mano de obra o de empleo del personal, construcción o adaptación de instalaciones de producción, control de calidad, la preparación de manuales), los costes de funcionamiento (requisitos energéticos y materiales a nivel de planta, los gastos de seguimiento, las pruebas operativas diarias, el mantenimiento, las reparaciones) y los costes de eliminación de residuos (posiblemente también las reservas necesarias para riesgos específicos, para la eliminación, así como para

la deposición final de las barras de combustible gastadas; la provisión para la realización de pasivos para la recuperación, por ejemplo, de automóviles viejos o equipos eléctricos).

3.3.3 Análisis del ciclo de vida y equilibrios ecológicos

La tecnología de evaluación de la sostenibilidad [Ludwig, 1997] no se limita a la vida útil de una tecnología, sino que se extiende hasta incluir todo el ciclo de vida, incluidas las cadenas de entrada y la eliminación. Los efectos de sostenibilidad de un producto tecnológico sólo pueden comprenderse mediante una Evaluación del Ciclo de Vida (ECV). Al evaluar los impactos tecnológicos en el medio ambiente; el enfoque de ECV se ha establecido desde hace mucho tiempo. Los indicadores de equilibrio ecológico de la compatibilidad ambiental de, por ejemplo, productos o instalaciones permiten comparar diversas alternativas y encontrar soluciones óptimas de acuerdo con consideraciones medioambientales. Una cadena de proceso puede resaltar los puntos débiles ecológicos y determinar las prioridades para el cambio necesario. La norma DIN EN ISO 14040 "Eco-Gestión — Equilibrio Ecológico". Principios y Requisitos Generales" se ha formulado como un marco para la realización de equilibrios ecológicos. A pesar de las numerosas dificultades metodológicas, el campo de la política medioambiental y la evaluación de los procesos ambientalmente relevantes no pueden preverse sin un equilibrio ecológico. Un acontecimiento reciente es la idea de incluir aspectos económicos y sociales en las evaluaciones de sostenibilidad.

Un equilibrio ecológico consiste en la definición de sus objetivos, un balance de recursos, un balance de impacto y una evaluación. La definición de objetivos incluye determinar el alcance y los objetivos de la investigación. El balance de recursos incluye la elaboración de un uso material y un equilibrio energético para cada uno de los procesos individuales del sistema, el examen de los procesos con respecto al cumplimiento de las normas medioambientales y la agregación del equilibrio de recursos para toda la línea de productos. "Línea de productos" debe entenderse como una representación de todos los procesos pertinentes en el ciclo de vida, desde el depósito de materias primas hasta el sitio de eliminación de residuos. La inclusión de los procesos de transporte y los detalles del consumo de energía también pueden ser importantes en esta investigación; esto es decisivo en la controversia sobre si los materiales de embalaje no retornables son más compatibles con el medio ambiente que los

materiales de embalaje retornables. En el balance de impacto, los materiales y energías consumidos en la línea de productos se determinan en relación con las categorías ambientales y se ponderan en consecuencia. A continuación, se evalúa el resultado en relación con la compatibilidad medioambiental.

Los equilibrios ecológicos no permiten determinar la compatibilidad medioambiental absoluta; simplemente permiten comparaciones. Las comparaciones realizadas con este método deben referirse a productos con el mismo propósito específico. Los resultados se presentan como datos agregados, es decir, no dicen nada sobre los efectos ambientales reales en lugares específicos en un momento específico, sino que presentan impactos ambientales totales a lo largo de todo el ciclo de vida. Para que estos resultados sean aceptados en la toma de decisiones, los equilibrios ecológicos deben ajustarse a los requisitos metodológicos habituales de comprensión, transparencia y coherencia. Si se cuestionan los resultados, debe ser posible rastrearlos hasta la información de entrada, las dependencias funcionales asumidas o las premisas. En primer lugar, debe llegarse a un acuerdo sobre estos parámetros—típicos de los métodos de la ET—, en particular en lo que respecta a los límites del sistema que deben respetarse (sección 3.1.2).

3.3.4 Métodos de análisis de decisiones

Los métodos de análisis de la toma de decisiones se orientan hacia el problema de la integración multidimensional de diversos criterios de evaluación (sección 3.2.3, cf. también Ibo van de Poel, anteriormente). Se basan en la evaluación de las opciones de acuerdo con varios criterios de evaluación, inicialmente separados, y en su posterior ponderación y agregación que conducen a una evaluación integral. En primer lugar, deben seleccionarse las opciones técnicas (social)» que deben evaluarse. A continuación, deben formularse los criterios de evaluación según los cuales deben evaluarse las opciones. Se requiere un conocimiento suficiente de las características y efectos de las opciones en cuestión. Estos parámetros incluyen, por ejemplo, riesgos, costos y los posibles efectos secundarios, pero también la ganancia esperada o pérdida de utilidad. Estas "dimensiones de impacto" deben cuantificarse en forma de valores de utilidad para cada opción de acuerdo con los distintos criterios de evaluación. Por último, deben acordarse ponderaciones para los criterios elegidos para que se pueda calcular la agregación de los valores de utilidad respectivos para proporcionar una utilidad total para cada dimensión. Suponiendo que todos los criterios sean funcionalmente independientes entre sí

y no redundantes la mejor opción posible será la que tenga la máxima cantidad de "utilidad total". La utilidad total es la suma de las utilidades separadas, sumada para todos los n criterios. Las utilidades separadas, a su vez, son los productos de los valores de utilidad individuales multiplicados por la ponderación para el criterio respectivo.

En el ámbito de este análisis de utilidad (o método de puntuación) existen una serie de procedimientos diferentes, como el análisis multi-criterio o el análisis multi-atributivo con un mayor refinamiento del método, por ejemplo, con respecto a la compilación y el procesamiento de los datos. Por medio de la lógica difusa, se intenta acentuar las evaluaciones "blandas" y diferenciadas. Además, se pueden establecer requisitos mínimos para cada criterio de evaluación; incumplimiento de ese requisito mínimo descalificaría entonces la opción en cuestión, incluso si hubiera hecho bien de acuerdo con otros criterios. De esta manera, se puede restringir la sustituibilidad recíproca de las evaluaciones de partes positivas y negativas. La influencia de las contribuciones individuales en la utilidad y la influencia de los criterios de ponderación pueden probarse mediante análisis de sensibilidad para que pueda examinarse la solidez de los resultados.

Al aplicar estos métodos, los resultados dependen en gran medida de los supuestos originales. Las incertidumbres y estimaciones necesariamente sustituyen a los conocimientos bien fundados. Los resultados también dependen en gran medida de las ponderaciones: al variar la ponderación pueden ser alterados. El riesgo de abuso ideológico es muy alto. En vista de estas consideraciones, la noción de calcular una "utilidad total" podría ser generalmente dudosa (Ibo van de Poel, anteriormente). La utilidad total es una construcción altamente agregada que podría verse como un artefacto con valores casi arbitrarios dependiendo principalmente del procedimiento de agregación. En vista de estas limitaciones, el análisis de la utilidad no es tanto un enfoque de la determinación algorítmica de una opción de resolución de problemas "óptima" como un requisito para lograr la transparencia en situaciones complejas de toma de decisiones. Indica las consecuencias que entraña asumir ciertas utilidades y ponderaciones (positivas o negativas) y, por lo tanto, tiene un valor elucidatorio y heurístico.

3.3.5 Conferencias de consenso

Las conferencias de consenso se encuentran entre los procedimientos de Asistencia ET participativa más conocidos (Sección 2.4.2). Tienen sus raíces

en los enfoques de la democracia deliberativa y fueron empleados por primera vez en países con culturas de discusión y estándares de deliberación y discursos altamente desarrollados. La cuestión fundamental es considerar los requisitos previos requeridos por una democracia en funcionamiento, en la que el conocimiento experto altamente especializado es esencial, especialmente en cuestiones de ciencia y política tecnológica: " ... antes de todas las decisiones se requiere un debate abierto (libre de dominación) e informado por todos los interesados. Este debate garantizará la posibilidad de que todos los interesados expresen sus opiniones y sean escuchados" [Klüver, 1995, p. 45]. A tal fin, debe llevarse a cabo "un debate informado" "entre los laicos y los eruditos" (pág. 46). Esto se hace de la siguiente manera: "Una conferencia de consenso es una audiencia pública presidida con una audiencia del público y con la participación activa de 10 -15 laicos" [pág. 47].

Este tipo de reunión requiere una preparación considerable: las cuestiones pertinentes deben aclararse previamente y se elegirán los expertos y participantes. Los participantes laicos son buscados a través de la publicidad en los periódicos. Se hace una selección de los interesados que representa aproximadamente una sección transversal de la población en términos de edad, género y antecedentes educativos y ocupacionales. El muestreo de los participantes implica la disposición declarada a participar y seleccionar de acuerdo con criterios de representación. El muestreo aleatorio está, en gran medida, excluido. Los participantes no pueden ser expertos o partes interesadas. Al preparar la conferencia de consenso, se concede gran importancia a la impartición de conocimientos fácticos y especializados a los participantes.

La conferencia de consenso real dura tres días. En primer lugar, hay "retransmisión de los expertos", luego hay un "examen cruzado de los expertos" y, por último, la "presentación del documento final" [Klüver, 1995, p. 49ff.]. El primer paso en los procedimientos sirve para determinar el estado reconocido del conocimiento y para revelar divergencias en las opiniones de los expertos. En la segunda fase, el objetivo es revelar las razones de estas divergencias a través del "examen cruzado". En esta etapa, a más tardar, se debatirán sobre presunciones normativas y premisas implícitas. Esta es la fase más importante en lo que respecta a la garantía de la transparencia.

En Dinamarca, donde se desarrollaron conferencias de consenso, se establecen por ley. Las conferencias de consenso han abarcado un gran número de temas como, por ejemplo, sobre la cuestión de los productos alimenticios

modificados genéticamente (cf. [Klüver, 1995] para una visión general). Algunos de ellos incluso han reverberado en las decisiones parlamentarias: en 1987, después de una conferencia de consenso sobre el tema, el parlamento decidió dejar de utilizar la financiación pública para patrocinar experimentos genéticos en animales. Estas conferencias de consenso actuaron como un modelo para el enfoque suizo "PubliForum", operado por ET -Suiza. También se han llevado a cabo experimentos con conferencias de consenso internacional en un entorno europeo pluri-cultural. El reciente y ambicioso proyecto "Encuentro de las Mentes" se refería a los desafíos de la neurociencia (véase <http://www.meetingmindseurope.org/>).

3.3.6 Jurados de ciudadanos y variaciones

En el método "jurado de ciudadanos", los laicos están obligados a juzgar un problema de toma de decisiones tecnológicas de acuerdo con el "sentido común". Los miembros del jurado actúan como un comité independiente que pronuncia una recomendación equilibrada comprometida con el "interés público" después de escuchar a testigos expertos, personas afectadas y las partes interesadas. Estos enfoques proporcionan evaluación y juicio que involucran a ciudadanos independientes que sirven de asesoramiento a los responsables de la toma de decisiones.

La "Célula de Planificación" puede ser vista como un tipo específico de jurado ciudadano. Fue desarrollado a principios de la década de 1970 y es, por lo tanto, uno de los primeros procedimientos participativos. Se emplea principalmente en los procesos de toma de decisiones municipales, por ejemplo, para la planificación urbana y del tráfico. La idea básica es que 25 ciudadanos elegidos al azar se familiaricen tanto con el problema en cuestión durante un período de cuatro días, ya sea colectivamente o en pequeños grupos que puedan entender y juzgar las posibles soluciones. Para obtener una visión general más grande, se organizan varias celdas de planificación para tratar el mismo problema. Sus resultados se resumen en un grupo de experiencia ciudadana. Se espera que de esa manera se adquieran recomendaciones socialmente aceptables y factibles que sean de interés público. A nivel del participante individual, se reconoce un "valor del evento" de la célula de planificación sorprendentemente alto, es decir, la impresión de ser incluido en los procesos relevantes para la toma de decisiones y de ser tomado en serio como ciudadano. En el plano social, se espera un paso hacia una mayor capacidad de aprendizaje y hacia una recaptura del papel del soberano por parte de los ciudadanos.

3.3.7 Mediación y arbitraje

La mediación y el arbitraje son procedimientos orientados a la negociación, diseñados para resolver pacífica y consensuadamente los conflictos con la ayuda de una parte neutral (mediador, árbitro). Por lo general, derivan de conflictos existentes que las partes en desacuerdo son incapaces de resolver constructivamente sin ayuda externa. El interés común de las partes en conflicto se presupone en un acuerdo consensuado y extrajudicial. Según el "Modelo de Harvard" [Fisher y Ury, 1988], se supone que las posiciones estancadas se pueden aflojar revelando los intereses "reales" de las partes antes de transformarse en situaciones de "ganar-ganar". En este punto, las compensaciones acordadas mediante negociaciones desempeñan un papel importante.

Los procedimientos de mediación también pueden emplearse de forma preventiva, con el fin de evitar que las cuestiones se intensifiquen. Ahora se intenta reunir a las partes potencialmente conflictivas alrededor de una mesa en la fase preparatoria de las decisiones sobre, por ejemplo, dónde localizar instalaciones técnicas, con el fin de llevar a cabo la comprensión con el oponente específico antes de tomar medidas para desescalar los conflictos inminentes. Al final, se trata de establecer una situación en la que ambas partes tengan ventajas o puedan alcanzar parcialmente sus objetivos.

La función del mediador es desglosar los bloqueos existentes en la comunicación, iniciar un proceso de liquidación y supervisarlos. La solución de conflicto no es decidida por el mediador, sino que debe ser descubierta por las partes en conflicto bajo la guía del mediador. Los requisitos para un buen moderador son: neutralidad estricta en el caso en cuestión, competencia técnica suficiente, conocimiento de los reglamentos y disposiciones legales, competencia en el trato con grupos e individuos, habilidades comunicativas y experiencia práctica de moderación del discurso, orientación al interés público y respeto social. Desde 1973, estos procedimientos se han practicado en diferentes variantes en los Estados Unidos en relación con cuestiones ambientales y, en cierta medida, se han integrado en la ley como alternativa a las soluciones de conflicto judicial.

En los conflictos tecnológicos de ET que involucran a un número limitado de actores y a un problema definido con precisión, parecen ser los ámbitos adecuados para la aplicación de los procedimientos de mediación. Estos conflictos giran especialmente en torno a los problemas de localización

centrados en la distribución justa y aceptable de riesgos, daños y la utilidad de instalaciones industriales a gran escala, como aeropuertos, centrales eléctricas, sitios de eliminación de residuos o plantas de procesamiento de productos químicos. Tales problemas de NIMBY ("No en mi patio trasero") son, por regla general, locales o regionales y tienden a caracterizarse por un evento planificado específico, por una intervención extrema en la vida y el medio ambiente de los residentes locales o por una mezcla de diversos intereses.

3.3.8 Evaluación de la visión

Muy a menudo, como con el surgimiento de la nanotecnología, las visiones y metáforas marcan el avance revolucionario de la ciencia en general y actúan como un factor importante en los debates sociales. Estas visiones aún no han sido analizadas exhaustivamente por ET. El análisis preliminar ya ha demostrado que las visiones futuristas son ambivalentes: pueden causar fascinación, preocupación y miedo. El principal argumento para exigir una evaluación temprana de la visión es la importancia de las visiones en los debates reales, es decir, tanto en el debate sobre las oportunidades que ofrecen el progreso científico y tecnológico como en los debates de riesgo en curso. Para proporcionar más racionalidad, reflexividad y transparencia en estos debates, la evaluación de la visión también debería considerar valores [Grunwald, 2006a; 2007a].

La evaluación de la visión es una nueva herramienta de ET que no está dirigida a la evaluación de las tecnologías, sino a la evaluación de visiones que se comunican en el entorno social de la tecnología [Grin y Grunwald, 2000]. Los campos de la nanotecnología y todas las demás tecnologías convergentes, están siendo sometidos actualmente a un amplio debate [Grunwald, 2006a; 2007a]. La evaluación de la visión se puede dividir analíticamente en análisis de la visión—que a su vez se subdivide en un aspecto sustancial (¿cuál es el contenido de la visión respectiva?) y un aspecto pragmático (¿cómo se utiliza en la comunicación concreta?), la evaluación de la visión (¿cómo podría evaluarse y juzgarse el contenido de la visión?) y la gestión de la visión (¿cómo deben las personas y grupos afectados lidiar con las visiones?).

La evaluación de la visión incluye elementos normativos, como las preguntas de cómo se pueden clasificar los aspectos cognitivos, cómo se pueden juzgar de acuerdo con un grado de realización o viabilidad, de acuerdo con la verosimilitud y la evidencia [Pereira et al., 2007], y qué estatus tienen los aspectos normativos, por ejemplo, en relación con los sistemas establecidos de

valores o con las normas éticas. El objetivo general es lograr una divulgación transparente de la relación entre el conocimiento y los valores, el conocimiento y la falta de la misma y la evaluación de estas relaciones y sus implicaciones. En particular, la evaluación de la visión debe permitir que los diversos aspectos normativos y, en parte divergentes, de las visiones del futuro se enfrenten directamente entre sí. Esto se puede lograr a través del análisis ético y la investigación de escritorio. Además, las partes interesadas deben discutir sus diferentes juicios en los talleres directamente entre sí con el fin de revelar sus suposiciones.

3.4 Antecedentes normativos para los métodos de evaluación

Los métodos de ET presentados anteriormente difieren en varios aspectos: son relevantes en diferentes etapas de los procesos de ET, requieren diferentes tipos de datos, ofrecen diferentes tipos de conocimientos y (como se discutirá a continuación) difieren con respecto a sus premisas normativas.

Los diversos métodos de ET (o familias de métodos) se aplican generalmente en situaciones específicas y en el contexto de enfoques específicos de ET. Enfoques como la ET participativa o la ET orientada a la innovación adoptan una visión específica sobre la tecnología, sobre la sociedad o sobre los procedimientos de toma de decisiones:

- El análisis costo-beneficio y el MCDA están vinculados al cálculo utilitario de la toma de decisiones. Comparten elementos esenciales del utilitarismo como la reducción de diferentes criterios a los valores monetarios y el principio de maximizar la utilidad. Esta categoría también incluye la evaluación cuantitativa del riesgo destinada a minimizar el riesgo.
- El análisis del ciclo de vida (ECV) se basa, en parte, en ideas ecológicas sobre la compatibilidad ambiental de los procesos industriales u otros procesos económicos.
- Las evaluaciones de sostenibilidad llevan la idea de la justicia (inter-generacional e intra-generacional) [Rawls, 1999] y la equidad en el ámbito del desarrollo tecnológico [Grunwald y Kopfm-ller 2006] .
- Los tipos de ET participativos, como las conferencias de consenso, suelen trabajar sobre la base de ideas normativas sobre democracia deliberativa y ética discursiva [Habermas, 1988b; Renn y Webler, 1998], en los que las

personas en puestos de responsabilidad y los ciudadanos interesados comparten ideas normativas, que a menudo están muy cerca de las ideas de la sociedad civil.

- Los enfoques de mediación trabajan con "controles y equilibrios" y tienen como objetivo, mediar intereses divergentes, por ejemplo, mediante la creación de estrategias de compensación sin dar prioridad a los principios éticos.

Hay que reconocer dos puntos esenciales en cada proceso concreto de ET y también en la teoría de ET. En primer lugar, los métodos de evaluación no son, como se ha demostrado, libres de valor. Los locales normativos y las presunciones suelen estar implicados en la selección de métodos específicos de ET, ya sea directamente o porque la aplicación de un determinado método, a menudo está relacionada con suposiciones normativas y conceptuales. Por ejemplo, existe una estrecha relación entre el análisis costo-beneficio y el cálculo utilitario de la toma de decisiones. Por lo tanto, para cumplir los objetivos de ET y evitar sesgos es indispensable aplicar un alto grado de reflectividad con respecto a dichos elementos normativos de los métodos de ET y establecer un grado máximo de transparencia a este respecto.

En segundo lugar, lo que se puede aprender de este análisis (y lo que ha sido apoyado por la experiencia de ET en las últimas décadas) es modestia en términos de la expectativa de que ET debe ser capaz de reducir las decisiones sobre las tecnologías y su entorno social a procedimientos metódicos similares a algoritmos. En contraste con esas expectativas, se ha demostrado que los métodos implican aspectos normativos. Mediante la aplicación de métodos ET, se pueden recopilar, agregar y evaluar diversos tipos de datos para los fines considerados. La transparencia puede fortalecerse y los argumentos pueden ser apoyados por investigaciones guiadas metódicamente. Pero tales actividades no pueden sustituir el carácter político y ético de las decisiones tecnológicas de largo alcance; sólo pueden informarlos y orientarlos. Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones —y los ET pueden considerarse un tipo específico de herramienta de apoyo a la toma de decisiones— no sustituyen a las decisiones, sino que apoyan la toma de decisiones.

4 DESARROLLOS ACTUALES Y RETOS FUTUROS

ET depende del contexto con respecto a los diversos temas, grupos objetivo, antecedentes y campos de la tecnología. Por lo tanto, los cambios en el contexto (el entorno social y político general, las funciones y constelaciones de

los actores pertinentes, los procesos de formación de opiniones y de toma de decisiones) tienen efectos directos en las opciones de ET para cumplir con sus responsabilidades. Por lo tanto, ET tiene que observar los cambios en su entorno y reaccionar a ellos conceptualmente. En otras palabras, tiene que reflejar activamente estos cambios en su propia comprensión conceptual. Los acontecimientos actuales en contextos sociales, políticos y científicos que son muy relevantes para ET son:

Globalización: Hasta hace poco, el grupo objetivo de ET en políticas de tecnología, investigación e innovación eran principalmente instituciones dentro de estructuras de toma de decisiones orientadas a nivel nacional o regional. La globalización económica, pero también política y tecnológica, ha cambiado esta situación. El hecho de que los impactos de la tecnología no tengan fronteras, ha sido reconocido desde hace mucho tiempo. Sin embargo, la globalización también afecta al desarrollo tecnológico, la difusión y la aplicación. El diseño tecnológico se lleva a cabo hoy en día en redes de todo el mundo. Algunos ejemplos son el software Open Source y el Human Genome Project, o la tecnología nano (bio). El uso y la difusión de la tecnología también se están volviendo cada vez más globales. Las redes de suministro de energía eléctrica han crecido hace mucho tiempo más allá de las fronteras políticas de los estados nacionales. Tanto en la promoción como en la regulación de la tecnología, las decisiones importantes están cambiando a niveles de mayor agregación, es decir, del nivel nacional al europeo. La influencia que las "culturas" regionales tienen en la forma en que se aborda la tecnología está disminuyendo, al igual que el margen de maniobra de los estados nacionales clásicos se está reduciendo. ET tiene que encontrar formas de tratar – conceptual y metódicamente, pero también estratégicamente – con la globalización y con nuevas constelaciones. Si no lo hace, se verá amenazado por la provincialización y la pérdida de importancia. ET tiene el reto de organizarse internacionalmente, de llevar a cabo la correspondiente transferencia de conocimientos, de contribuir al desarrollo y uso de nuevas estructuras de gobernanza y de poner en el orden del día los Acuerdos sobre El Transporte Cultural e Intercultural. ET tiene que operar más activamente de lo que tiene hasta ahora a nivel supranacional y, si es necesario, a nivel mundial, y asesorar a una política correspondientemente multinivel en el ámbito de la "gobernanza global".

La Sociedad del Conocimiento: Los métodos de producción, el acceso y la distribución de los medios de utilización del conocimiento se ven afectados por el desarrollo de una "sociedad del conocimiento". Impulsada por la difusión

de las tecnologías de la información y la comunicación, la importancia del conocimiento está creciendo en los aspectos económicos, sociales y políticos. La política del conocimiento y la gestión del conocimiento se están convirtiendo en nuevos dominios sociales [Stehr, 2004]. Las acciones y decisiones estarán cada vez más fundamentadas y legitimadas por el conocimiento científico. Sin embargo, al mismo tiempo, la fundación de decisiones sociales sobre el conocimiento genera necesariamente riesgos debido a las incertidumbres del conocimiento, incluso al posible auto-peligro de la sociedad. Esto exacerba la situación de contingencia en la condición humana [Grunwald, 2007a].

Desarrollo Sostenible: El principio rector de la sostenibilidad es que exige una política de investigación y tecnología que fomente la sostenibilidad. Para ET, esto es significativo en al menos dos aspectos: por un lado se necesitan muchos conocimientos prospectivos sobre las consecuencias de las nuevas innovaciones tecnológicas para la sostenibilidad, que (a) abarca todo el ciclo de vida de la tecnología y sus componentes y b) no sólo es ecológico, sino también se refiere a todas las dimensiones de la sostenibilidad [Grunwald, 2007b]. Por otro lado, esto aumenta considerablemente las expectativas que se imponen a una evaluación "integradora" de los impactos [Ludwig, 1997].

Enfoques de fundición de fondo: En los últimos años, los enfoques de fundición posterior han recuperado importancia, especialmente en lo que respecta al desarrollo sostenible. Por ejemplo, la gestión de la transformación, que actualmente es una noción de uso frecuente, funciona definiendo los futuros deseados y derivando medidas y estrategias que deben implementarse hoy en día para llegar a los estados futuros deseados.

Ejercicios de previsión: ha habido muchos ejercicios de previsión (tecnología) en los últimos 15 años (para las definiciones de previsión cf. [Coates, 1985] y [Martin e Irvine 1989]). En particular, la Unión Europea ha apoyado muchos de estos ejercicios, principalmente en el ámbito de la previsión regional [FOREN, 2001]. Las actividades de previsión tienen muchos paralelismos con ET, pero son más exploratorias, enfatizan los efectos sociales (como movilizar a las personas en una red regional o de construcción) y no se centran en la evaluación normativa.

Nuevas Tecnologías: Los cambios físicos y de énfasis pueden discernirse en las características de las innovaciones científicas y técnicas actuales. Ya no son los problemas tradicionales de las instalaciones a gran escala los que son centrales, sino más bien el desarrollo —como se ve en la nanotecnología y la

tecnología de la información y la comunicación, todos los cuales han culminado en la noción de "tecnologías convergentes" [Roco y Bainbridge, 2002], lo que conduce a una integración cada vez mayor y a la creación de interfaces cada vez más complejas. Como resultado, los procesos de toma de decisiones son cada vez más complejos. El ritmo futuro de la tecnología está determinado por la integración de los desarrollos de áreas separadas originalmente, y no por innovaciones individuales.

La importancia de las cuestiones sociales: El papel de la tecnología en la sociedad está cada vez menos determinado por la viabilidad técnica de productos, procesos o sistemas. Mucho de lo que es técnicamente factible y que también se ha realizado y llevado al mercado, se basa en la incorporación social (como ha demostrado la investigación en innovación), en aspectos económicos, en la falta de aceptación social o en una adaptación insuficiente a la tecnología existente (como con Trans rapid, por ejemplo). La aceptación del cliente, o la falta de ella, ocasionalmente conduce a giros inesperados, como, por ejemplo, con la cuestión de los productos alimenticios modificados genéticamente en Gran Bretaña, y actualmente con la cuestión de si los teléfonos móviles UMTS serán aceptados en el mercado y cuándo. Aquí se están abriendo nuevas interfaces entre la investigación en innovación, las ciencias culturales y la ET.

Estudios ELSI: En los últimos años ha surgido un nuevo tipo de actividad relacionada con la ET. Los estudios ELSI o ELSA (implicaciones/aspectos éticos, legales y sociales) se han elaborado en algunos campos emergentes de las nuevas tecnologías, principalmente en el ámbito de la nanotecnología. Estas actividades son más selectivas en su ámbito de aplicación que los ET clásicos y a menudo no están dirigidas directamente a los responsables de la toma de decisiones, sino que tienen la intención de informar ampliamente al público interesado. En un sentido metodológico y normativo, sin embargo, hay grandes similitudes con la ET establecida.

El futuro de la naturaleza humana: Las tecnologías convergentes de los campos de la nanotecnología, la biotecnología, la tecnología de la información y las ciencias cognitivas (NBIC, cf. Roco y Bainbridge [2002]) permitirán a la humanidad mejorar el rendimiento humano, tanto a nivel individual como colectivo. Las cuestiones éticas emergentes [Habermas, 2001], así como el potencial de innovación y avance serán temas destacados para ET en los próximos años.

La historia de ET puede ser contada como una historia de experimentación con conceptos y de aprendizaje probando o deduciendo de debates conceptuales relevantes. Hasta la fecha, esto podría haberse hecho de manera bastante esporádica y en el contexto de la presión práctica. Si eso es así, parece que ha llegado el momento de echar un vistazo al espectro "completo" de ET y a desarrollar una teoría de ET que aún no existe (se tomaron medidas tentativas en esta dirección en TATUP [2007]). Una teoría de ET sólo puede ser una teoría de aprender sobre ET y, por lo tanto, una teoría de la reflexión sobre ET sobre la base de su relación con la práctica.

LA INTERACCIÓN DE LA ÉTICA Y LA TECNOLOGÍA EN LA PERSPECTIVA HISTÓRICA

Carl Mitcham and Adam Briggie

Con sólo estiramientos menores, la ética puede concebirse como una ciencia similar a la tecnología. La ética es técnica en la medida en que implica terminología especializada e incluye técnicas para la realización de la acción humana; es científica en el sentido de involucrar la reflexión sistemática y el análisis crítico. Además, como sostiene Caroline Whitbeck [1998], hay fuertes paralelismos entre los problemas de ética y los problemas en el diseño de ingeniería. Por lo tanto, independientemente de otras consideraciones, es apropiado que un manual sobre la filosofía de la tecnología y las ciencias de la ingeniería incluya un capítulo sobre ética y tecnología.

Hay otras razones también. En la tradición europea, la ética —o la reflexión filosófica sistemática sobre la acción humana y sus normas— se remonta a Sócrates, y desde sus primeras manifestaciones ha incluido múltiples referencias a las técnicas o a las artes y oficios, en los sentidos directos de la fabricación y el uso de artefactos. Desde el Renacimiento, este tipo de creación y uso se ha vuelto cada vez más sistematizado como tecnología e ingeniería, sobre los cuales han surgido discursos éticos más extensos. La ética en estos contextos ha sido llamada a discutir la tecnología como se manifiesta en todo, desde objetos y actividades y sus expresiones combinadas en la cultura material, hasta formas de conocimiento e intenciones. En estos diferentes aspectos, la tecnología también ha recibido forma moral mediante códigos de ética profesionales, comportamientos de uso de los consumidores y determinaciones políticas. Por lo tanto, la tecnología ha influido en la forma en que los seres humanos conciben y evalúan sus mundos y se han visto influenciadas por tales evaluaciones. Existen interacciones extendidas entre la ética y la tecnología que han contribuido a los cambios en la comprensión ética y en la creación tecnológica, el uso, el pensamiento y la voluntad.

Dada la amplitud de estas discusiones, el presente capítulo se centrará en el amplio fenómeno de la tecnología, mientras que en ocasiones y según las nociones distintivas apropiadas de técnica, técnicas, arte, artesanía, invención, ingeniería, ingeniería y tecno-ciencias. (Para más información sobre estas distinciones, véase el escrito de Mitcham y Schatzberg en la Parte I de esta compilación, "Definición de la Tecnología y las Ciencias de la Ingeniería".) De hecho, dentro del campo general de compromiso reflexivo marcado por la frase

"filosofía de la tecnología", el juicio ético ha recibido más atención, especialmente en lo que se refiere a discusiones populares, que las de otras ramas de la filosofía como la metafísica, la epistemología y la estética. Casi cualquier evaluación teórica de la tecnología es probable que se trate de una pregunta sobre las implicaciones prácticas, y son los compromisos de ética y tecnología resultantes los que se examinan aquí.

Siguiendo dos secciones que esbozan un trasfondo histórico, el capítulo se centra en interacciones claramente modernas entre ética y tecnología. El enfoque moderno comienza en la sección tres definiendo e ilustrando tres escuelas generales de reflexión ética sobre la tecnología que se encuentran en la filosofía europea y americana. En la sección cuatro se examinan las formas en que la práctica moral, informada de manera diversa por las escuelas de ética y sus enfoques, da forma a la tecnología, trabajando a nivel profesional, personal y político. En la sección cinco se examina brevemente cómo la tecnología puede dar forma a las creencias y prácticas morales sugiriendo una concepción interactiva de la tecnología y el cambio moral.

1 ETICA Y TECNICA PRE-MODERNA

Las plantas y los animales alteran el mundo ingente selectivamente materiales del medio ambiente, transformándolos y excretando materiales recién formados. Para unos pocos animales, sin embargo, su propia existencia depende crucialmente de alterar el mundo de maneras más determinadas. Las arañas giran las telarañas; las aves construyen nidos; castores construyen presas; y herramientas de moda para chimpancés. Para ningún animal, sin embargo, es la fabricación y el uso de objetos físicos más cruciales para sus vidas y sustento sin duda que para los seres humanos, que fabrican y usan ropa, refugio, utensilios, herramientas, servicios públicos, armas, estructuras, ciudades, sistemas de transporte y comunicación, y más, todo como parte de su forma distintiva de ser en el mundo, una forma de ser que se diferencia en múltiples tradiciones de la cultura material. En sus formas tecnológicamente avanzadas, las culturas materiales humanas se han vuelto comparables a las fuerzas geológicas en sus capacidades para alterar el medio ambiente.

Un reconocimiento temprano de la característica definitoria de la fabricación y el uso humano se expresó clásicamente en el segundo coro de Antígona de Sófocles:

De muchas maravillas, ninguna es

más maravilloso que los seres humanos.
Cruzan los mares
con los vientos tormentosos e hinchados
y rugiendo sobre ellos.
Astutos son humanos. A través de artimañas mecánicas

dominan las bestias del campo
y los que deambulan por las colinas.
El caballo con la melena pellega sostienen y aprovechan el cuello,
y el toro fuerte de las montañas.
Y el habla y el pensamiento rápido del viento
y los temperamentos que van con la vida política
se han enseñado a sí mismos, y cómo evitar
heladas frías bajo el cielo abierto,
y la lluvia palpitante también.
Inteligente más allá de todos los sueños
son los mecanismos y tecna de los seres humanos
que provocan en un momento el mal y en otro bien.
Cuando honran la ley
y perseguir la justicia de los dioses
sus ciudades están de pie, pero des honrados son aquellos
cuyos corazones imprudentes
hacer que se unan de las manos con el mal.
Que no pensemos como ellos
ni pueden esas personas impious
moran en nuestra casa. (líneas 332-375)

Lo que es especial de los seres humanos es que navegan por los océanos, aprovechan los animales e incluso doman sus propios impulsos para poder vivir juntos y construir casas para protegerse de los elementos. Sin embargo, para la mente griega, las habilidades técnicas seguían subordinadas a un orden moral, con aquellos que actuaban fuera del marco legal siendo justamente excluidos de la comunidad humana. Desde el principio de esta apreciación de la habilidad técnica y sus logros, techne se asoció así con las posibilidades del bien humano y el mal. Ya en la técnica o nave Odyssey se identificó con una habilidad loable (por ejemplo, Odyssey V, 259) y trucos reprochables (por ejemplo, Odyssey IV, 455). Del mismo modo, en las Escrituras hebreas, el dominio técnico y las técnicas aparecen, por un lado, como necesidad y perfección y, por otro, como tentación o corrupción. Noé construyó el arca de acuerdo con las instrucciones de Yahweh como un vehículo para la salvación del diluvio (Génesis 6:14 ss.), pero los seres humanos posteriores usaron su destreza técnica para construir la Torre de Babel como una rebelión espiritual (Génesis 11:1 ss.). En las obras de

Platón (428-347) surgió una reflexión ética más explícita no la naturaleza, sino las ideas de bondad, grandeza y belleza que fueron los temas orientadores de la investigación filosófica. La búsqueda de un relato completo de la experiencia ética alegó una apreciación de los diferentes niveles de ser y de las diferentes formas de conocimiento apropiadas para cada uno, aunque la realidad más elevada era ética, el bien en sí mismo, concebido como "más allá del ser" República 509a-b). Según Aristóteles (384-322), sin embargo, la filosofía se originó cuando el discurso sobre los dioses fue reemplazado por el discurso sobre la naturaleza (comparar, por ejemplo, Metafísica 983b29 y 988b27). En la tradición aristotélica es el estudio de la naturaleza, como causa de las características funcionales distintivas de una especie que constituye la ciencia natural y proporciona una visión de los telos o el final de cualquier caso de su tipo. Para Aristóteles las propias ramas de la filosofía se distinguieron, y la ética asumió el carácter de un examen sistemático de la *ethos*, como se manifiesta en las costumbres o el comportamiento humano. Más que cualquier otro tipo de entidad, los seres humanos tienen una naturaleza que está abierta e incluso requiere más determinaciones a través de comportamientos que actualizan las potencias inherentes. A nivel individual, estas determinaciones suplementarias se llamaban carácter; social, culturas y regímenes políticos. Su multiplicidad provocó análisis y evaluación sistemáticos (es decir, en el sentido clásico, científicos). Los filósofos romanos, llevando adelante la tradición griega, también examinaron las *mores* (plural latino para el *ethos*) de los pueblos, en lo que llegó a llamarse teoría moral. La ética y la teoría moral no son más que dos términos para la misma cosa: la reflexión sistemática sobre la conducta humana que busca entender el bien para los seres humanos y así servir como base para la orientación prudencial en los asuntos humanos. Aunque Cicerón (106-43) no incluyó explícitamente las artes, su evaluación de las obligaciones morales asociadas con las "oficinas" sociales es una formulación de la responsabilidad de roles con aplicabilidad general. La responsabilidad de los roles ha servido como marco para entender las obligaciones morales asociadas con las formas tradicionales de artesanía y las profesiones modernas de la medicina y la ingeniería.

Durante la Edad Media, estas articulaciones de la teoría moral (ciencia) y la práctica (técnica) fueron subsumidas en un marco de revelación divina. Según Tomás de Aquino (1224-1274), por ejemplo, la perspectiva sobrenatural permite a los cristianos proporcionar una visión más perfecta de la naturaleza última de la realidad y el bien humano de lo que era posible para los paganos. Lo

que para Aristóteles no podía ser más que los consejos de sabiduría práctica se convirtieron para las leyes naturales de Tomás de la conducta humana, leyes que se reducen en la razón cósmica y se manifiestan en la razón humana como una "inclinación natural a su acto y fin apropiados" (*Summa theologiae* I-II, q.91, a.2). Además, influenciados por la revelación de los seres humanos creada a imagen de un Dios creador, los cristianos comenzaron a interesarse especialmente por la tecnología. El siglo anterior a Thomas fue testigo de la escritura del primer libro sobre herramientas (*De diversibus artibus* de Theophilus Presbyter), la conceptualización de siete artes mecánicas como complementos a las siete artes liberales (en Hugh de St. Victor's *Didascalicon*), y un argumento para las técnicas como una manera de remediar las pérdidas de la Caída (otra idea de Hugh). Contemporáneo de Thomas, Roger Bacon (1214-1294), incluso comenzó a promover el desarrollo de una ciencia tecno-experimental e imaginar la posibilidad de invenciones técnicas como microscopios, telescopios, barcos de vapor y aviones.

A pesar de las grandes diferencias entre esos pensadores pre-modernos, podemos identificar una visión bastante consistente sobre las relaciones entre la ética y las técnicas. Como Hans Jonas [1984] ha argumentado, las técnicas en sí no hicieron ninguna afirmación de alto propósito moral. A diferencia de la política, la virtud o la religión, por ejemplo, las técnicas eran un aspecto bastante limitado de la vida humana, limitado en poder y efecto. Tanto las Escrituras como el pensamiento político antiguo funcionaron en un lenguaje moral de virtud, carácter, propósito y disciplina que instruyó acerca de la forma y los fines humanos apropiados. Defendieron una visión del mundo en la que los límites a la búsqueda de la intervención técnica en sí mismos y en el mundo eran cruciales para la auto-perfección. Por lo tanto, las formas tradicionales de ética tendían a abogar por la moderación en la búsqueda independiente y progresiva de la ciencia y las técnicas.

Por supuesto, la habilidad técnica se valoró cuando se persiguió dentro de tales límites y hacia metas dignas como la preservación de la vida y la comunidad. Pero todos los límites eran importantes, porque la actividad técnica puede extenderse rápidamente y crear riqueza que socave la virtud, el cambio que debilita la estabilidad social y la voluntad de poder en contradicción con la piedad natural o el florecimiento humano [véase Mitcham 1994a, pp. 275ff.]. Además, en general, los pre-modernos juzgaron que los artefactos son menos reales que los objetos naturales y los conocimientos técnicos como, en consecuencia, en un nivel inferior al de otros tipos de conocimiento. Las re-

declaraciones de tales posiciones pre-modernas se pueden encontrar, por ejemplo, en el trabajo del neo tomista Jacques Maritain (1882-1973), el erudito judío Leo Strauss (1899-1973), y el crítico social católico radical Ivan Illich (1926-2002). Su mensaje de limitar la búsqueda de técnicas, adquiere un carácter particularmente polémico cuando se aplica a la medicina y la agricultura.

2 LA ÉTICA Y LA TECNOLOGÍA MODERNAS

A partir del siglo XVI, el período moderno fue testigo de una transformación emergente en la comprensión de la ética; uno relacionado con una transformación en la ciencia y la tecnología en sí. La comprensión científica de la naturaleza llegó a centrarse ya no en la naturaleza de diferentes tipos de entidades, sino en leyes que trascienden todos los detalles y tipos. El conocimiento así producido contribuyó a la transformación de las técnicas en tecnología. Esta transformación denota un cambio en la escala de pequeñas embarcaciones a grandes máquinas y sistemas industriales y un cambio de fuentes de energía animadas a inanimadas. Esto ofrecía un nuevo nivel de poder para controlar o reordenar la materia y la energía para fines externos. Estos fines externos llegaron a ser cada vez más comprendido en términos de autonomía y bienestar humanos de este mundo. La ciencia tecnológica se convirtió así en la base de una actividad tecnológica progresiva que producía artefactos de manera más sistemática y mayor abundancia que nunca.

Por lo tanto, detrás del cambio de las técnicas a la tecnología es también una visión fundamentalmente cambiada de la relación entre la humanidad y el orden de las cosas. Esta visión y su realización a través de la tecnología fueron apoyadas con argumentos éticos de Niccoló Maquiavelo (1469-1527), Francis Bacon (1561-1626) y René Descartes (1596-1650). Los seres humanos merecen gestionar y transformar el mundo. Esta visión, que va mucho más allá de la del coro de Antígona, en la que los seres humanos descubren su lugar en la naturaleza a través de la actividad técnica, es una de alejarse de la observación reflexiva hacia un conocimiento que permite a los seres humanos no sólo operar dentro, sino controlar y someter su entorno. Además, ya no se contenta con aspirar con el anhelo espiritual de recuperar un paraíso prelapsario, la nueva política de Maquiavelo enfatizaba la virtud como poder, mientras que la nueva ciencia de Descartes tenía como objetivo que los seres humanos se convirtieran en "maestros y poseedores de la naturaleza" (Discurso sobre el Método, Parte 6).

Cuando la ética de las técnicas había sido uno de los límites debidamente prohibidos, la ética de la tecnología se concibió como un progreso infinito.

Fue Bacon quien articuló con mayor fuerza la ética distintivamente moderna de la tecnología. En *La gran instauración* (1620), sobre la base de una visión moral de los seres humanos como un sufrimiento injusto en el estado de la naturaleza —una visión apoyada por su despliegue creativo de la revelación cristiana—, Bacon criticó la filosofía griega como una vanidad de las palabras y oró por un nuevo comienzo en el que la filosofía natural perseguiría el conocimiento vinculado al poder. "Yo abordaría una amonestación general a todos", escribió, que consideran cuáles son los verdaderos fines del conocimiento, y que lo buscan no por placer de la mente, o por contención, o por superioridad a los demás, o con fines de lucro, o fama o poder [político], o cualquiera de estas cosas inferiores; sino para el beneficio y el uso de la vida... Estoy trabajando para sentar los cimientos, no de ninguna doctrina sectorial, sino de la utilidad y el poder humanos. ["Prefacio", párrafos 5 y 6]. Con este fin, su propuesta de un nuevo compromiso metódico de la mente con la naturaleza se basaría en:

Una historia no sólo libre y en general (cuando se deja a su propio curso y hace su trabajo a su manera), —como la de los cuerpos celestiales, los meteoros, la tierra y el mar, los minerales, las plantas, los animales, — sino mucho más de la naturaleza bajo restricciones y molestias; es decir, cuando por arte y la mano del hombre se ve forzada a salir de su estado natural, y exprimido y moldeado. Por lo tanto, puse en fin todos los experimentos de las artes mecánicas, de la parte operativa de las artes liberales, de las muchas artesanías que aún no han crecido en las artes correctamente llamados No (por decir la verdad clara) de hecho (baja y vulgar como los hombres pueden pensarlo) cuentan más en esta parte tanto para las ayudas y las salvaguardias que en la otra; ver que la naturaleza de las cosas se traiciona más fácilmente bajo las vejaciones del arte que en su libertad natural. ["Plan de la obra", párrafo 21]

En su uso del término "arte", por supuesto, Bacon significa hacer referencia a técnicas si no tecnología.

En mayor contraste con los antiguos, para Bacon el cambio técnico es inherentemente beneficioso porque mejora el bienestar humano y la autonomía. Las personas sufren más de los elementos que de otros seres humanos; por lo tanto, deben trabajar juntos para conquistar la naturaleza a través de la ciencia y el arte. Como prueba histórica de su posición, Bacon recoge cómo las

invenciones de la impresión, la pólvora y la brújula han sido de mayor beneficio para los seres humanos que toda actividad política anterior, debate filosófico o argumento teológico [Novum organum I, 129]. En los dos siglos siguientes, primero la Ilustración y luego la Revolución Industrial florecieron junto con la articulación progresiva de tales ideas sobre cómo los seres humanos podrían, a través de un nuevo vínculo entre la ciencia y las técnicas, rehacer los mundos físico y humano para satisfacer los deseos. La creación de la economía moderna como una teoría que respalda la búsqueda de intereses materiales individuales fue sin duda la promoción más influyente de este vínculo.

La ética también comenzó a ser re-sistematizada y pasó de la dependencia de la orientación prudencial hacia la formulación de reglas para la conducta humana. Surgieron divisiones entre diferentes sistemas éticos centrados en las reglas, pero los principales enfoques, sin embargo, estuvieron de acuerdo en tratar de formular procesos éticos de toma de decisiones que pudieran practicarse con competencia y regularidad en escalas que pudieran avanzar y hacer frente a los nuevos poderes de la industrialización, la tecnificación y la globalización. Así, el período moderno fue testigo del desarrollo de la ética como una ciencia con una intensidad y alcance únicos.

El desarrollo teórico de una nueva ciencia de la ética surgió en formas diferentes pero relacionadas dentro de las tradiciones empíricas y racionalistas de la filosofía europea moderna. En la tradición empírica, como se ejemplifica en la obra de David Hume (1711-1776), se argumentó que la moralidad se basaba en el sentimiento humano, que daba a la ética un elenco subjetivista. Elaborando esta perspectiva Jeremy Bentham (1748-1832), John Stuart Mill (1806-1873), y sus seguidores desarrollaron una teoría utilitaria que entendía la moralidad como reglas para la búsqueda de la felicidad maximizando los placeres y minimizando los dolores. La ética pragmatista reemplazó la felicidad por una concepción más amplia de los fines proyectados, pero continuó enfatizando la eficacia instrumental en su búsqueda. En la tradición racionalista, en cambio, Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) e Immanuel Kant (1724-1804), fundaron la moral en una racionalidad no instrumental de coherencia interior. Kant y sus seguidores desarrollaron una ética deontológica o centrada en el deber en la que el comportamiento moral fue evaluado en términos de intenciones y su universalidad. Este atractivo a la racionalidad atribuyó a los principios éticos un cierto carácter no empírico pero, sin embargo, objetivo análogo al que se encuentra en las leyes matemáticas.

Sin embargo, ambas tradiciones estaban en uno, en la lucha por hacer frente al desafío ético creado por la pérdida de la naturaleza como encarnar una potencia normativa, un alcance interior para la perfección, dentro y fuera de los seres humanos. Antes del período moderno, las entidades naturales se entendían como poseídas de tendencias funcionales hacia la armonía con las órdenes del ser. Cuando funcionaron bien y así lograron tales teloi (o extremos apropiados), luego el fuego ascendió, las semillas crecieron en flores y árboles, los animales maduraron y dieron a luz a la descendencia, los seres humanos hablaron entre sí e hicieron ofrendas a los dioses. Además, el fuego y los árboles y los seres humanos encajan y eran partes de mayores órdenes naturales. Puesto que estas armonías o proporcionalidades son lo que constituía ser en sí mismo, también eran buenas, que es simplemente la forma en que la realidad se presentó y dibujó o perfeccionó el apetito.

Para los pre-modernos, la práctica moral se orientaba así, hacia la perfección de la naturaleza humana. En cambio, en la medida en que la naturaleza llegó a ser vista como compuesta, no por entidades con naturalezas que deben realizarse, sino como materia indiferente que puede ser utilizada de una manera u otra y modificada a voluntad, surgieron preguntas sobre los fundamentos del bien como fin a perseguir y la corrección de cualquier medio para ser empleado en tal búsqueda. La defensa romántica y de retaguardia de la naturaleza como fenómeno estético sólo logró modificar la trayectoria moderna en sus márgenes. En cambio, la ética moderna inicialmente manifestó un cambio básico, una vez que la teleología fue reemplazada por equilibrios de fuerzas materiales, de los esfuerzos para identificar lo bueno como un fin natural a los bienes como deseos o ideales. Dicho de otra manera, los modernos reemplazaron "el bien" por "mercancías" o "valores". El bien en el sentido pre-moderno se entendía como un estándar, el de la realidad como un todo ordenado trascendente e intereses personales, que podría servir de guía para la evaluación de tales intereses. Los valores modernos tomaron como estándar todo lo que era objeto de interés personal o de la propia entidad productora de intereses.

Los esfuerzos para que el consecuenteísmo y los sistemas deontológicos sean verdaderamente científicos se han perseguido de manera diversa. A finales del siglo XIX y principios del XX, el pragmatismo trató de integrar especialmente las ciencias sociales empíricas en evaluaciones de lo que podría ser el medio más eficaz para perseguir fines de interés. En la primera mitad del siglo XX las aspiraciones a un rigor más formal condujeron al desarrollo de la meta ética.

Evitando el análisis normativo, la meta ética aspiraba a aclarar la estructura del lenguaje ético y su lógica distintiva. En su forma más radical, la meta ética redujo el significado de las declaraciones éticas a las formas de aprobación emocional; en formas más moderadas simplemente reveló las complejidades de los juicios éticos, a veces tratando de rectificar las incoherencias. Durante mediados del siglo la ética tomó una forma más operativa en las matemáticas de la teoría del juego y la toma de decisiones, la investigación de operaciones y el análisis de costo-beneficio.

Sin embargo, en el último tercio del siglo XX, las insuficiencias de las ciencias sociales, la meta ética y la formalización de procedimientos teóricos de decisiones frente a cuestiones sustantivas presentadas especialmente por la creación y el uso de la tecnología, provocaron el desarrollo de la ética aplicada. Un filósofo anteriormente meta ético interpretó este giro intelectual como una transición que "salvó la vida de la ética" [Toulmin, 1982]. En efecto, esto también resultó ser la ocasión para una revitalización de la ética pragmatista (véase, por ejemplo, [Keulartz et al., 2002]).

3 ETICA QUE REFLEXIONA SOBRE LA TECNOLOGÍA: TRES ESCUELAS

A partir de principios del siglo XX, la ética se involucró cada vez más con la tecnología en una amplia gama de temas. Tan extenso ha sido este compromiso que cualquier visión general de las interacciones éticas con la tecnología se ve obligado a adoptar algún tipo de perspectiva de simplificación con el fin de intentar una cobertura aproximada. A los efectos actuales, los desarrollos se describirán como que tienen lugar en tres contextos éticos distintivos con vacíos consecuentemente diferentes. Dos de los contextos tenían sus raíces y orientación en la tradición racionalista europea y se manifestaron en lo que se denominará escuelas o enfoques socio críticos e histórico-culturales. El tercero era más empírico en orientación y asociado con lo que se conoce como la práctica analítica moderna de la filosofía. Pero es importante señalar que para finales de siglo las fusiones de estas tres escuelas eran la norma, por lo que la narrativa aquí debe ser utilizada principalmente para estimular la apreciación de cómo diferentes perspectivas están llegando a influir mutuamente entre sí, especialmente en relación con la tecnología.

Como indica el Cuadro 1, el espacio de problemas éticos se definió originalmente de manera algo clara para cada una de las tres escuelas. En

general, los enfoques socio-críticos se ocupaban de reformar las estructuras económicas y políticas asociadas a la tecnología a fin de estar mejor de acuerdo con un ideal de libertad humana; la filosofía histórico-cultural abordó cuestiones sobre el significado de la vida; y el trabajo analítico buscaba claridad en la conceptualización y el argumento. Tanto en las escuelas culturales socio-críticas como en las históricas, se desarrollaron debates sobre ética y tecnología con referencia al tipo de antecedentes históricos esbozados en las secciones uno y dos. En particular, ambos sostuvieron que la tecnología moderna transformaba de manera única la condición humana y que las moralidades recibidas eran inadecuadas para abordar la situación alterada. Fenómenos como la deshumanización o la autenticidad fueron vistos como característicos de la aparición histórica de la tecnología moderna en general, en lugar de asociados con cualquier tipo particular de tecnología. No importa si los trabajadores estaban comprometidos con motores de vapor, plantas de procesamiento químico, electrónica o energía nuclear; en cada caso se enfrentaban a antagonismos existenciales entre sus aspiraciones sociopolíticas, experiencia vivida y cultura material. Los motores de vapor empujaron las actividades físicas humanas, los procesos químicos envenenadores y contaminadores, la electricidad y el magnetismo escaparon de cualquier agarre inmediato por el sensorio humano, y la energía nuclear contenía un potencial inconcebiblemente destructivo. Pero hubo desacuerdos dentro y entre estas dos primeras tradiciones sobre las formas particulares en que la tecnología ha alterado el mundo de la vida humana y sobre las respuestas morales apropiadas.

Escuela	Socio-crítico	Histórico-cultural	Analítica
Marco	La tecnología como proceso productivo con potencial de liberación humana	La tecnología como forma de ser, percibir y amenazar a la autenticidad	Tecnologías particulares en contexto como problemas o soluciones
Énfasis	Orientación históricamente informada y reforma social	Orientación históricamente informada y significado personal	Conceptos aislados y resolución de problemas fragmentarios
Raíces	Racionalismo, marxismo, pragmatismo y neoliberalismo	Racionalismo, fenomenología y existencialismo	Empirismo y utilitarismo

Tabla 1. Tres escuelas de reflexión ética sobre la tecnología

La ética analítica, en cambio, trabajó con problemas más aislados y bien limitados y tendía a rechazar la noción de la tecnología moderna como un modo fundamentalmente nuevo de experiencia humana y orden social. Para los filósofos analíticos no fue la historia, sino los problemas que están controlando. Finalmente, la tradición analítica, al menos inicialmente mantuvo un límite entre hechos y valores. Aceptó el conocimiento científico de los hechos como paradigma cognitivo, con valores entendidos como expresiones de sentimientos o intereses humanos no cognitivos que entran en conflicto y como tales necesitan ser aclarados y juzgados. Por el contrario, el marxismo veía la ciencia y la moralidad como expresiones de intereses de clase, mientras que la fenomenología veía el conocimiento científico como una forma restringida, si no disminuida, de cognición. Además, en las tradiciones socio-críticas e histórico-culturales se argumentó que tanto los hechos como los valores eran fenómenos y, por lo tanto, igualmente abiertos al análisis sistemático y a la crítica. Por lo tanto, ninguna de las dos primeras escuelas plantea ninguna brecha radical entre los hechos y los valores. Las actitudes hacia una supuesta distinción hecho-valor a lo largo del siglo se convierten en una línea divisoria mucho menos entre el analgésico y las otras dos escuelas, pero sus enfoques de la relación entre estos dos aspectos de la experiencia han permanecido modestamente en desacuerdo. Sin embargo, para explorar esas comparaciones con mayor detalle, es apropiado ofrecer un examen más amplio de estas escuelas distintivas.

3.1 Enfoques socio-críticos

La figura más influyente en la escuela socio-crítica ha sido Karl Marx (1818-1883), cuya "crítica de la economía política" tenía como objetivo socavar lo que él veía como creencias ingenuas en los beneficios políticos de la tecnología industrial y las estructuras económicas asociadas. Según Marx, "la ciencia moderna de la tecnología" socavó las habilidades tradicionales y las satisfacciones de la producción artesanal, poniendo a los trabajadores bajo el control de fábricas de propiedad capitalista a gran escala en las que las funciones laborales se volvieron iguales e intercambiables [Das Kapital I, 13]. Esto perturbaba una ecología social tradicional en la que la "esencia de especie" de la producción material se dirigió una vez al bienestar humano general, una corrupción que sólo podía corregirse mediante una revolución social en la propiedad de las nuevas tecnologías. La evaluación ética marxista de la tecnología industrial puso de relieve el cambio tecnológico como la reestructuración de la sociedad, de modo que los órdenes económicos anteriores quedaron obsoletos.

La crítica de Marx no se centró en la calidad de la sociedad de consumo emergente, sino en la mala distribución del poder sobre la producción. Su posición se oponía a los intentos tanto de los "socialistas utópicos" como de los economistas liberales de gestionar la destrucción creativa del cambio tecnológico. Por un lado, Henri de Saint-Simon (1760-1825) en Francia pidió un "nuevo cristianismo" para gestionar la sociedad a través de un vínculo tecnocrático de científicos, artistas e industriales, mientras que Robert Owen (1771-1858) en Inglaterra estableció comunidades de modelos industriales propiedad de trabajadores cooperativos como New Lanark. Por otro lado, los economistas liberales clásicos concibieron la producción en términos de insumos y productos organizados por lo que Adam Smith (1723-1790) describió como la "mano invisible" del libre mercado. Para Marx, la gestión tecnocrática no era suficiente, porque ordenar la sociedad tecnológica requería algo más que conocimientos técnicos, y las comunidades modelo idealistas eran incapaces de transformar instituciones tecno-políticas arraigadas. Del mismo modo, aunque los economistas liberales reconocieron la primacía de la producción sobre la política, no apreciaron que los procesos productivos siempre eran también procesos sociales.

El esfuerzo de Marx por liberar los poderes tecno-económicos de los intereses de la clase burguesa se desató con un nuevo análisis de la producción. Examinó "cómo los instrumentos de trabajo se convierten de herramientas en máquinas" y la forma en que las propias máquinas tendían a organizarse en un sistema en el que "el tema del trabajo pasa por una serie de procesos detallados conectados" [Das Kapital I, pt. 4, Capítulo 13, Sección 1]. En una economía donde los capitalistas poseían los medios de producción, los trabajadores existían como esclavos asalariados vinculados a rutinas mecánicas específicas. Sólo si los medios de producción se pusieran en manos de los trabajadores serían libres en realidad para "lograrse en cualquier rama [que desean]", para "hacer una cosa hoy y otra mañana" [Die deutsche Ideologie I, 1, a]. Sólo liberada del modo capitalista de producción, ¿la tecnología moderna se daría cuenta de su capacidad para promover no sólo la justicia, sino también la verdadera libertad humana?

La realidad era que la tecnología hacía posible la riqueza y la libertad para todos, pero su apariencia histórica se dio cuenta de este ideal sólo para los pocos propietarios capitalistas. Los desarrollos económicos posteriores que redujeron las depredaciones extremas de la pobreza sin lograr la liberación de los trabajadores en otras formas, dieron lugar a lo que se ha conocido como la

Escuela de Teoría Social de Frankfurt en el trabajo de Max Horkheimer (1895-1973), Theodor Adorno (1903-1969) y Herbert Marcuse (1898-1979). Su trabajo y el de estudiantes tan destacados como Jorgen Habermas, William Leiss y Andrew Feenberg cambiaron la crítica de un enfoque en la economía política a un cuestionamiento del carácter de la Ilustración, atribuyéndole el fracaso para realizar todo el potencial liberador de la tecnología no sólo a la economía, sino a la cultura.

Para Horkheimer y Adorno, la Ilustración produjo "razón instrumental", sin proporcionar, sin embargo, una directriz en la razón objetiva (teoría) de cómo se utilizarían los nuevos poderes de la razón. Esto condujo a la producción de órdenes sociales dominadas por el ejército y la "industria cultural", es decir, la fuerza bruta y el entretenimiento. En lugar de conducir a una conversación cada vez mayor sobre los objetivos y valores, la razón de la Ilustración se redujo al pensamiento instrumental en lo que se refiere a aumentar la eficiencia de los medios para lograr fines ya dados. Sus conclusiones distópicas fueron similares a las del sociólogo Max Weber (1864-1920), quien describió el proceso de racionalización, o el creciente papel de cálculo y control en las democracias industriales, como la creación de una "jaula de hierro" de burocracia que sofocaba la libertad individual. Marcuse rechazó este pesimismo, argumentando que, aunque la tecnología era opresiva bajo el capitalismo, podría ser bajo un orden social diferente como el que presagiaba la contracultura estudiantil de la década de 1960 o el movimiento de liberación de las mujeres. En lugar de la apoteosis de Marcuse de la contracultura, Habermas desarrolló una teoría de la acción comunicativa como guía formal para el desarrollo político y técnico.

Otros esfuerzos que pueden estar vagamente asociados con la teoría social crítica se centraron directamente en promover el control participativo democrático de la tecnología. Langdon Winner [1986] y Richard Sclove [1995], por ejemplo, argumentan que los artefactos tecnológicos incluso más que las instituciones políticas influyen en la forma en que las personas llevan sus vidas. Dado el principio ético de que las personas deben tener voz y voto sobre lo que les afecta, la toma de decisiones tecnológicas y el diseño merecen estar sujetos a los mismos estándares de participación pública que la toma de decisiones políticas. Tales amenazas como las invasiones informáticas de la privacidad y las transformaciones tecnológicas del medio ambiente sólo refuerzan el principio ético de "Sin innovación sin representación" [Goldman, 1992]. Más positivamente, Feenberg [1995 y 2000] ofrece propuestas para reconfigurar las diversas posibilidades de la tecnología. Entre ellas cabe citar la acción mediante

la cual los trabajadores re contextualizarían su labor, el reconocimiento público de la importancia humana de la vocación, la inversión de valor estético y ecológico en los productos tecnológicos y la búsqueda de una cooperación colegial voluntaria en el trabajo.

De manera complementaria, el sociólogo institucional Thorstein Veblen (1857-1929) argumentó que las actitudes de ingeniería y los logros tecnológicos, estaban siendo corrompidos por los intereses pecuniarios y el sistema de precios. Controlado por personas de perspectiva limitada, se estaba frustrando todo el potencial de la tecnología. Una vez más, no se estaban realizando todas las capacidades de la tecnología para contribuir al bienestar humano. Todos estos argumentos constituyen intentos de volver a encerrar la tecnología dentro de un nuevo marco social. A pesar de las variaciones importantes, el tema principal ha existido: los poderes liberadores de la tecnología sólo pueden realizarse en las circunstancias sociales adecuadas, que por lo tanto merecen una reestructuración cuidadosa y consciente.

Un argumento ético diametralmente opuesto para la liberación de todo el potencial inherente a la tecnología se puede encontrar en la economía emprendedora y libertaria neoliberal que se hizo prominente en el último tercio del siglo XX, inspirándose especialmente en el pensamiento de Frederich Hayek (1899-1992). El resurgimiento neoliberal y la defensa de una perspectiva económica liberal clásica de la tecnología se basó en la distinción de Hayek entre dos tipos fundamentalmente diferentes de fabricación humana. Los artefactos materiales pueden ser el resultado de un diseño tecnológico consciente o intencional. Pero construcciones humanas como el lenguaje y el libre mercado son "el resultado de la acción humana, pero no del diseño humano" y no están sujetas al control intencional directo [1967]. De hecho, para Hayek y otros, cualquier intento de controlar o gestionar la tecnología en nombre de la igualdad no sólo será contraproducente, sino que también puede requerir restricciones poco éticas a la libertad humana. Además, el filósofo político libertario Robert Nozick [1974] consideró el supuesto principio general de "tener una opinión sobre lo que te afecta" y lo encontró queriéndolo. Defendió como legítimo, innovación sin representación, cuando la innovación se persigue en relación con los propios bienes primarios, aunque pueda tener efectos secundarios sobre los demás.

Por lo tanto, la teoría económica liberal clásica hizo un argumento esencialmente moral para la liberación de la ciencia y la tecnología del control

estatal. Liberada del control político, la tecnología industrial mejoraría la libertad y el bienestar humanos y, no por cierto, limitaría el poder del Estado. Sin embargo, las versiones moderadas de la economía liberal, han reconocido la necesidad de complementar la libertad con el orden y la igualdad, lo que a menudo requiere una modesta intervención estatal, aunque nada tan radical como una revolución política en la propiedad de la propiedad tecnológica.

Finalmente, el pragmático John Dewey (1859-1952) desarrolló un argumento diferente para complementar la libertad con la igualdad en el ejercicio de la tecnología. Para Dewey, la caja negra de la tecnología se abrió, no tanto como un proceso de producción social como uno de cognición y práctica. Los seres humanos, como todos los organismos, existen en un entorno en el que están tratando de lograr fines específicos o lo que Dewey llama "fines a la vista". Cuando se frustran en sus esfuerzos por lograr estos fines, surgen situaciones problemáticas que las personas tienen el potencial de someterse a análisis conscientes y de preguntar sobre posibles respuestas, entretenidas hipótesis sobre la modificación de los fines a perseguir o la mejora de los medios a utilizar. Los seres humanos luego prueban las alternativas y emprenden nuevas formas de comportamiento sobre la base de lo que aprenden. A medida que se vuelve cada vez más consciente y eficaz, este proceso de investigación y mejora en el pensamiento y la acción humana es, para Dewey, lo que se entiende por tecnología. Como argumentó Larry Hickman [1990], la noción de Dewey sobre el libre desarrollo de la tecnología así interpretada, no debe limitarse a la producción industrial, sino que debe generalizarse y aplicarse por igual en toda la gama de experiencias humanas, desde los asuntos sociales y políticos hasta el arte y la religión.

3.2 Enfoques histórico-culturales

En la escuela histórico-cultural de la evaluación de la tecnología, la reflexión no se enmarcó en términos de tecnología como un proceso productivo y sus posibilidades de liberación humana, sino en relación con la ciencia y la tecnología como formas de conciencia. Desde esta perspectiva, se ha argumentado que el peligro principal es alguna forma de inautenticidad o mala fe, es decir, fracasos por parte de las personas para reconocer y aceptar las formas en que son responsables del mundo de la vida que crean y sus actitudes hacia él.

Los ataques a la inautenticidad de la cultura cristiana por Soren Kierkegaard (1813-1855) y los pronunciamientos iconoclastas de Friedrich

Nietzsche (1844-1900), fundaron lo que se ha llamado el movimiento existencialista, que implicaba una postura ética especial hacia la tecnología. Aunque no lo tematizó como tal, desde la perspectiva de la tecnología moderna de Kierkegaard podría interpretarse como una forma de mala fe. Para Nietzsche, la tecnología podría describirse como genealógicamente arraigada en una moralidad servil que valoró la comodidad y la seguridad a lo largo de una vida de alcance y desafío heroico. El ataque de dos puntas de Nietzsche contra la ciencia y la cultura tecnológica —la ciencia entendida como la afirmación de que la ciencia es la forma más alta de conocimiento y cultura tecnológica como una en la que la masificación y el consumismo han conspirado para corromper la nobleza del logro en el arte, la música y la literatura— expuso un nervio de duda y resistencia a la trayectoria del progreso tecnológico. La ciencia y la tecnología amenazaban con atrapar a los humanos en una existencia empobrecida que negaba sus verdades más profundas. Como tal, Nietzsche ha fecundado una postura ética profundamente contraria a la de Francis Bacon y sus herederos de la Ilustración, uno en la raíz de una diversidad de compromisos éticos existenciales con la tecnología.

Fue Edmund Husserl (1859-1938) quien convirtió el análisis genealógico en un método que llamó fenomenología. Husserl se negó a aceptar la ciencia en sus propios términos y argumentó que la ciencia no se explicaba por sí misma. Su descripción de la génesis o de los fenómenos científicos reveló que más fundamental que la ciencia era una experiencia vivida o un mundo de la vida del que la ciencia moderna se abstrae con la ayuda de instrumentos tecnológicos. Se argumentó que el mundo científico tecno era una forma reducida o disminuida del mundo de la vida en el que permanecía, a menudo sin saberlo, dependiente. La fenomenología husserliana se ocupaba de revelar el marco en curso —esa familiaridad preexistente con el mundo— que hacía posible toda la experiencia humana. Como señaló Maurice Merleau-Ponty, el regreso al mundo de la vida o "las cosas en sí" fue "desde el principio una desaprobación de la ciencia" [Merleau-Ponty, 1945, p. ii]. Los seres humanos no son objetos de investigación biológica, psicológica o sociológica. Se puede argumentar que todos los conocimientos, incluidos los conocimientos científicos y técnicos, se obtienen desde un punto de vista o experiencia particular sin el cual los símbolos de la ciencia y la ingeniería no tendrían sentido. Merleau-Ponty y otros hicieron más explícita la crítica ética implícita de Husserl de la cosmovisión científica moderna y el mundo de la vida transformado por la tecnología moderna.

Otros tres importantes contribuyentes al desarrollo de la crítica histórico-cultural de la tecnología fueron Max Scheler (1874-1928), José Ortega y Gasset (1883-1955) y Martin Heidegger (1889-1976). Según Scheler, la transformación histórica del mundo de la vida fue más que un fenómeno económico o productivo; también fue el surgimiento y el dominio de un nuevo "ethos del industrialismo" incluso entre los propios trabajadores técnicos. Tal ethos (que es intermediario entre los principios morales y las acciones morales) exaltó la utilidad y los valores instrumentales sobre los vitales y orgánicos. Se trata de una distorsión no sólo del orden económico, sino de una jerarquía axiológica, una distorsión que exige una reforma cultural.

Sin embargo, para Ortega, dentro de la tecnología moderna y el espíritu de la industrialización, surgió un problema moral que no puede abordarse mediante la revolución social o la reforma cultural. La ingeniería científica, a diferencia de las técnicas artesanales tradicionales, aumentó radicalmente lo que se puede hacer sin una profundización correspondiente de los ideales sobre lo que se debe hacer. En la formulación de Ortega de la cuestión: Anteriormente los seres humanos, luchando por lograr alguna visión de lo que era ser humano o un mundo de vida, sólo adquirieron una técnica particular en una forma ya incrustada en un proyecto cultural existente; como resultado, sólo poseían un caso particular de lo que podría llamarse tecnología en general. Pero con la tecnología y las ciencias de la ingeniería los seres humanos poseen la tecnología en general desintegrada de cualquier proyecto cultural en particular. Por lo tanto, son capaces de hacer casi cualquier cosa antes de tener alguna idea sobre lo que realmente quieren hacer. Para abordar este problema, Ortega concluyó su *Meditación de la técnica* [1939] sugiriendo la necesidad de cultivar lo que él llamó "técnicas del alma". La sugerencia se hace quizás, que se ha hecho eco de las propuestas posteriores de la empresa del Sr. Anders (1961), para una educación moral capaz de igualar el poder de nuestra imaginación (*vorsellen*) con el poder tecnológico ampliado de nuestras capacidades (*herstellen*).

Heidegger fue sin duda el filósofo europeo más influyente en abordar el tema de la ética, la ciencia y la tecnología desde la perspectiva histórico-cultural, a pesar de que rechazó la disciplina de la ética como tal. En su "*Die Frage nach der Technik*" [1954] Heidegger socavó la distinción entre ciencia y tecnología, y argumentó que la tecnología científica moderna —o lo que Bruno Latour [1987] llamaría últimamente la ciencia del techno— no es tanto un ethos como una forma de verdad. Esta verdad o conocimiento reduce el mundo a *Bestand* o recursos disponibles para la manipulación por un destino nihilista que él llama

Gestell. Heidegger parecía a la vez hacer la reflexión ética más necesaria que nunca y destruir su propia posibilidad. Menos controvertida es su tesis de que la ciencia y la tecnología son prácticas inter-penetrantes: la ciencia de la física nuclear es tanto la tecnología aplicada de ciclotrones y reactores, como la tecnología de la ingeniería nuclear se aplica a la física nuclear. En la medida en que este es el caso, la ética de la ciencia tiende a fusionarse con la ética de la tecnología.

Otros dos pensadores que no siempre son identificados como filósofos, pero que sin embargo han contribuido a la evaluación histórico-cultural de la tecnología, fueron Lewis Mumford (1895-1990) y Jacques Ellul (1912-1994). Como historiador social y crítico cultural, Mumford argumentó que las técnicas de la edad moderna (su término para la tecnología) han transformado la fabricación y el uso de artefactos en un complejo sistema socio-técnico orientado casi exclusivamente hacia el poder y el control. Esta "mono-técnica" fue presagiada por "mega-máquinas" pre-modernas de trabajo esclavo para proyectos de construcción a gran escala como las pirámides egipcias. En contraste, Mumford promovió la recuperación de "bio-" o "politécnicos" orientados hacia una multiplicidad viva de intereses y actividades humanas, desde el ritual religioso hasta la creatividad estética y el juego.

Como sociólogo y teólogo, Ellul distinguió las operaciones técnicas de su unificación distintivamente moderna en el fenómeno técnico o la Técnica (traducible como "tecnología") [Ellul 1954]. La característica distintiva de este fenómeno, a juicio de Ellul, es el esfuerzo por orientar las actividades humanas hacia la búsqueda de algún tipo de eficiencia, es decir, para evaluar todas las dimensiones de la cultura en términos de un análisis de entrada-salida. A medida que el análisis de la eficiencia llega a dominar en la economía, en la política e incluso en la atención de la salud, la educación y los deportes, la tecnología adquiere un carácter semiautónomo que socava la libertad humana. Para contrarrestar ese determinismo tecnológico —es decir, la toma de decisiones siempre con preocupación por los costos de oportunidad, el análisis de riesgo-beneficio u otras formas de racionalidad calculativa, cuya combinación es en efecto para mejorar el poder tecnológico—, Ellul abogó por una "ética de la no potencia" que alentaría a las personas voluntariamente a delimitar la tecnificación, especialmente en sus relaciones con las personas y con la naturaleza. Una forma de interpretar a Michel Foucault (1926-1984) y sus controvertidos análisis de la disciplinización de la vida moderna, desde el manicomio hasta la bio-política, es como proporcionar una perspectiva

complementaria sobre otros aspectos del mismo fenómeno con el que Ellul estaba preocupado.

Finalmente, Albert Borgmann [1984] ofrece otra crítica y respuesta a la relación tecnología-cultura en términos de significado humano o buena vida. Para Borgmann, la tecnología toma forma como un patrón de la experiencia humana que él llama el "paradigma del dispositivo". Las conveniencias de la cultura de consumo que ofrecen los dispositivos producidos en masa son sustitutos seductores, pero en última instancia empobrecidos, por experiencias atractivas con "cosas focales" o a través de "prácticas focales". Aunque sólo se resume brevemente aquí, Borgmann tal vez más que cualquier otro crítico cultural entra en un diálogo extendido con diversos enfoques, desde la economía y la crítica social a la teoría política, así como defensores sistemáticos de las trayectorias tecnológicas existentes, y luego retoma hábilmente con renovado vigor un espectro completo de grandes preocupaciones sobre las consecuencias culturales de la tecnología. En Borgmann, por ejemplo, se pueden encontrar ecos del concepto de Illich de una "contra-productividad" en el progreso tecnológico que socava la amistad, la comunidad, la salud y otras experiencias centrales de vidas significativas, pero presentadas en el marco distinto del propio ataque de Illich; para Borgmann siempre es necesario ofrecer una visión positiva que pueda motivar los esfuerzos para recuperar aspectos que faltan de un mundo de vida una vez vibrante. Además, uno puede encontrar a Borgmann que se hace eco de las preocupaciones de Leon Kass [2003] sobre los experimentos impulsados por el consumidor en la búsqueda de niños mejorados, mejora del rendimiento, cuerpos sin edad y felicidad psicológica.

Sin embargo, el enfoque holístico característico de la escuela histórico-cultural depende de algún intento de abordar cuestiones particulares, aunque sólo sea para ilustrar afirmaciones más completas. El contraste de Borgmann con el hogar focal pre-moderno y el sistema de calefacción central para ilustrar el paradigma del dispositivo es un ejemplo. Algunos teóricos pueden ser interpretados como herederos de la tradición histórico-cultural, incluso cuando dependen más de estudios específicos del contexto, un énfasis Hans Achterhuis [2001] etiquetado como el "giro empírico" en la reflexión ética de la tecnología. Los profesionales a menudo mantienen un interés en evaluar la ciencia y la tecnología en términos de su significado humano y cultural más amplio, pero lo hacen confiando en estudios de casos empíricos de artefactos específicos y prácticas reales, lo que los hace abiertos también a enfoques analíticos (por ejemplo, [Verbeek, 2005]).

Aquellos que adoptan el giro empírico en el examen contextual de artefactos tecnológicos, preguntan tanto cómo se medían artefactos específicos o la experiencia de forma cómo el comportamiento del usuario da forma a la función o significado de los artefactos. Por ejemplo, Donna Haraway [1985] utiliza estudios detallados para apoyar su teoría del "cyborg", un ser cuyo mundo de vida, auto-interpretación y contexto social están impregnados por la tecnología. Al cuestionar las categorías normalizadas, desnaturaliza (muestra la contingencia de lo que parecía necesario) el poder de quienes definen las categorías, utilizando así la teoría cyborg para promover ideales éticos feministas, socialistas y antirracistas. Además, Diane Michelfelder [2000] sostiene que lo que es importante para el mundo de la vida es el significado moral de la cultura material entendida desde el punto de vista de las experiencias reales del usuario. Una caja de vino producida en masa puede ser un "dispositivo" para Borgmann, pero si se comparte en una comida festiva, todavía puede funcionar como una "cosa focal".

3.3 Enfoques analíticos I: antecedentes

A medida que se adentraba a mediados del siglo XX, los compromisos analíticos con la tecnología tendían a reflejar dos creencias: que la tecnología no ha alterado fundamentalmente la condición humana y que la teoría ética recibida es en gran medida adecuada —o, paradójicamente, irrelevante— para abordar las cuestiones morales asociadas. Al tiempo que consideraba el desarrollo tecnológico como continuo y progresivo, desde herramientas de piedra hasta computadoras electrónicas, y cuestionando cualquier necesidad de una teoría moral radicalmente nueva, los enfoques analíticos adoptaron un método suelto centrado en un diálogo entre la teoría de nivel medio y cuestiones concretas que buscaban aclarar los problemas divergentes asociados con las diversas tecnologías. De hecho, una orientación progresiva también puede detectarse en la genial confianza con la que se abordaron los problemas como mejorable si no solucionable.

Siendo la más amplia de las tres escuelas de reflexión ética, cualquier intento de encuestar enfoques analíticos es difícil. El único individuo importante que se destaca como constantemente comprometido con la tecnología, fue Bertrand Russell (1872-1970), quien consideró la ética una actividad intelectual más pública que un representante de la filosofía profesional. Sus contribuciones a menudo tendían hacia la provocación política, como en *por qué yo no soy cristiano* [1927]. Un anti-autoritarismo de por vida y simpatía por los

desfavorecidos, llevaron tanto a una protesta activa contra la Primera Guerra Mundial (para la que cumplió seis meses en la cárcel) como a un escepticismo constante sobre los beneficios sociales de lo que llamó técnica científica. *Icarus*, o *el Futuro de la Ciencia* [1924] fue escrito en crítica explícita del optimismo encontrado en *Daedalus* o *el Futuro* de J.B.S. Haldane [1924]. Aunque Russell defendió el conocimiento científico como una verdad última sobre el mundo con beneficios humanos manifiestos en las tecnologías de la producción de alimentos y bienes de consumo y la atención de la salud, también hizo hincapié en las formas en que se podía abusar de esos conocimientos cuando estaban bajo el control de gobiernos totalitarios o de personas deficientes en una educación pertinente [Russell, 1951]. Para Russell, la única esperanza era una mejor educación democrática en ciencia y tecnología [véase, por ejemplo, Russell, 1958]. Más dramáticamente, Russell se opuso firmemente al desarrollo, uso y propagación de armas nucleares; en 1955, después de las pruebas estadounidenses de la bomba de hidrógeno, redactó un manifiesto confirmado por Albert Einstein que pidió a los científicos e ingenieros que tomaran más responsabilidad pública por su trabajo, y así estimuló la creación en 1957 de una serie de Conferencias sobre Ciencia y Asuntos Mundiales que se conoció como el Movimiento de Lavado Pug (después del nombre del primer lugar de encuentro, Pugwash, Nueva Escocia).

La cuestión de la tecnología y la guerra era la vanguardia de los compromisos éticos analíticos con la tecnología. Junto con Russell, por ejemplo, G.E.M. Anscombe (1919-2001) —un estudiante de la otra figura importante de la filosofía analítica, Ludwig Wittgenstein (1889-1951) — se opuso a las políticas británicas de bombardeos en la Segunda Guerra Mundial (y en la década de 1960 respaldó el rechazo católico de ciertos medios tecnológicos de anticoncepción). Otros analistas llevaron sus métodos a la política de disuasión nuclear de posguerra, y a partir de ahí el análisis se extendió a través de diversas categorías de actividad tecnológica: procesamiento químico y fabricación; biomedicina; tecnologías de la información, la comunicación y los medios de comunicación; agricultura y biotecnologías; y nanotecnologías. (Las nuevas categorías en el horizonte incluyen tecnologías emergentes/convergentes y biología sintética.) Earl Winkler y Jerrold Coombs [1993] consolidan esta diversidad en tres dominios básicos de ética aplicada —bioética, ética empresarial y ética ambiental— y argumentan que en cada caso la generación de problemas estaba estrechamente asociada con los avances en tecnología. A esto se añade el dominio descuidado de las computadoras y la tecnología de la información

produce cuatro dominios básicos de reflexión ética aplicada (principalmente analítica) sobre la tecnología.

Como Gerkler y Coombs también sugieren, la ética analítica de la tecnología puede situarse como parte de un cambio dentro de la filosofía misma de la meta ética a la ética aplicada. Una contribución fundamental a esta transformación fue el trabajo de Toulmin. Para Toulmin [1958], la toma de decisiones éticas podría concebirse útilmente como aprender a apreciar y dar buenas razones para determinados cursos de acción. Se refirió a la razonabilidad de basarse en normas de la práctica profesional en campos como la ingeniería y los esfuerzos de los moralistas para convertir las posibilidades éticas en políticas prácticas. Como se señaló anteriormente, esta orientación hacia la utilidad práctica se dio una articulación mejorada en un argumento que alaban la ética biomédica para alejar la ética de las abstracciones hacia situaciones, necesidades e intereses; haciendo hincapié en los casos; y relacionando estos casos con tradiciones de práctica profesional [Toulmin, 1982]. Sin embargo, lo que constituye una ética analítica aplicada ha sido objeto de análisis y, por lo tanto, se ha vuelto otra cuestión contenciosa que necesita aclaraciones conceptuales. Aunque el giro aplicado se originó con esfuerzos para llevar la teoría ética a los problemas prácticos asociados con la tecnología, rápidamente se descubrió que la teoría abstracta rara vez era directamente útil. En muchos casos era irrelevante. Lo que funciona mejor son los principios de nivel medio que pueden entablar un diálogo mutuamente informado con problemas particulares. Extendiendo el movimiento hacia lo particular, Toulmin y otros se comprometieron así a revivir la tradición de abajo hacia arriba, basado en casos casuísticos [Toulmin y Jonsen, 1988]. La teoría detrás de este enfoque aboga por comprender las moralidades como artefactos sociales o instituciones que funcionan como elementos básicos de una cultura que debe ser apreciada como tal, es decir, en términos de los fines que sirven y su evolución histórica. El contextualismo —y la apreciación de los diferentes contextos creados por las diferentes tecnologías— se convierte así en un camino primario hacia la reflexión ética analítica.

Aunque cada uno de los dominios contextuales de reflexión en la ética analítica de la tecnología está marcado por su discurso más o menos único, sin embargo, es posible, para propósitos sinópticos identificar cuatro temas generales que caen en dos áreas amplias. Sin embargo, en el espíritu de la propia escuela analítica, estos temas no siguen estando más que débilmente vinculados. Los amplios ámbitos son los que tienen que ver con (1) cuestiones de justicia y

equidad y 2) la autonomía y la libertad. Ciertamente, es el caso de que la ética y la política modernas han manifestado repetidamente argumentos opuestos a la primacía de la equidad o la equidad y las nociones asociadas de solidaridad y comunidad (John Rawls) frente a un estrés en los derechos individuales, la propiedad privada y la libertad casi anárquica (Robert Nozick). Con respecto al primer nexo de valores, es también simplemente un hecho observacional que las cuestiones de justicia y equidad relativas a los beneficios y perjuicios tecnológicos se refieren a conceptos clave como (1a) salud humana, seguridad, información, privacidad y riesgo y (1b) bienestar humano y no humano en relación con conceptos de contaminación ambiental, obligaciones con la naturaleza y sostenibilidad. Con respecto a la segunda perspectiva de valor, es de hecho más que lógico que la relación entre tecnología y autonomía personal o libertad se haya discutido especialmente en relación con temas de (2a) responsabilidad técnica profesional o productor y mala conducta y (2b) participación del consumidor público o ciudadano en contraste con la experiencia tecnocrática. Sobre la base de tales observaciones, el Cuadro 2 hace un esfuerzo analítico para resumir las cuestiones básicas manifestadas en el progresismo analítico, con la atención puesta en conocimiento de algunos de los conceptos positivos y negativos clave en juego en los diferentes contextos.

Modalidad conceptual	Beneficios y bienes	Daños, Reales o Potenciales
Zona de preocupación	Justicia y Equidad en relación con	
Cuestión general (1)	Salud y seguridad	Riesgo
(a) Los seres humanos	Información	Pérdida de privacidad
(b) No humanos	Ambiente/ Sostenibilidad	Contaminación
Cuestión general (2)	Autonomía y Libertad en relación con	
(a) Profesionales técnicos	Responsabilidad/ Integridad	Fraude y mala conducta
(b) Consumidores y ciudadanos públicos	Participación	Experiencia tecnocrática

Cuadro 2. Temas en Enfoques Analíticos de la Tecnología

3.4 Enfoques analíticos II: especificidades selectivas

Históricamente, las cuestiones de justicia social surgieron en relación con la distribución de bienes y servicios tecnológicos, y han mostrado un movimiento de la preocupación por la distribución justa de los beneficios positivos entre los seres humanos a una preocupación emergente por los impactos negativos en los animales y, finalmente, en el medio ambiente.

Cualquier número de análisis de esfuerzos superpuestos en la clarificación conceptual y los vínculos de aplicación relacionados con la salud, la seguridad, la privacidad, el riesgo, la contaminación ambiental y el desarrollo sostenible son características de este grupo temático.

Kristin Shrader-Frechette, por ejemplo, ha argumentado que prácticamente toda la cuestión de la ética y la tecnología puede sub-suscitarse bajo diversos aspectos del análisis de riesgos: cómo definir el riesgo, cómo evaluar las incertidumbres tecnológicas, las amenazas al debido proceso a partir de riesgos no compensables, los métodos de evaluación de riesgos, la determinación del riesgo socialmente aceptable (o estar seguro (safety)) y el consentimiento para el riesgo. Estimulada por cuestiones éticas relativas a la energía nuclear y las políticas públicas [Shrader- Frechette, 1980], defiende extender el concepto de consentimiento libre e informado de la medicina a la tecnología en general [Shrader Frechette, 1991]. Las personas sólo deben estar sujetas a riesgos tecnológicos sobre la base de una evaluación personal inteligente de esos riesgos y opciones no indebidamente limitadas por las presiones económicas. De hecho, en el espíritu de populismo sostiene que los laicos son a menudo más racionales en su evaluación de los riesgos que los expertos (véase el escrito de Hansson "Riesgo y seguridad en la tecnología" más atrás, que aclara cómo las cuestiones de riesgo se han expandido mucho más allá de las cuestiones relacionadas con la tecnología nuclear).

Como se ejemplifica en el ámbito de la ética ambiental, el enfoque analítico comenzó de nuevo con esfuerzos para aclarar conceptos de alto nivel como el medio ambiente, la naturaleza, la contaminación, la naturaleza, los sistemas ecológicos y la sostenibilidad. Aunque inicialmente refleja un énfasis descendente en las distinciones entre las teorías antropocéntricas y no antropocéntricas (o bio-céntricas), valores extrínsecos e intrínsecos, y argumentos para las obligaciones con las generaciones futuras y los derechos de la naturaleza, la ética analítica de la tecnología y el medio ambiente ha evolucionado hacia intereses más contextualizados en el trabajo con ganaderos, agricultores, administradores de bosques y parques, e incluso turistas y consumidores urbanos para aclarar las interacciones entre sus cambiantes moralidades sociales y entornos trans-humanos transformados por la tecnología humana. Un ejemplo de este "giro de política" en ética ambiental se puede encontrar en el análisis de Adam Briggie de las controversias que rodean el parque eólico propuesto en Nantucket Sound [Briggie 2005].

Se han realizado análisis ascendentes conexos en el ámbito de la ética empresarial para reflexionar sobre la medida en que la protección de un ambiente común y el ideal de sostenibilidad podrían limitar legítimamente la propiedad privada o las acciones tecnológicas empresariales. Tomando el cuestionamiento analítico en el contexto del desarrollo de las tecnologías de la computación y las tecnologías de la información, también es útil considerar cómo debe facilitarse el acceso a las tecnologías de la información en el marco de las estructuras capitalistas democráticas. ¿Cuáles son los parámetros de los derechos de propiedad intelectual en el diseño de software, la información digitalizada y la ingeniería genética? Desde sus inicios tecnológicos, estas cuestiones éticas de la justicia distributiva han entorpecido la economía del bienestar y la elección del público en relación con las tecnologías avanzadas de comunicación y han pedido un análisis más cuidadoso del que había sido anteriormente.

Muy relacionados con los temas de salud, seguridad, riesgo, contaminación y privacidad son los esfuerzos interdisciplinarios en la evaluación de la tecnología (ET), que fue pionera en la década de 1970 en los Estados Unidos, pero luego se institucionalizó más firmemente en Europa en las décadas siguientes. (Véase también el capítulo de Grunwald "Evaluación de la tecnología: conceptos y métodos" más atrás.) La preocupación se centró inicialmente en tecnologías con consecuencias no deseadas que, de haber sido apreciadas, podrían haber alterado su adopción o utilización económica. Sin embargo, lo que rápidamente se hizo evidente, fue que muchas de esas consecuencias no deseadas (e incluso deseables) estaban en gran medida sujetas a cálculos probabilísticos en lugar de deterministas, y que incluso la articulación de las probabilidades estaba sujeta a influencias de valor. Esto dio lugar a argumentos para una mayor participación del público en la toma de decisiones técnicas y para la introducción de las perspectivas de las ciencias sociales y las humanidades en la política de ciencia y tecnología [Frodeman y Mitcham, 2004].

Un segundo ámbito general de trabajo analítico relacionado con la ética y la tecnología se ha centrado en cuestiones relacionadas con la autonomía y la libertad en relación, especialmente con el ejercicio del poder tecnológico por parte de los profesionales técnicos y del público en general. Históricamente, los avances tecnológicos han aumentado la libertad humana y la han disminuido; la industrialización aumentó el poder y la influencia de los capitalistas y redujo la autonomía de los trabajadores. Según una interpretación de Dewey, la idea de la dignidad individual que creció en una procedencia religiosa cristiana fue dada

"un giro secular y mundano" por la Revolución Industrial [Dewey, 1930, p. 75]. Para Dewey, sin embargo, un concepto que una vez separó a los seres humanos de su contexto social y en forma secularizada promovió así prácticas de innovación y emprendimiento entre mecánicas como James Watt, como resultado del nuevo contexto creado por su destreza industrial, para que se les diera una interpretación más social. De hecho, se puede detectar tal trayectoria desde el individualismo atomístico hasta el individualismo socializado en la historia del utilitarismo de Bentham a Mill.

Con respecto a los valores de autonomía personal y libertad, también han surgido necesidades de aclaración conceptual. En particular, existen una serie de dimensiones problemáticas para el ejercicio de dichos valores por parte de profesionales técnicos o consumidores. Un desafío general es lo que David Collingridge [1980] llamó el dilema del control social de la tecnología. En las primeras etapas de una tecnología, cuando los individuos pueden ejercer cierto control libre con relativa facilidad, con frecuencia no hay conocimiento suficiente para hacerlo; para el momento en que se dispone de una mejor comprensión de los costos o riesgos, el control se ha vuelto difícil, si no imposible, y el ejercicio de la autonomía personal se ha vuelto altamente limitado. David Rothman [1997] ha descrito el mismo fenómeno en términos de un imperativo tecnológico emergente en el sistema de salud de los Estados Unidos y Daniel Callahan [2003] como un imperativo de investigación científica tecno que puede moldear la dignidad humana para que los ciudadanos como pacientes estén convencidos de lo que probablemente serían sus mejores juicios para hacer inversiones excesivas en proyectos científicos con pocas perspectivas de un retorno rentable. En respuesta a lo que se ha conocido como el "dilema de Collingridge", él abogó por una evaluación cuidadosa y la adopción de tecnologías que a su vez están explícitamente diseñadas para la flexibilidad. Otros esfuerzos para reconstruir las oportunidades para el ejercicio de la autonomía práctica han incluido la evaluación constructiva de la tecnología [Schot, 2001], evaluación de la tecnología en tiempo real [Guston y Sarewitz, 2002], valora el diseño sensible ([Friedman et al., 2006] y el capítulo de van de Poel "Valores en Diseño de Ingeniería" más atrás), y la "modulación intermedia de la tecnología" de investigación y desarrollo [Fisher et al., 2006], todo lo cual constituye propuestas para superar el dilema insertando la reflexión ética y política en puntos que ni tampoco son demasiado tarde. En el contexto de la biomedicina también se han realizado esfuerzos complementarios para conceptualizar los parámetros exactos del consentimiento libre e informado, y

luego proponer formas de institucionalizarlos. Con respecto a la tecnología de la información, el análisis ético ha tratado de aclarar el significado de la privacidad y la seguridad en el uso de bases de datos computarizadas y la libertad de expresión en Internet.

La responsabilidad en las profesiones técnicas constituye uno de los temas más analizados en la tradición analítica. La responsabilidad en este contexto asume la responsabilidad moral en el sentido formal (conocimiento suficiente más libre albedrío) pero busca esbozar pautas para el ejercicio de una moralidad del productor más allá del interés propio económico o la demanda social. El objetivo ha sido construir un puente entre los poderes excepcionales de las nuevas tecnologías y los valores sociales aceptados. Como se hará referencia con más detalle en la siguiente sección, una posición común es la esbozada por Stephen Unger [1994] en relación con la ingeniería: los ingenieros tienen una responsabilidad no sólo con su profesión, sino con el bienestar general. La formulación (o reformulación) de códigos de conducta para profesionales técnicos ha sido un intento de poner en práctica tales nociones de responsabilidad (véase también el capítulo de Pritchard "Normas profesionales para ingenieros" más atrás). Paul Durbin [1993] argumenta, sin embargo, que estar a la altura de la responsabilidad profesional del tecno a menudo requiere que los tecno-profesionales se adelanten a sus roles profesionales y tomen acción pública en el mundo tecno-social más grande. Por ejemplo, la responsabilidad tecno-profesional de proteger a los consumidores y usuarios de bienes y servicios técnicos mediante la formulación y aplicación de normas de salud, seguridad y publicidad no es posible sin la participación de los profesionales técnicos. Ocasionalmente, esa participación ha incluido protestas públicas, como cuando los físicos durante la década de 1950 y principios de 1960 solicitaron una prohibición mundial de las pruebas atmosféricas de armas nucleares o científicos informáticos en la década de 1980 se opusieron al financiamiento de la Iniciativa de Defensa Estratégica de los Estados Unidos (véase [Mitcham, 2003]).

La ampliación y la intensificación de las nociones de responsabilidad del productor y la autonomía de los consumidores instan fácilmente en la cuestión de la participación del público en la toma de decisiones técnicas, con sus tensiones entre la experiencia y la democracia. Las respuestas a este problema son tanto prácticas como teóricas. Un ejemplo de la práctica es el Centro para la Vida Laboral establecido a mediados de la década de 1970 por el Parlamento sueco para permitir a los trabajadores suecos participar en la organización de

los procesos de trabajo, especialmente porque se ven afectados por los cambios científicos y tecnológicos. El análisis teórico desarrollado de la tensión entre la experiencia técnica y la participación democrática en la toma de decisiones se puede encontrar en Robert Dahl [1985], quien se centró en la cuestión en relación con el control de las armas nucleares. En trabajos anteriores, Mumford [1967-1970] e Illich [1973] cuestionaron las capacidades de las estructuras tecnológicas modernas para facilitar la interacción social, un tema que ha sido seguido por Winner [1986] y Sclove [1995]. Pero en este ámbito los análisis analíticos especialmente particulares plantean críticas generales o globales que recuerdan a las perspectivas fenomenológicas.

4 TECNOLOGÍA DE MODELADO DE ÉTICA

Adoptar una distinción entre ética y moralidad —en la que la ética constituye una perspectiva teórica sobre creencias y prácticas, que por medio de la crítica en cierta medida también influye en ellas— se puede argumentar fácilmente que los tres enfoques reflexivos han informado la conformación de la tecnología tanto directamente como a través de la mediación de las prácticas morales. Más directamente, lo han hecho ampliando la conciencia, provocando el pensamiento crítico, aclarando conceptos, así como formulando y reinterpretando principios o directrices de acción. Sin embargo, la fluidez de la distinción ética/moralidad se manifiesta en el hecho de que cuando tales directrices morales se institucionalizan en la práctica profesional, comúnmente se denominan una especie de ética. Esta forma ética-moral de la tecnología se ha producido en al menos tres esferas a menudo superpuestas: profesional, personal y gubernamental. Sin embargo, a efectos analíticos, los tres niveles pueden desagregarse.

4.1 Tecnología de modelado ético profesional: biomedicina

Como se ha indicado anteriormente, la ética biomédica y la ética de la ingeniería son dos de las versiones más prominentes de la ética aplicada; en ambos campos, así, la reflexión ética ha participado fuertemente con la moralidad de la vida profesional para influir en la práctica tecnológica. De hecho, esto es tan prominente con respecto a la biomedicina —que no siempre se reconoce plenamente como un tipo de tecnología— que la ética biomédica (también llamada bioética) es la forma más desarrollada de la ética aplicada con la mayor influencia tecnológica. Sin embargo, precisamente porque la extensa literatura sobre ética biomédica no siempre se entrecruza con el discurso sobre la ética de la tecnología y las ciencias de la ingeniería, merece destacar aquí.

Como ha observado Edmund Pellegrino [1993], durante la década de 1970 tuvo lugar una metamorfosis histórico-cultural de la ética médica en la ética bio y biomédica. Hasta este período, la ética médica profesional se mantuvo dentro de una tradición hipocrática de 2500 años de edad, más o menos independiente de la filosofía profesional. Sobre la base de un juramento de ayudar a los enfermos sin causar daño, no causar abortos, llevar una vida pura, no realizar cirugía o tener relaciones sexuales con los pacientes, y preservar las confidencias de los pacientes, la moral médica informó fuertemente a una comunidad relativamente autónoma de práctica técnica. Esta conformación pre-moderna de la relación médico-paciente también evidenció una postura de humildad ante la naturaleza que avaló la búsqueda de una armonía hombre-naturaleza.

Para Hipócrates, el objetivo de la medicina era "preservar la naturaleza, no alterarla" (Hippocrates, "Preceptos", 19), y el médico tenía la obligación de "negarse a tratar a los abrumados por la enfermedad, ya que en tales casos la medicina es impotente" (Hippocrates, "On techne", pág. 3). Este ideal de trabajar con la naturaleza encontró más expresión en la distinción de Aristóteles entre el cultivo y la construcción: es decir, entre el *technai* de la agricultura, la educación y la medicina, que ayudan a la naturaleza en la realización de cualidades que aparecen en cierta medida independientemente de la acción humana, frente a la tecnología como la carpintería, que introduce en la naturaleza formas que no aparecerían sin intervención humana (véase, por ejemplo, Física II, 1, 193a12-17; Política VII, 17, 1337a2; y Oeconomica I, 1, 1342a26-1343b2). La noción del médico como aquel que cultivaba la salud con medios técnicos bastante limitados se alió también con un modelo paternalista por no decir modelo autoritario de una profesión que limitaba la autonomía del paciente.

A mediados del siglo XX, la tradición hipocrática fue desafiada por los cambios básicos en la sociedad y en la ciencia y la tecnología médica. La Segunda Guerra Mundial, por ejemplo, produjo no sólo la bomba atómica y la necesidad resultante de desarrollar políticas éticas para su diseño y uso delimitado (por ejemplo, desencadenantes seguros contra fallos y teoría disuasoria), sino también una comprensión al tanto de que la expansión del poder médico (esta fue la primera guerra en la historia en la que más soldados murieron por combate que por infección y enfermedad) bien podría nacer nuevas formas de orientación moral. Como para reforzar el punto, los Tribunales de Crímenes de Guerra de Núremberg (1945-1949) revelaron el fracaso de la tradición hipocrática en el sentido de que algunos miembros de la profesión médica en

Alemania abusaron de su autoridad mediante la realización de experimentos humanos radicalmente inmorales, un descubrimiento que condujo a la formulación del Código de Núremberg para proteger a los seres humanos. En las décadas siguientes, los avances en la ciencia médica (alterados por alianzas con psicología, biología molecular y otras ciencias de la vida) y en la tecnología médica (por ejemplo, la invención diseñada de nuevos medios de control de la natalidad y el aborto, así como el corazón-pulmón, la diálisis y otras máquinas que prolongan la vida) transformaron la medicina en biomedicina y desbordaron el ideal de cultivo en favor de la construcción y el control sistemáticos.

Inicialmente se impusieron a la biomedicina nuevas directrices éticas morales o profesionales para el tratamiento de los seres humanos desde fuera. Pero la comunidad biomédica rápidamente los hizo suyos, y entre los años 1960 y 1980 colaboraron cada vez más con los éticos aplicados para seguir re-imaginando la práctica médica tecno. El médico Henry Beecher, por ejemplo, en el Informe Belmont, documentó cómo los investigadores médicos en los Estados Unidos, en múltiples casos menos flagrantes pero sin embargo graves, buscaron conocimiento tecno-científico a través de la experimentación del sujeto humano, profundamente deficiente con respecto a la dignidad humana [Beecher, 1966]. En respuesta, la propia profesión biomédica, ciertamente contra alguna resistencia interna, se comprometió a desarrollar protocolos más sólidos y a fortalecer los mecanismos institucionales para su aplicación. En múltiples casos, la ampliación de la conciencia de las prácticas reales motivó el pensamiento crítico y la remodelación ética de la práctica técnica.

Esta forma ética de la tecnología de la medicina tuvo lugar en una serie de etapas superpuestas. El primero, durante las décadas de 1960 y 1970, presentaba amplias reflexiones filosóficas similares a las que se encontraban en el enfoque histórico-crítico. Por ejemplo, Reiser [1978] examinó cómo desde el siglo XIX las tecnologías de diagnóstico médico —desde el termómetro y el estetoscopio a través de máquinas de rayos X hasta la tomografía por resonancia magnética— habían disminuido cada vez más el contacto directo médico-paciente y, por lo tanto, la práctica médica deshumanizada. La participación de teólogos y diversas tradiciones religiosas cristianas fue otra característica distintiva de este período temprano.

En una segunda etapa, durante las décadas de 1980 y 1990, la forma ética de la biomedicina se volvió institucionalizada y cada vez más analítica. La

llamada escuela de bioética de la Universidad de Georgetown, por ejemplo, desarrolló una serie de principios —finanzas normales, beneficencia, respeto por la autonomía y justicia (véase [Beauchamp y Childress, 1979]) que se enseñaron en un gran número de talleres de educación continua para médicos. El segundo período también fue testigo de la estimulación por estudios de caso y, tal vez como resultado, la concentración en cuestiones específicas como la redefinición de la muerte (en presencia de máquinas de corazón-pulmón que podrían sustituir indefinidamente por los propios órganos fallidos de un paciente) y directrices para la práctica adecuada de la clonación humana (después del anuncio de 1997 de la oveja clonada Dolly).

A principios de la década de 2000 se asomó una tercera etapa, en reacción contra la supuesta estrechez de la segunda. Dirigido por estudiosos como Leon Kass, hubo un esfuerzo una vez más para ampliar la bioética para asumir las grandes cuestiones del significado humano y la buena vida de maneras que se hacían eco de las preocupaciones socio-críticas. Como presidente del Consejo de Bioética del Presidente en el primer mandato del presidente George W. Bush, Kass [2003] cuestionó las aspiraciones biotecnológicas de hacer ingeniería biomédica a los mejores niños, un mayor rendimiento, cuerpos sin edad y almas felices. Además, en nombre de la defensa de la dignidad humana, ayudó a formular restricciones al financiamiento federal de la investigación con células madre embrionarias humanas. De hecho, en un caso bastante notable de la conformación ética de la tecnología de investigación biomédica, esta limitación promovió el desarrollo de tecnologías de células madre que emplean tejido no embrionario. En oposición, los humanistas trans, como el ingeniero informático e inventor Raymond Kurzweil [2005] respaldaron con entusiasmo el uso de tecnologías biomédicas para una amplia gama de mejoras, siempre que la iniciativa proviniera de una base de consumidores de abajo hacia arriba en lugar de una decisión gubernamental de arriba hacia abajo. El cambio biomédico así, fue estimulado por argumentos éticos entre conceptos competidores y principios rectores.

4.2 Tecnología de modelado ético profesional: ingeniería

Otro caso en el que la reflexión ética comprometida fuertemente con la vida profesional y en el proceso dio forma distintiva a la tecnología, se puede

encontrar en la ingeniería más ampliamente entendida. Aquí la colaboración de los profesionales técnicos ha sido principalmente con éticos que representan enfoques analíticos. Desde el último tercio del siglo XX, como resultado de circunstancias sociales únicas, esto fue especialmente el caso en los Estados Unidos, ya que los ingenieros lucharon por el reconocimiento profesional de maneras que incluían el desarrollo de códigos de ética profesionales, códigos que dialécticamente, reflejaban y ayudaban al molde práctico de la ingeniería.

La ingeniería como una disciplina claramente moderna, no se originó hasta finales de la década de 1700, y comenzó por tener que ponerse al día en el crecimiento como una profesión. Las profesiones clásicas de la medicina, el derecho y la teología ya eran instituciones sociales bien establecidas que, desde el principio, la ingeniería aspiraba a imitar. La prehistoria de la ingeniería se remonta al personal militar que diseñó y operó "motores de guerra" y fortificaciones. Un ejemplo del surgimiento de la ingeniería de sus raíces militares tuvo lugar en Francia cuando, en 1716, el servicio estatal recibió forma civil pero altamente regulada en el Cuerpo de Ponts et Chaussées, con el establecimiento posterior de la Ecole des Ponts et Chaussées (1747) para la formación más eficaz de sus líderes. Esta institución de educación superior fue seguida por la Ecole des Mines (1783) y la Escuela Politécnica (1794), esta última fundada para apoyar la Revolución Francesa por Lazare Carnot y Gaspard Monge, dos creadores de las ciencias de la ingeniería (véase también [Didier, 1999]).

Un surgimiento complementario tuvo lugar en Inglaterra cuando, a finales de la década de 1770, John Smeaton tomó el título de "ingeniero civil" (a diferencia de ingeniero militar). Fue Smeaton quien organizó un club de comedor informal como una especie de organización no gubernamental llamada la Sociedad de Ingenieros Civiles (más tarde llamada "Smeatonians"). La Sociedad de Ingenieros Civiles se transformó en 1818 en la Institución de Ingenieros Civiles, a la que en 1828 se le concedió una Carta Real. El modelo británico de organización no gubernamental se convirtió en el patrón para las organizaciones profesionales de ingeniería en América del Norte. El historiador Edwin Layton (1971), por ejemplo, ha descrito en detalle cómo los ingenieros en los Estados Unidos, a diferencia de los médicos, lucharon con las divisiones profesionales en ingenieros civiles, ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos y una serie de otros grupos de disciplina y clase delimitados. La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, fundada en 1852) fue una organización elitista a menudo en desacuerdo con los intereses empresariales. El Instituto Americano

de Ingenieros Mineros (AIME, fundado en 1871), en cambio, era más igualitario y aliado con los negocios. Diferentes mezclas de profesionalismo autónomo y pragmatismo comercial caracterizaron organizaciones posteriores como la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, 1880) y el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos (AIEE, 1884). Pero ninguno pudo escapar del hecho de que la mayoría de los ingenieros estadounidenses eran empleados de grandes empresas que se beneficiaban de la fragmentación de la ingeniería, en oposición a la autonomía profesional de la que disfrutaban los médicos autónomos.

En respuesta a las fuerzas de división, surgieron una serie de esfuerzos para unificar la comunidad de ingeniería profesional, un aspecto de los cuales implicó intentos de formular códigos de ética profesionales que podrían articular un ideal de ingeniería común de servicio público. La definición clásica de la actividad definitoria de la profesión, la del ingeniero británico Thomas Tredgold (1788-1829), describió la ingeniería como "el arte de dirigir las grandes fuentes de poder en la naturaleza para el uso y la conveniencia del hombre". Pero en comparación con el ideal de salud que anima la práctica de la medicina, "uso y conveniencia", estaba sujeto a la determinación más por empleador o cliente que profesional.

Un esfuerzo inadecuado para escapar de esa subordinación conceptual con la articulación de un ideal que justificaría la independencia profesional de ingeniería centrado en la eficiencia, un enfoque promovido por el movimiento tecnocracia [Akin, 1977]. Pero la eficiencia como ideal de ingeniería tiene una historia compleja (véase el capítulo de Alexander "Historia del concepto de eficiencia" más atrás) y fue problemático en dos casos. Elevó la experiencia técnica sobre la toma de decisiones públicas y, por lo tanto, estaba en contradicción con los compromisos con la democracia y el mercado. Además, como proporción de las salidas sobre los insumos, la eficiencia siguió dependiendo del contexto, por lo que seguía estando sujeta a múltiples interpretaciones, dependiendo de cómo se definieran las propias entradas y salidas, y la determinación pertinente suele ser realizada por no ingenieros.

Para dar un paso al margen del dilema de la tecnocracia, los códigos de ética de la ingeniería simplemente recurrieron a enfatizar un ideal de servicio público generalizado. La formulación más común se convirtió en la declaración de que los ingenieros tienen la obligación de mantener la protección de estar seguro (safety) pública, la salud y el bienestar, o lo que a menudo se llama una

"cláusula primordial" (véase, por ejemplo, el "Código de ética para los ingenieros" de la Sociedad Nacional de Ingenieros Profesionales, fundado en 1934). Inicialmente los códigos de ingeniería habían puesto de relieve la lealtad profesional, especialmente la lealtad a un cliente o empleador. Por ejemplo, el código de 1914 de la ASME hizo el primer deber del ingeniero de ser un "agente fiel o fideicomisario" de algún cliente o corporación que emplea. Aunque Michael Davis [2002] ha impugnado una lectura demasiado literal de este requisito, el Comité de Código de ética de ASME (1915) en un comentario contemporáneo hizo hincapié en "la protección de los intereses de un cliente o empleador" como la "primera obligación" de un ingeniero. Al mismo tiempo, el código ASME aconsejó a los ingenieros "ayudar al público a una comprensión general justa y correcta de los asuntos de ingeniería". A lo largo del siglo XX, este tipo de asesoramiento, junto con el compromiso posterior con la cláusula de la cláusula primordial, obligó a los educadores de ingeniería a enfrentar repetidamente las dificultades de comunicar a los ingenieros una amplia concepción de sus responsabilidades profesionales y mejores prácticas para la comunicación pública.

Después de la Segunda Guerra Mundial, con especial vigor durante la década de 1970, los códigos de ética de ingeniería en los Estados Unidos se convirtieron en temas de discusión y revisión extendidas, con el fin de abordar las cuestiones planteadas por la creciente importancia de la ingeniería en el orden social y la preocupación pública sobre una serie de desastres específicamente técnicos, incluyendo problemas ambientales que implican grandes proyectos de ingeniería. Los desastres conocidos incluyeron dos grandes accidentes DC-10 (París en 1974 y Chicago en 1979) y un gran número de accidentes fatales con el automóvil Ford Pinto (fabricado de 1971 a 1980), ambos asociados con diseños de ingeniería problemáticos que las empresas se negaron a corregir a pesar de que los ingenieros los habían llamado la atención.

Desde la década de 1960 se han multiplicado los debates sobre los impactos ambientales de los proyectos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, desde las presas en el río Colorado hasta la gestión de los humedales de los Everglades. Tales experiencias llevaron a la elaboración de perfiles de "soplador de silbatos" como un héroe moral-técnico que transgrede la lealtad de la empresa para exponer las amenazas a la estar seguro (safety) pública, la salud o el bienestar.

A esta coyuntura histórica, los argumentos sobre la ética de la ingeniería tuvieron lugar en gran parte por debajo del radar de la filosofía profesional. Esto no quiere decir que carecían de significado filosófico y como tal no se podía hacer referencia para argumentar la forma ética de la tecnología, sólo que no lograron involucrar a la comunidad profesional de filósofos académicos. En un esfuerzo por superar este hiato y promover una mayor clarificación conceptual y formulación de principios, la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos se comprometió así a financiar la investigación colaborativa entre filósofos e ingenieros para analizar mejor los problemas de ética de la ingeniería, como los asociados con el soplado de silbatos, la autonomía y la "cláusula primordial", y a desarrollar materiales adecuados para la enseñanza de la ética de la ingeniería. Esto condujo a esfuerzos como uno del filósofo Michael Martin y el ingeniero Roland Schinzinger [1983] para explorar la extensión del principio biomédico del consentimiento libre e informado a la ingeniería. Cuando el desastre del transbordador Challenger de 1986 expuso aún más las debilidades de la independencia de la ingeniería, estimuló las discusiones que condujeron en 2000 a requisitos explícitos para que cualquier plan de estudios de ingeniería acreditado incluyera la enseñanza de la ética de la ingeniería. Más allá de esto, Carl Mitcham [1994b] abogó por una revisión de los estudios de caso que más habían contribuido a la trayectoria evolutiva que la conciencia de ingeniería profesional implicaba una nueva obligación más el *respicere* para que los ingenieros se movieran más allá de la responsabilidad personal y tuvieran en cuenta más que las dimensiones técnicas de su trabajo; y Davis [1998] avanzó un análisis filosóficamente sofisticado de los códigos de ética de ingeniería argumentando que se entienden como análogos a las normas técnicas y por lo tanto como funcionalmente vinculantes, es decir, en efecto, para integrar la tecnología y la ética en la práctica profesional.

Aunque la conformación ética de la ingeniería en los Estados Unidos se llevó a cabo sin diálogo con las discusiones en otros países, los problemas con los que los ingenieros norteamericanos tenían que lidiar no podían evitar trascender las fronteras nacionales. A partir de finales de la década de 1980, la ética de la ingeniería fuera de los Estados Unidos proporcionó progresivamente análisis complementarios mientras se beneficiaba también de los desarrollos estadounidenses. Por citar un espectro de ejemplos: En los códigos éticos de las sociedades de ingeniería canadienses y australianas es posible encontrar variaciones en el modelo de organización no gubernamental para la ingeniería profesional que se originó en las Islas Británicas, mientras que las promociones

patrocinadas por el Estado de la profesionalidad de la ingeniería en los países latinoamericanos compartieron algunos de los enfoques que se encuentran en el modelo francés. En Alemania, la ética de la ingeniería, influenciada por los esfuerzos para compensar la complicidad de los ingenieros con el nacional socialismo, llegó a exhibir una forma mucho más sistemática y filosófica (véase [Mitcham y Huning, 1994]). Algunos países en desarrollo, como la República Dominicana, han utilizado códigos de ética de ingeniería para criticar los patrones persistentes de corrupción. En Hong Kong se crearon códigos para retener la autonomía en previsión de la reversión de un puesto de avanzada colonial a la gobernabilidad por parte de China. En tres asociaciones transnacionales de ingeniería profesional —la Federación Panamericana de Sociedades de Ingeniería (UPADI, fundada en 1949), la Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Ingeniería (FEANI, fundada en 1951) y la Federación Mundial de Organizaciones de Ingeniería (WFEO, fundada en 1968) — se pueden encontrar algunos de los esfuerzos más fuertes para promover la responsabilidad ambiental como elementos en la ética de la ingeniería. (Para su posterior revisión con una colección documental de códigos, véase Mitcham, 2005.)

Por último, es importante señalar que la forma ética de la ingeniería está en sí misma moldeada por los contextos históricos y sociales de las diferentes culturas de ingeniería. Este reconocimiento, estimulado por el desarrollo de una beca interdisciplinaria en estudios de ingeniería (véase Downey y Lucena, 1995) se basa en los enfoques de la reflexión ética presentes en las escuelas socio-críticas e históricas-culturales de ética y tecnología. Como se ha argumentado en una comparación caso-estudio de la ética de la ingeniería en Francia, Alemania y Japón, diferentes cuestiones pueden influir en el tipo de interés que los ingenieros y educadores de ingeniería toman en la ética de la ingeniería.

Una variable clave es la relación entre las identidades de los ingenieros, por ejemplo, lo que significa ser ingeniero y que cuenta como ingeniero, y las responsabilidades del trabajo de ingeniería, incluidas las responsabilidades técnicas. Los contenidos de esta relación han variado significativamente a lo largo del tiempo y de un lugar a otro en todo el mundo. Como resultado, cuando uno investiga quién ha contado como ingenieros, y lo que ha contado como conocimientos de ingeniería y responsabilidades de ingeniería en diferentes momentos y lugares, las preguntas

relativamente directas . . . en significado y atraer respuestas notablemente diversas [Downey et al., 2003, p. 465].

Con respecto a los casos en cuestión, la ética de la ingeniería es de poco interés en Francia, debido a la integración de la ingeniería y la función pública. En Alemania, la ética de la ingeniería se ha integrado en una amplia reflexión filosófica sobre la ingeniería. Y en Japón, un aumento del interés por la ética de la ingeniería puede estar vinculado a una disminución en la medida en que las corporaciones ya no funcionan como "hogares". En un mundo globalizado, todavía hay que reconocer que los desafíos similares pueden, sin embargo, tener "significado variable y manifestaciones dependiendo de cómo se interiorizan estos desafíos" [Downey et al., 2003, p. 482], incluso cuando las interpretaciones de determinadas internalizaciones pueden ser impugnadas.

4.3 Forma personal: consumidores como productores

La ética profesional se ha convertido en parte integral de la práctica de la biomedicina y la ingeniería y, por lo tanto, les ha dado caracteres históricamente distintivos. Nunca antes en la historia de estas profesiones, la ética y la filosofía han sido tan influyentes en sus códigos morales y por lo tanto en las propias profesiones técnicas, sus prácticas y productos. Igualmente importante, sin embargo, es el grado en que no sólo los profesionales, sino los consumidores y sus preocupaciones morales, también moldeadas hasta cierto punto por reflexiones éticas populares, han ejercido una influencia sutil sobre las formas de los procesos y productos tecnológicos. Los pacientes han influido en la ética de la biomedicina y los usuarios consumidores, a través de sus aprobaciones y sus rechazos, han modulado la mezcla de productos de ingeniería.

Para apreciar la conformación moral de la tecnología, no basta con considerar un objeto físico, un proceso técnico o una función prevista como concebida y diseñada dentro de la comunidad técnica. Cuando un artefacto emerge del laboratorio, pasa de ser una entidad predecible e insular en un contexto controlado y se convierte simplemente en un elemento más en una red social compleja, descontrolada e interactiva. Cuando se enciende un televisor, se producen una serie de procesos electromagnéticos predecibles que conducen a

la generación de una imagen. Sin embargo, fuera del funcionamiento del propio dispositivo electrónico, poco o nada es predecible, porque otros atributos derivan no de las leyes físicas, sino de las redes socioculturales en las que se despliega. ¿Qué se transmite, a quién, cuándo y dónde? ¿Qué actividades se olvidan los espectadores para ver la televisión, y cómo afecta esto al carácter de la sociedad y a la calidad de vida? Aún más importante, ¿qué opinan los espectadores de lo que ven?

Para el antropólogo cultural Michel de Certeau, ver la televisión se malinterpreta si sólo se ve en términos de consumo pasivo. La observación y la inevitable reacción a la televisión constituye una productividad de segundo orden: un primer orden es el de la ingeniería del artefacto y la creación del contenido programático, el segundo orden que tiene lugar con la siempre creativa receptividad del espectador. Según Certeau,

El análisis de las imágenes transmitidas por televisión (de representaciones) y del tiempo que pasó sentado frente a ellas (un comportamiento) debe complementarse con el estudio de lo que el consumidor cultural "hace" o "hace" [fabrique] durante estas horas y con estas imágenes. Lo mismo ocurre con el uso de ... los productos comprados en el supermercado.[Certeau, 1980, p. 11]

Para Certeau es necesario distinguir entre las estrategias de producción primaria que crean instituciones poderosas y las tácticas que la gente común utiliza en la vida cotidiana, para crear nichos para sí mismos dentro de esas instituciones, como cuando los trabajadores se apropian sutilmente del lugar de trabajo para hacer las cosas para sí mismos o los inquilinos repintan apartamentos en colores no aprobados, en ambos casos transformando el milieu tecnológico que se les presenta en formas predeterminadas.

Como consumidores, operadores y ciudadanos, las personas toman decisiones sobre las tecnologías que utilizan y cómo las utilizan, y estas elecciones influyen también en el comportamiento de los mercados y los gobiernos. Los consumidores pueden elegir, por ejemplo, comprar un vehículo híbrido, un vehículo utilitario deportivo o renunciar a un automóvil personal en favor del uso del autobús o tren. Los padres toman decisiones sobre qué contenido multimedia y qué tecnologías de comunicación son apropiadas para sus hijos. Actuando como ciudadanos, sobre la base de sus propias reflexiones éticas informales, las personas presionan a sus representantes democráticos para que persigan una estrategia de producción de energía u otra. Los

consumidores y los ciudadanos, conscientemente o no, sopesan los riesgos, costos y beneficios para formar juicios que guíen sus usos de artefactos y sistemas.

En un mundo en el que la familia, la religión y otras estructuras tradicionales de la moral popular se han atenuado, mientras que las apuestas de hacer y usar artefactos sólo han aumentado, la experiencia común adquiere ética cada vez más. La diferencia de ética/moral en sí misma disminuye a medida que las personas se ven obligadas a pensar por sí mismas. Para Charles Taylor [2007], esta es la característica clave de la era secular moderna. La moralidad deja de ser moralidad y, como es el caso de la vida profesional, tiende la mano y se vuelve receptiva a la filosofía para que la experiencia cotidiana se infunda en la reflexión ética. Adaptando el sugerente argumento de Lorenzo Magnani [2007], en el mundo tecnológico casi se podría decir que la moralidad tiene el deber de convertirse en ética.

Que los individuos ordinarios que reflexionan así sobre sus creencias y comportamientos, tienen un grado de margen de maniobra en la formación de la tecnología es significativo. Esto es especialmente así en términos de asignar la responsabilidad por accidentes y fallas. Son los conductores particulares, por ejemplo, los que se inician con automóviles y los conducen con cuidado o no, por las calles de la ciudad. Aunque los ingenieros diseñan y desarrollan los planes de uso para los automóviles, estos son como semillas que brotan y florecen de manera diferente bajo diferentes condiciones. Los conductores son los que proporcionan las condiciones que "dan vida a los coches". Cuando un conductor intoxicado tiene un accidente, la suposición predeterminada es que el conductor es responsable, aunque si el accidente fue resultado de un volante que se suelta de la columna de dirección debido a un defecto de diseño en el conector de la pluma, el ingeniero o fabricante podría estar encargado de la responsabilidad. Las líneas entre diseñadores y usuarios, sin embargo, no siempre son claras. Este es especialmente el caso con el software de código abierto y las licencias de software de "compartir y compartir por igual" que permiten a los usuarios alterar el código o contribuir con contenido colectivamente. Estos acontecimientos han difuminado las distinciones entre el productor técnico y el consumidor, dando lugar al concepto de "prosumer" (productor-consumidor).

Una cuestión clave planteada por la conformación de los consumidores de la tecnología se refiere así al nivel de libertad y responsabilidad que las personas realmente tienen para elaborar sus existencias tecnológicas

personales. ¿Cuál es el rango y la calidad de las decisiones que pueden tomar? Las respuestas sólidas dependerán del contexto, cuya interpretación dependerá fácilmente de las creencias generales sobre la neutralidad de la tecnología. La tesis de neutralidad como principio de la ética popular de la tecnología argumenta que en la medida en que las tecnologías expresan valores, estos son valores de eficacia con respecto a una función dada (véase también el capítulo de Radder "Por qué las tecnologías son inherentemente normativas" más atrás). De lo contrario, los artefactos son neutrales con respecto a las prácticas y contextos más amplios en los que se despliegan. Son objetos que pueden ser puestos en buen uso por personas buenas o malas, porque siempre hay varias maneras en que se pueden utilizar. Como dice el dicho, "Los coches no conducen solos".

Obviamente hay algo de verdad en esta tesis, pero la situación es más compleja de lo que parece admitir; una sociedad con coches es diferente a una sin ellos. Cuando un automóvil se sienta en la entrada, se necesita un acto especial de la voluntad para que su propietario camine cinco cuadras hasta la tienda. Una simple decisión de comprar comestibles probablemente tomaría una trayectoria muy diferente a la misma decisión sin la presencia del coche. Aunque los artefactos y sistemas no poseen albedrío en el sentido estándar, sí estructuran el mundo de la vida humana para transformar las situaciones y opciones disponibles para sus habitantes.

Otro aspecto de la no neutralidad tecnológica se ha conceptualizado en la noción de un "guión" tecnológico. Como un guion dramático, uno tecnológico prescribe un comportamiento hasta cierto punto, al tiempo que permite a los actores hacer diversas interpretaciones en sus interpretaciones [Bijker y Law, 1992]. Otro concepto relacionado es el de "adecuaciones de valor". Una tecnología dada bien puede ser "más adecuada para ciertas actividades y más fácilmente [apoyar] ciertos valores, mientras que hace que otras actividades y valores sean más difíciles de realizar" [Friedman et al., 2006, p. 351]. Al mismo tiempo, la cultura en la que existen los guiones tecnológicos hará sus propias contribuciones al uso. Aunque "Los coches no conducen por sí mismos", las personas de un país con automóviles, pueden estar fuertemente influenciadas por una cultura que, sin embargo, inhibe su uso por los impuestos, el diseño de carreteras o las expectativas sociales más informales. El grado en que la moralidad de una persona, incluso cuando sea ética, será capaz de influir en la forma de la tecnología puede ser algo marginal. ¿Es posible que Certeau romantizara la productividad del consumidor?

Las culturas tecnológicas "confrontan a las personas nacidas en ellas no como algo que pueden elegir adoptar libremente si desean, sino como una imposición impregnada de gran inercia" [McGinn 1991, p. 75]. Después de todo, la mayoría de las personas en muchas partes del mundo tecnológico avanzado no pueden optar por vivir sin automóviles, televisión, Internet o artefactos relacionados, o en culturas que promulgan estos artefactos de maneras particulares. La cuestión de la libertad debe hacer frente al hecho de que el sujeto humano siempre es ya un mundo sujeto en el tecno. Desde una perspectiva histórico-cultural, los individuos sólo pueden lograr una relación libre con la tecnología una vez que se dan cuenta de hasta qué punto su mundo y su conciencia están mediados tecnológicamente. Lograr una relación libre con la tecnología es tan difícil como lograr una relación libre con los padres o con la propia religión. Algunas personas lo hacen, pero no sin esfuerzo. Incluso la simple verdad, a menudo discutida con un enfoque analítico, esas tecnologías que abren puertas casi siempre cierran otras, es difícil de apreciar a nivel existencial.

Pensar en cómo individuos o grupos de consumidores no técnicos dan forma al mundo tecnológico en el que viven, plantea una nueva cuestión de responsabilidad por consecuencias y externalidades no deseadas como la contaminación del aire, el cambio climático, la extinción de especies o el agotamiento de las aguas subterráneas. ¿Puede un usuario individual ser considerado moralmente responsable de tales fenómenos? Estos problemas colectivos surgen como resultado de que cada uno de los individuos cumple con roles sociales bastante restringidos y responsabilidades asociadas. Los problemas son el resultado de la suma total de millones de personas que realizan acciones simples, desde conducir coches hasta ver televisión, ninguno de los cuales por sí solo puede tener efectos significativos. Aunque los individuos pueden ser capaces de mitigar estos problemas hasta cierto punto, e incluso se podría argumentar que tienen una meta-función de tener una reflexión ética para llevar a cabo la reflexión ética en las sociedades tecnológicas, en ausencia de eventos dramáticos, no todo el mundo puede esperar que practique lo que se puede experimentar como virtudes Voluntarias. Más importante aún, las personas que actúan por su cuenta están fundamentalmente restringidas en términos de los cambios que pueden realizar. Los problemas son sistémicos, es decir, son el resultado de redes tecnológicas enteras como el transporte y la agricultura industrial. Más allá de los refinamientos marginales, los individuos

como tales no pueden alterar los sistemas que han creado. Un cambio serio requiere una acción colectiva o política.

4.4 Forma política: regulación y promoción

Desde finales del siglo XIX, los Estados nación han igualado la creciente complejidad de la cultura material con una creciente burocracia. Las tecnologías crean beneficios, riesgos y responsabilidades de salud, seguridad, medio ambiente y socioeconómicos esperados e inesperados. Los gobiernos crecen y se adaptan en los esfuerzos por defender y aplicar las tradiciones morales recibidas a nuevas situaciones. Sin embargo, la relación entre la ley y la ética, no es una cuestión directa de aplicación. Aunque muchas leyes son una encarnación social directa de algún principio ético (por ejemplo, leyes que protegen a los menores de los depredadores sexuales en Internet), algunas leyes están motivadas por necesidades pragmáticas en lugar de directamente por la ética (por ejemplo, leyes que coordinan las agencias gubernamentales). Además, las leyes pueden ser injustas o poco éticas, al menos desde la perspectiva de ciertas teorías morales. Este es claramente el caso, por ejemplo, de las leyes que permiten la esclavitud y la discriminación basada en la raza y el género.

Las leyes y las agencias reguladoras, junto con las políticas promocionales, dan forma a la tecnología de maneras que a menudo son más potentes y directas que los profesionales técnicos o los usuarios consumidores. Aunque las reflexiones histórico-culturales a veces interpretan el surgimiento de tales organismos burocráticos como expresiones de la tecnología moderna, las reflexiones analíticas y socio-críticas son más propensas a verlas como formas en que la moralidad y los análisis éticos asociados influyen en la tecnología.

Por lo tanto, son los enfoques analíticos, junto con las modestas contribuciones de enfoques socio-críticos, los que han estado más comprometidos con las instituciones políticas y jurídicas. La ley, promulgada por los legisladores (ley estatutaria) o los organismos ejecutivos (derecho administrativo) y luego interpretada por los tribunales, es el principal mecanismo para la conformación política de la tecnología. Las actividades jurídicas y las políticas que manifiestan, se dividen en las dos grandes categorías: regulación posterior y orientación sobre políticas ascendentes. La reglamentación implica la creación de normas —para la construcción (códigos de construcción), alimentos y medicamentos (normas de salud y calidad), transporte (criterios de funcionamiento), protección del medio ambiente, publicidad, etc.— que se basan fundamentalmente en conocimientos científicos

y técnicos [Jasanoff, 1995]. La reglamentación tiene por objeto reducir los riesgos ex ante, antes de su imposición, y ex poste, a menudo a través de litigios, después de que se hayan producido exposiciones al riesgo. Las políticas de orientación, a su vez, buscan financiar o proporcionar directamente impuestos indirectos e incentivos conexos para una tecnología sobre otra, influyendo así en los tipos y mezclas de productos, procesos y sistemas tecnológicos. Al llevar a cabo tales actividades, la ley desempeña un papel fundamental en el fomento de la innovación y el desarrollo selectivo, a veces centrado sin regiones o grupos especiales, y en la distribución de los beneficios de la tecnología de los bienes públicos y privados.

Feenberg [2002] explora la noción de "código técnico" para demostrar cómo la regulación gubernamental, puede dar forma a la tecnología en los niveles básicos. Los códigos técnicos revelan cómo se construyen socialmente los parámetros técnicos. Por ejemplo, en 1852, 5.000 pasajeros de barcos de vapor en los Estados Unidos habían muerto como resultado de explosiones de calderas. El Congreso de los Estados Unidos otorgó su primera subvención federal para hacer investigación técnica sobre el problema y luego creó una agencia que ordenaba cambios técnicos como paredes más gruesas y válvulas de seguridad. El diseño de la caldera fue moldeado por juicios sociales y políticos sobre la estar seguro (safety); la ética fue literalmente "fundido en hierro." (Ilustrando la creatividad del usuario de Certeau, sin embargo, los capitanes de barcos de vapor a menudo inhabilitan los valores de seguridad con el fin de correr a presiones más altas y hacer un mejor tiempo.) La misma negociación política está en marcha en la adopción de normas ambientales, como los requisitos de eficiencia de combustible para los automóviles, las restricciones a las emisiones de las centrales eléctricas o la responsabilidad ampliada del fabricante. A medida que valores como la seguridad, la sostenibilidad o la justicia pasan a formar parte de los códigos técnicos, se tratan como características intrínsecas de los artefactos. Dejan de ser desglosados como el "precio" específico que debe pagar una racionalidad técnica pura. Mantener estas normas eventualmente se convierte en la ley, no en un "equilibrio" con eficiencia.

La regulación de la tecnología plantea una serie de cuestiones éticas. En el esquema analítico, es posible identificar cinco tensiones principales que se producen continuamente: a) intereses contradictorios entre el organismo regulador y la industria regulada; (b) los beneficios relativos de la regulación frente a la desregulación y las soluciones de mercado; (c) compensaciones entre valores como la estar seguro (safety) y el costo, la seguridad y la libertad de

expresión, o los beneficios y la preservación del medio ambiente; (d) controversias jurisdiccionales relativas a la facultad de reglamentar, especialmente en situaciones transnacionales; y e) disputas sobre qué principios u objetivos deben guiar la regulación. El último es particularmente notable en los debates sobre el significado y la conveniencia del principio de precaución como guía para la gobernanza de las tecnologías.

Con respecto a la promoción, los gobiernos utilizan una amplia variedad de mecanismos para fomentar o dirigir la innovación tecnológica. De hecho, la regulación a menudo estimula la innovación, al igual que con las normas de emisiones de automóviles, que obligaron a los fabricantes de automóviles a desarrollar y adoptar nuevas tecnologías. Otros mecanismos incluyen: a) investigación y desarrollo; (b) subvenciones; (c) garantías de préstamos para las empresas que desarrollen tecnologías —como centrales nucleares— que requieran cantidades masivas de capital; (d) legislación sobre transferencia de tecnología que promueva el flujo de invenciones financiadas por el gobierno al sector privado o el flujo de tecnologías en los países industriales a los países en desarrollo; y e) las leyes de propiedad intelectual que otorgan a los inventores un derecho exclusivo limitado en el tiempo para explotar comercialmente la producción de su trabajo.

La adjudicación de las tensiones que entraña la regulación o la toma de decisiones con respecto a los mecanismos de promoción siempre implican juicios morales, juicios que se ven reforzados cada vez más por la reflexión ética crítica. De particular importancia han sido las cuestiones relativas a la distribución justa de los escasos recursos y las asignaciones de autoridad para gestionar los cambios tecnológicos. Dado que tales decisiones y reflexiones sobre ellas son tomadas por los individuos, la forma ética-moral de la tecnología a nivel político implica inevitablemente también las esferas personal y profesional. Lo que para propósitos analíticos está separado, en el mundo de la vida tecno, es un todo complejo que también puede ser considerado como una forma tecnológica de la ética.

5 TECNOLOGÍA FORMA ÉTICA

Hasta ahora, la atención se ha centrado en cómo la ética ha evaluado y moldeado la tecnología a lo largo de los períodos históricos; en diferentes escuelas filosóficas; y a través de la moralidad operativa en los niveles de la vida profesional, el comportamiento del consumidor y la gobernanza política. Las tecnologías han sido consideradas principalmente como objetos y procesos para

la reflexión e intervención ética. Pero en varios puntos también se ha sugerido que la interacción entre la ética y la tecnología podría ser en ocasiones recíproca. Si la tecnología puede dar forma a la sociedad, que no está abierta a dudas, ¿por qué no tan bien las culturas, la moral y las ideas que ayudan a formar una sociedad? Por ejemplo, la evolución de las tecnologías de control de la natalidad y fertilización in vitro (FIV) en la década de 1980 se encontró inicialmente con objeciones morales y religiosas generalizadas que, sin embargo, se moderaron con el tiempo.

Sin embargo, que la tecnología podría dar forma a la moral o a la ética es más problemática que la conformación ética de la tecnología, porque la ética es vista tanto por muchos filósofos como por el público en general como una dimensión autónoma de la cultura, tal vez incluso la dimensión más autónoma. De hecho, para un filósofo moderno como Kant, pensar en la moralidad en términos heterónomos como lo determina algo que no es él mismo es no reconocer lo que realmente es la ética.

Al pensar en la posible forma tecnológica de la ética, por lo tanto, puede ser útil considerar cómo incluso, desde una perspectiva kantiana la ciencia moderna, un asociado estrecho de la tecnología, puede ser admitido de haber ejercido una influencia de conformación en la ética. Según la teórico ética kantiana Christine Korsgaard (1996), la filosofía moral y política moderna puede leerse como una serie de respuestas a lo que ella llama la cosmovisión científica moderna. Antes del auge de la modernidad, la forma y el valor se tomaron como más reales que los hechos experimentados. La forma de una cosa, incluso cuando no está completamente presente en algún punto en particular, lo señaló y constituyó su perfección. Con la ciencia moderna, sin embargo, el mundo llegó a ser pensado en términos de materia y energía, cosas indiferentes actuando de acuerdo con las leyes universales. En tales circunstancias, Korsgaard argumenta: "Si lo real y lo bueno ya no lo son, el valor debe encontrar su camino en el mundo de alguna manera. La forma debe imponerse al mundo de la materia" [1996, p. 5]. La ciencia moderna estableció así el escenario y ayudó a dar forma al surgimiento de la teoría ética posterior.

Hobbes y Samuel von Pufendorf (1632-1694) fueron algunos de los primeros filósofos en reconocer el desafío ético planteado por la cosmovisión científica y en el proceso de convertirse en agentes a través del cual esta cosmovisión comenzó a dar forma a la ética. Ambos hicieron el argumento ético de que, como la moral no se encuentra en la naturaleza, deben ser creados por

decisiones humanas. El propio Kant, por supuesto, trató de poner la moralidad en la racionalidad inherente de la toma de decisiones prácticas en lugar de simplemente en los tomadores de decisiones. Pero los tres teóricos éticos, en la medida en que se comprometieron a responder a una visión científica del mundo, permitieron en la ética una formación sutil de la ciencia.

Esta forma científica indirecta de la ética, tal vez ha sido más apreciada que la conformación tecnológica, y sin embargo, la primera seguramente sugiere la segunda. Más audazmente declarado, los filósofos de la Ilustración intentaron utilizar la ciencia moderna para remodelar la ética a través de sus productos cognitivos (hechos y teorías) y sus métodos distintivos (experimentación y análisis cuantitativo). La iluminación científica buscaba utilizar el conocimiento fáctico para disipar la ilusión y el mito, como en la astronomía galilea y la evolución darwiniana, y para proporcionar nuevas formas de análisis moral, como con el utilitarismo.

Tomando tal forma como una plantilla sugerente, la tecnología puede de la misma manera se considera capaz de influir en la ética de cuatro maneras: (a) la tecnología crea nuevas cuestiones y preguntas morales; (b) la tecnología requiere ajustes en conceptos moralmente significativos; (c) la tecnología puede requerir nuevas teorías morales; y d) la tecnología y los conceptos tecnológicos cambian nuestra autoimagen moral y nuestras visiones de la buena vida.

El primer modo de modelado es quizás el más obvio. Cuando las tecnologías cambian o se inventan otras nuevas, una cultura puede llegar a ser "inadaptada" o exhibir lo que el sociólogo William Fielding Ogburn [1964] llamó "retraso cultural" (véase también [Toffler, 1970]). Después de la introducción del automóvil, por ejemplo, tomó tiempo para que la cultura del diseño de carreteras se pusiera al día, y los nuevos hábitos y expectativas por parte de los conductores tuvieron que ser cultivados, constituyendo finalmente un nuevo operativo de la moral dentro del sistema de transporte. La adopción generalizada de los teléfonos móviles ha creado nuevas cuestiones morales sobre la etiqueta de su uso en los espacios públicos. Las cuestiones morales y las cuestiones relacionadas con el cambio climático global no habrían surgido a falta de tecnologías modernas.

En segundo lugar, el cambio tecnológico puede desafiar la adecuación de conceptos moralmente significativos, tal vez exigiendo la reformulación de esos conceptos. Los avances en las tecnologías de soporte vital durante la década de 1970 cuestionaron las definiciones tradicionales de muerte en términos de paro

cardíaco o pulmonar y condujeron a otro en términos de funcionamiento cerebral. Los avances en inteligencia ambiental, vigilancia y tecnologías genéticas también desafían las nociones de privacidad y propiedad personal. Los impactos ambientales de las tecnologías industriales alentaron la reconsideración del concepto de desierto, lo que una vez fue amenaza se concibió, en condiciones de afluencia tecnológica acosada, como santuario, y posteriormente como ella misma amenazada por la contaminación industrial. Impactos industriales similares llevaron a la creación de especies en peligro de extinción como un nuevo concepto legal y moral y medio ambiente como un bien a proteger.

El auge de las relaciones mediadas por computadora ha promovido nuevas interpretaciones de la comunidad y la amistad (por ejemplo, [Briggle 2008]) mientras que la simulación por computadora plantea nuevas preguntas sobre la realidad y su normatividad [por ejemplo, Borgmann, 1999]. Las tecnologías de mejora sugieren nuevas consideraciones de la naturaleza humana a medida que abren las puertas a los ideales post-o trans-humanistas emergentes [Bostrom 2005]. De hecho, la tecnología moderna se ha utilizado durante mucho tiempo como una fuente de imágenes para pensar en la naturaleza humana. En los años de 1600, Hobbes preguntó: "Porque lo que es el Corazón, sino una Primavera; y los nervios, pero tantas cuerdas; y las Juntas, pero tantas ruedas. . . ?" [Leviatán, introducción]

En algunos casos, la tecnología amplía el alcance de los conceptos morales, remodelando el sentido de lo normal. Por ejemplo, el petróleo y la electricidad, que antes eran objetos de deseos sólo entre los pocos ricos, se han convertido en necesidades. Son necesarios para la supervivencia de todos en una sociedad de afluencia masiva debido a las tecnologías que requieren su aporte. Desde esta perspectiva, el desarrollo tecnológico impone nuevas necesidades y mayores niveles de consumo a los pueblos supuestamente subdesarrollados. De repente, un aldeano necesita un billete de autobús, alojamiento de alquiler, servicios públicos y educación [Escobar, 1995]. La tecnología no sólo amplía las necesidades, sino también las reivindicaciones de derechos [McGinn, 1991]. Por ejemplo, el derecho a la vida se entendía tradicionalmente en términos negativos, como un derecho a no ser privado de vida o integridad física. Pero en presencia de tecnologías que preservan la vida, este derecho tiende a adoptar una forma expansiva, como derecho a recibir cualquier tratamiento médico necesario para sostener la vida. De manera similar, el agua limpia, las vacunas y

otros bienes y servicios se convierten en derechos a medida que se desarrollan tecnologías que pueden hacerlos fácilmente disponibles.

En tercer lugar, la tecnología no sólo puede desestabilizar o engendrar conceptos morales significativos, sino que en realidad pide el desarrollo de teorías morales completamente nuevas. Como se ha señalado anteriormente, hay desacuerdo sobre este punto. Los filósofos analíticos tienden a argumentar que las teorías existentes son adecuadas, mientras que algunos representantes de las otras tradiciones no están de acuerdo. Jonas [1984], por ejemplo, sostiene que la tecnología moderna crea la necesidad de una nueva ética en términos de teoría y práctica. La ética pre-moderna podría permitir que las técnicas permanezcan en el fondo como un aspecto marginal de la vida. Durante el período moderno la tecnología entró en primer plano de la experiencia humana al mismo tiempo que la ciencia moderna socavó la teleología natural y la noción de una naturaleza humana estable como guía para su uso sabio. Como resultado, la tecnología se volvió "inquieta" al servir a los deseos y crear necesidades. Se requiere una "nueva concepción de los deberes y derechos" para tener en cuenta los impactos globales e inter-generacionales de la tecnología. Jonas consideró que la tecnología moderna había "introducido acciones de esa escala novedosa, objetos y consecuencias que el marco de la ética anterior ya no puede contenerlos" [1984, p. 6]. En lugar del consecuenteismo o deontología, Jonas propone un nuevo imperativo ético: "Actúa para que los efectos de tu acción sean compatibles con la permanencia de la vida humana genuina" [1984, p. 11].

Hay una serie de otros esfuerzos para formular principios éticos que pondrían al día o acomodarían la transformación tecnológica del mundo de la vida. Mitcham [1994b], por ejemplo, ha argumentado que los ingenieros tienen especialmente el deber más el *respicere*, de tomar más cosas en cuenta. Magnani [2007], más generalmente, ha argumentado que en presencia de la tecnología que actúa con el conocimiento se convierte en un deber moral. Lawrence Schmidt y Scott Marranto [2008] se hacen eco de Jonas al argumentar que no existe un marco ético coherente para hacer frente a las consecuencias negativas a largo plazo de ciertos desarrollos tecnológicos. Proponen una teoría post-liberal que rechaza la ideología del progreso en favor de la prudencia y la limitación.

Cuarto, la tecnología y los conceptos tecnológicos pueden alterar nuestra propia imagen moral. La tecnología no sólo introduce nuevos productos y procesos de materiales, sino que también condiciona cómo se conceptualizarán

y evaluarán estas nuevas realidades. Los seres humanos no sólo se enfrentan a nuevas necesidades, por ejemplo, sino que llegan a entenderse y evaluarse a sí mismos como seres en posesión de necesidades que calculan su satisfacción. Los seres humanos llegan a concebirse a sí mismos, sus objetivos y su mundo en parte a través y en términos de tecnología.

En este sentido, las técnicas de escritura y lectura son especialmente importantes. Según Walter Ong, para el juicio de los pueblos orales "depende del individuo desde fuera, no desde dentro" [1982, p. 55]. Por el contrario, la mente alfabetizada tiende a abstraerse de la concreción de la experiencia vivida, que fomenta un mayor auto-juicio introspectivo. Illich [1993] exploró más a fondo la importancia de escribir y leer técnicas para patrones a sí mismo y realidad. Además, Michel Foucault [1988] argumentó que las diferentes culturas utilizan técnicas para generar diferentes nociones y experiencias del ser humano. Sherry Turkle [1995] argumentó que las computadoras han introducido una nueva auto-comprensión. Nicholas Carr [2008] ha repuntado en este tema para argumentar que Internet altera la forma en que los humanos leen y piensan. Mientras que los libros fomentan y exigen la disciplina para seguir un argumento o narrativa sostenida, Internet promueve un estilo de lectura que pone la eficiencia y la inmediatez por encima de todo. Esto altera el yo, porque los seres humanos no son sólo lo que leen, sino cómo leen (véase [Lobo, 2007]). De hecho, el tipo de medios utilizados en la lectura y la escritura en realidad da forma a los circuitos neuronales y, por lo tanto, al tipo de yo pensante que emerge.

Pero el ser humano está configurado no sólo a través y en términos de medios. Otro ejemplo es la medicalización, o el proceso por el cual ciertas características de la vida humana llegan a ser definidas y tratadas como condiciones médicas. Con el advenimiento de nuevas técnicas médicas, ciertas condiciones se convierten en enfermedades o trastornos en lugar de, por ejemplo, maldiciones o rasgos de personalidad. Esto fomenta una auto-concepción nueva y normativamente cargada. Algunos sostienen que la expansión acrítica de una mentalidad medicalizadora —considerando todas las ocasiones de tristeza, ira o arrepentimiento como condiciones médicas— amenaza con imaginar al ser humano únicamente en términos biomédicos en lugar de en los psíquicos, espirituales o morales [Consejo presidencial de bioética, 2003]. La terminología médica también ha fomentado una auto-conceptualización en términos de riesgo. Illich argumentó que esto es desencarnación, porque pensar en términos de riesgo es "una invitación a la auto-algoritmización intensiva, ... reduciéndome por completo a la concreción fuera

de lugar proyectándome en una curva" [Illich, 2005, p. 210]. Se podría hacer un punto similar sobre la extensión del ideal de eficiencia desde la esfera técnica al mundo de la vida. En las sociedades tecnológicas, las actividades que consumen una cantidad considerable de tiempo, se convierten en objetivos de mejora de la eficiencia: así, el auge de los procesadores de alimentos, microondas, procesadores de textos, aparatos de limpieza del hogar y la comunicación electrónica en lugar de cartas manuscritas [McGinn, 1991]. Sin embargo, hay peligros en la comprensión de una comida familiar o correspondencia entre amigos en términos de eficiencia.

El patrón del yo por la tecnología sugiere que la tecnología también dará forma a cómo ese yo concibe florecer o una buena vida. Por ejemplo, la televisión no solo satisface las preferencias, sino que da forma y genera preferencias. Del mismo modo, el ocio —un componente de la buena vida— se entiende ahora de maneras que están fundamentalmente moldeadas por la tecnología [McGinn, 1991]. La industrialización ha compartimentado la vida en esferas de actividad estructuralmente diferenciadas, incluyendo el trabajo y el ocio. Desde entonces, el ocio ha adquirido sus propios valores y formas en evolución en los que las tecnologías desempeñan un papel central. La buena vida en un mundo materialmente próspero está ampliamente concebida en términos del consumo y la comodidad que ofrecen las tecnologías, lo que trae consigo su opuesto, a saber, una mayor ansiedad por la muerte y los riesgos para el bienestar físico. Esta noción de la buena vida no fue en ascendencia en las culturas europeas medievales que valoraban el honor, la valentía y la asunción de riesgos por encima de la comodidad y la conveniencia. Vale la pena seguir considerando el papel de la tecnología en tales transformaciones morales históricas.

Por último, la configuración tecnológica de la buena vida plantea dos cuestiones importantes que merecen un mayor escrutinio. Uno es conceptual: ¿Es "ver televisión" o cualquier nueva visión basada en la tecnología de la buena vida un nuevo tipo de respuesta a la buena vida o simplemente una nueva ficha o especie dentro de una categoría atemporal (por ejemplo, entretenimiento pasivo)? Es decir, ¿la tecnología crea valores fundamentalmente nuevos o simplemente cambia —ampliar o contraer— categorías preexistentes de valoración y actividad humanas? Un segundo se refiere a si los valores o esquemas de preferencias simplemente cambian y se adaptan a un mundo de vida tecnológica cambiante. En caso afirmativo, ¿excluye esto las evaluaciones normativas de los mundos pasados y futuros desde nuestra perspectiva limitada en el presente? ¿No llevan vidas desfavorecidas los ciudadanos de Brave New

World (1932), a pesar de que sus planes de preferencias están perfectamente adaptados a un conjunto particular de construcciones tecnológicas?

6 CONCLUSIONES: LA ÉTICA Y LA TECNOLOGÍA QUE INTERACTÚAN

Una declaración resumida de la tesis de este capítulo podría ser que la ética y la tecnología, desde el comienzo del período moderno, se han influido cada vez más unos a otros. Una manera de reiterar y tomar medidas a gran escala de esa influencia mutua es observar cómo a lo largo de su tecnología de desarrollo moderno, se ha asociado en la imaginación moral con una serie superpuesta de imágenes, desde máquinas y fábricas industriales hasta computadoras e Internet, cada una de las cuales ha sido una influencia y ha sido objeto de una reflexión ética crítica. Así como diferentes imágenes han tendido selectivamente a comprometerse y a veces a reforzar diferentes juicios éticos, la reflexión ética también ha tendido a captar y resaltar imágenes diferenciales de la tecnología.

Analizar las imágenes públicas o sinnecdoches que el término "tecnología" a menudo evoca —junto con la nube de asociaciones que no pueden evitar estar presentes también en el pensamiento filosófico— es posible identificar al menos siete tipos amplios. En los albores del reconocimiento popular de la tecnología moderna como una tecnología de fenómenos distintivos se identificó fácilmente con (1) máquinas y fábricas industriales, que también connotó potencia, como fue aún más específicamente representado por la máquina de vapor. El hecho de que los seres humanos fueran los creadores de máquinas tan poderosas no podía evitar promover una visión heroica del ser humano. En un corto período de tiempo la tecnología también se imaginó en términos de (2) tiendas y hogares bien abastecidas con artículos que denotan afluencia y riqueza; el Crystal Palace y la exposición mundial de productos industriales de 1851 es quizás una imagen clásica aún más específica que promovió una noción diferente de los seres humanos como consumidores de bienes y servicios producidos en masa. (3) Los edificios y puentes altos han sugerido una vez más una visión heroica del ser humano asociado con la urbanización y los hábitats espacio-temporales reconstruidos tecnológicamente, a menudo cuestionados como a la vez humanizadores y deshumanizadores. Las luces eléctricas que son fundamentales para tal reconstrucción, son metáforas promiscuas en este sentido, que se asocian a la vez con la extensión de la acción humana a la oscuridad y someterlas a más exposición de la que siempre puede soportar.

Re-enfatizar la noción de dinamismo inherente a la imagen de las máquinas industriales es otro conjunto de imágenes asociadas con (4) el transporte por barcos de vapor, trenes de ferrocarril, automóviles, aviones y sondas de exploración espacial. Complementando el transporte (5) tecnologías de comunicación como el telégrafo, la radio, el teléfono y la computadora, todas ellas fijas o encierran procesos electrónicos, pero dinámicos. Ambos parecen estar para apoyar y respaldados por moralidades dinámicas: en un caso una afirmación de cambio físico de un lugar a otro, en el otro de la rápida adquisición de información y conexiones de red, respectivamente.

Finalmente están las imágenes contradictorias asociadas con el ocio y con la guerra. En el ámbito de (6) las tecnologías de ocio son el cine y películas, la televisión y los videojuegos que significan la unificación de la tecnología y la producción de la felicidad humana. Sin embargo, aunque el entretenimiento, cuya connotación no puede evitar ser predominantemente positivo, también está sujeto a juicios éticos opuestos en los que tales tecnologías sirven para distraer a los seres humanos de un propósito y una actividad de más seriedad. A esta misma categoría se podrían añadir tecnologías sanitarias como la imagen de una serie de instrumentos y dispositivos médicos desde el estetoscopio y el monitor cardíaco hasta el corazón artificial. ¿Cómo nos queda sino aprobar moralmente el nivel de salud humana que hace posible la tecnología moderna? Pero incluso esto se ha cuestionado con argumentos, por mucho que se discutan, relativos a los elevados costes (económicos y psicológicos) si no a la arrogancia. Por el contrario, (7) las tecnologías militares se utilizan principalmente en términos de explosiones, tanques y bombas, siendo la conexión predominante una, en la que la felicidad es reemplazada por el dolor y el sufrimiento. Los apologistas de las tecnologías militares, como proporcionar seguridad defensiva tienen que luchar casi tanto como los críticos de las tecnologías médicas para hacer su caso.

Estas imágenes populares han desempeñado roles diferencialmente ponderados y cuestiones distintivas en las tres escuelas de reflexión ética sobre la tecnología. Por ejemplo, en la perspectiva del enfoque socio-crítico, se argumenta que las máquinas y las fábricas industriales son instrumentos de élites poderosas de las que, de alguna manera necesitan ser liberados para realizar su verdadero potencial liberador, mientras que en una perspectiva histórico-cultural se hace hincapié en cómo tales tecnologías constituyen una transformación histórica de carácter sin precedentes. En la perspectiva analítica, por el contrario, existe una tendencia a ver las máquinas industriales como

simplemente herramientas más complejas, con diferentes tipos de máquinas que tal vez plantean problemas que requieren reflexión filosófica, sin necesidad de perseguir algún tipo de evaluación integral de las técnicas y la tecnología en su conjunto. En el cuadro 3 se presenta un resumen simplificado de ese espectro de funciones y cuestiones diferentes. Estas imágenes, simplemente como imágenes, no pueden evitar enfatizar las dimensiones físicas de la tecnología. Por el contrario, algunas imágenes llaman más atención que otras al dinamismo de los procesos tecnológicos. Otros podrían ser interpretados más fácilmente para extraer las dimensiones epistémicas de la tecnología y las formas en que está vinculada con la ciencia, o la medida en que la tecnología puede ocasionalmente ser apoyada y apoyar algunas aspiraciones (como los deseos de poder y control) sobre otras (como la conciencia contemplativa).

Además, un mapa conceptual de este tipo también podría utilizarse para visitar algunas de las diferentes formas en que la ética da forma a la ética, observando de nuevo que algunas imágenes tienden a ser más favorables o resistentes a una perspectiva que a otra. En un cultivo de automóviles es relativamente fácil hacer que los automóviles sean más seguros; en tal cultura es menos fácil hacer lugares para bicicletas y peatones.

Imágenes populares de la tecnología	Reflexión socio-crítica	Reflexión Histórico-cultural	Reflexión analítica
(1) Máquinas y fábricas industriales	Poder de clase dominante, opresión de la clase trabajadora	Revolución industrial	Proceso productivo, creatividad
(2) Compras, ropa, dinero	Distracción del potencial liberador	La cultura de consumo socava la creatividad	Cuestiones de justicia distributiva
(3) Edificios y puentes altos	Alienante vs posibilidades para humanizar la arquitectura	La urbanización sustituye a la comunidad por la sociedad	Puede ejemplificar la creatividad y la belleza técnica
(4) Barcos de vapor, trenes, coches y aviones	No debe limitarse a las clases ricas	Viajar con personas, alienados del lugar	Necesidad de promover la seguridad a través de la regulación
(5) Telégrafo, radio, teléfono, computadoras,	Crítico del control de la radiodifusión,	Medios técnicos mejorados sin contenido	Aumentar las cuestiones de privacidad e

internet	pero no de las redes distribuidas	mejorado	igualdad de acceso
(6) Películas, televisión, videojuegos y tecnologías médicas	Necesidad de una mayor participación democrática y el consentimiento del paciente	La cultura de masas es un declive cultural y una adicción al bienestar físico	Se están creando nuevas formas de arte y entretenimiento: posibilidades post-humanistas
(7) Explosiones, tanques y bombas	Causado por el control de la clase dominante y las ideologías erróneas	Revela destructividad inherente	Riesgos peligrosos que deben moderarse y restringirse

Tabla 3. Interacciones de ética y tecnología: imágenes e interpretaciones

En una cultura infundida con la fabricación tecnológica, el uso de ella y las ciencias de la ingeniería también hay fuertes presiones para dar comprensión ética y formas de análisis que reflejan o sean compatibles con tales fenómenos dominantes. La reflexión sobre la conformación interactiva de la ética y la tecnología no puede dejar de plantear preguntas sobre el grado en que la ética es realmente capaz de dar forma o influir en la tecnología. ¿Hasta qué punto la forma ética es meramente marginal o decorativa? ¿Hasta qué punto puede ser sustantivo? ¿O esas preguntas carecen de significado, en la medida en que se hace progresivamente difícil concebir que los seres humanos se separen de sus tecnologías? Tal vez la cuestión de si la ética influye o no en la tecnología es prácticamente análoga a las preguntas sobre si hay un mundo externo u otras mentes: Si uno comienza con la duda sobre la realidad del mundo externo u otras mentes, es difícil ver cómo se puede probar su existencia. El mundo externo y otras mentes, están estructuradas y presumidas por el mismo pensamiento que trataría de considerar su ausencia.

Sin embargo, dada la medida en que las imágenes pueden utilizarse selectivamente para promover argumentos para la tecnología de modelado ético o la tecnología que da forma a la ética —a múltiples niveles y de maneras multifacéticas— sólo se puede concluir que la interacción de la ética y la tecnología también debe establecer alianza con otros compromisos y argumentos filosóficos. Aunque en filosofía de la ética tecnológica puede haber recibido un orgullo cuantitativo de lugar, la búsqueda filosófica de la ética de la tecnología no puede finalmente sostenerse sin tener en cuenta cuestiones como, cómo definir la tecnología, la ontología de objetos tecnológicos, las estructuras

de la acción tecnológica y las dimensiones epistémicas de la tecnología. Al final, es necesario llevar la filosofía en su conjunto para ayudar a hacer juicios razonados sobre qué imágenes son más adecuadas que otras, y en qué medida algunos enfoques (o partes de ellos) para entender la ética y las interacciones tecnológicas podrían ser más adecuados que otros.

REFERENCIAS PARTE II

[Adams, 1987] M. M. Adams. William Ockham. University of Notre Dame Press, 1987.

[Achterhuis, 2001] H. Achterhuis, ed. American Philosophy of Technology: The Empirical Turn. R. Crease, trans. Bloomington, IN: Indiana University Press, 2001.

- [Ahteensuu, 2008] M. Ahteensuu. In *Dubio Pro Natura?* PhD thesis in philosophy, University of Turku 2008.
- [Akin, 1977] W. E. Akin. *Technocracy and the American Dream: The Technocrat Movement, 1900-1941*. Berkeley: University of California Press, 1977.
- [Akrich, 1992] M. Akrich. *The De-Description of Technical Objects*. In *Shaping Technology/ Building Society*, W.E.
- [Alexander, 1996] C. Alexander. *A City is not a Tree*. *Architectural Forum*, 122 (1), 1965 (reprinted in *The City Reader*, R.T. LeGates and F. Stout eds., pt. 2, pp. 118–131. Routledge, 1996.
- [Alexander, 1999] J. K. Alexander. *The Line Between Potential and Working Machines: Cesar Nicolas Leblanc and Patent Engravings, 1811-1835*. *History and Technology*, 15, 175-212,1999.
- [Alexander, 2006a] J. K. Alexander. *Efficiency and Pathology: Mechanical Discipline and Efficient Worker Seating in Germany, 1929-1932*. *Technology and Culture*, 47, 286-310, 2006.
- [Alexander, 2006b] J. K. Alexander. *An Efficiency of Scarcity: Using Food to Increase the Productivity of Soviet Prisoners of War in the Mines of the Third Reich*. *History and Technology*, 22, 391-406, 2006.
- [Alexander, 2008a] J. K. Alexander. *The Mantra of Efficiency: From Waterwheel to Social Control*. Johns Hopkins University Press, 2008.

- [Alexander, 2008b] J. K. Alexander. Efficiencies of Balance: Technical Efficiency, Popular Efficiency, and Arbitrary Standards in the Late Progressive Era U.S. Social Studies of Science, 38, 323–34, 2008.
- [Anders, 1961] G. Anders. Off Limits für das Gewissen. Reibek bei Hamburg: Rowohlt, 1961.
- [Anderson, 2000] J. Anderson. The “Third Generation” of the Frankfurt School. Intellectual History Newsletter 22 (2000). <http://www.phil.uu.nl/joel/research/publications/3rdGeneration.htm>.
- [Aris, 1999] R. Aris. Reflections on Keats’ equation. Chemical Engineering Science, 52 (15), 2447–2455, 1997 (reprinted in Aris, R. Mathematical Modeling: A Chemical Engineer’s Perspective, pp. 400–414. Academic Press, 1999).
- [Ayres et al., 1970] R. U. Ayres, J. W. Carlson, and S. W. Simon. Technology Assessment and Policy-Making in the United States. New York, 1970.
- [Ball et al., 1994] L. J. Ball, J. S. B. T. Evans and I. Dennis. Cognitive processes in engineering design: A longitudinal study. Ergonomics 37, 1753-86, 1994.
- [Ball, 2005] Ph. Ball. Elegant Solutions: Ten Beautiful Experiments in Chemistry. Royal Society of Chemistry, 2005.
- [Banham, 1960] R. Banham. Theory and Design in the First Machine Age. The Architectural Press, 1960.
- [Barber, 1984] B. R. Barber. Strong Democracy. Participatory Politics for a New Age. University of California Press, 1984.

- [Baron and Spranca, 1997] J. Baron and M. Spranca. Protected values. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 70, 1-16, 1997.
- [Bayles, 1989] M. D. Bayles. *Professional Ethics*. Belmont, CA: Wadsworth, 1989 (2nd edition).
- [Beardsley, 1984] C. W. Beardsley. The Hydrolevel Case — A Retrospective. *Mechanical Engineering*, June, 66, 1984.
- [Beattie et al., 1998] J. Beattie, J. Covey, P. Dolan, L. Hopkins, M. Jones-Lee, G. Loomes, N. Pidgeon, A. Robinson, and A. Spencer. On the Contingent Valuation of Safety and the Safety of Contingent Valuation: Part 1—Caveat Investigator. *Journal of Risk and Uncertainty* 17:5-25, 1998.
- [Beauchamp, 2001] T. Beauchamp. *Philosophical Ethics. An Introduction to Moral Philosophy*, McGraw Hill, 2001.
- [Beauchamp and Childress, 2001] T. L. Beauchamp and J. F. Childress. *Principles of Biomedical Ethics*. New York: Oxford University Press, 1979. (Fifth edition, 2001.)
- [Bechmann and Hronszky, 2003] G. Bechmann and I. Hronszky, eds. *Expertise and Its Interfaces*. Edition Sigma, 2003.
- [Beck, 1986] U. Beck. *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Suhrkamp, 1986.
- [Beck et al., 1996] U. Beck, A. Giddens, and S. Lash, eds. *Reflexive Modernisierung. Eine Kontroverse*. Frankfurt, 1996.

[Beecher, 1966] H. K. Beecher. Ethics and Clinical Research. *New England Journal of Medicine*, vol. 274, no. 24 (June 16), pp. 1354-1360, 1966.

[Benjamin, 1936] W. Benjamin. Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit (The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction). *Zeitschrift für Sozialforschung*, 1936.

[Bijker et al., 1987] W. E. Bijker, T. P. Hughes, and T. J. Pinch, eds. *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technological Systems*. Cambridge (Mass.), 1987.

Bijker and J. Law, eds., pp. 205-224. MIT Press, 1992.

[Bijker and Law, 1992] W. Bijker and J. Law, eds. *Shaping Technology/ Building Society: Studies in Sociotechnical Change*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

[Bijker and Law, 1994] W. E. Bijker and J. Law, eds. *Shaping Technology/Building Society*. Cambridge (Mass.), 1994.

[Bijker, 1995] W. E. Bijker. *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs. Toward a Theory of Sociotechnical Change*. MIT Press, 1995.

[Billington, 1979] D. P. Billington. *Robert Maillart's Bridges: The Art of Engineering*. Princeton University Press, 1979.

[Billington, 1983] D. P. Billington. *The Tower and the Bridge: The New Art of Structural Engineering*. Basic Books, 1983.

- [Bimber, 1996] B. A. Bimber. *The Politics of Expertise in Congress: The Rise and fall of the Office of Technology Assessment*. State University of New York Press, 1996.
- [Bishop and Phillips, 2004] K. Bishop and A. Phillips, eds. *Countryside Planning: New Approaches to Management and Conservation*. Earthscan, 2004.
- [Brady, 1933] R. A. Brady. *The Rationalization Movement in German Industry: A Study in the Evolution of Economic Planning*. University of California Press, 1933.
- [Broome, 1997] J. Broome. Is incommensurability vagueness? In *Incommensurability, Incomparability and Practical Reason*, R. Chang ed. pp. 67-89, Harvard University Press, 1997.
- [Broome, 2000] J. Broome. Normative requirements. *Ratio* 12, 398-419, 1999, repr. in *Normativity*, J. Dancy, ed., pp. 78-99. Basil Blackwell, 2000.
- [Broome, 2005] J. Broome. Does rationality give us reasons? *Philosophical Issues* 15, 321-337, 2005.
- [Bollinger et al., 1996] R. E. Bollinger, D.G. Clark, A.M. Dowell III, R.M. Ewbank, D.C. Hendershot, W.K. Lutz, S.I. Meszaros, D.E. Park, and E.D. Wixom. *Inherently Safer Chemical Processes – A Life Cycle Approach*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1996.
- [Bondi, 1985] H. Bondi. Risk in perspective. In *Risk*, M.G. Cooper, ed., pp. 8-17, 1985.
- [Borgmann, 1984] A. Borgmann. *Technology and the Character of Contemporary Life*. Chicago: University of Chicago Press, 1984.
- [Borgmann, 1999] A. Borgmann. *Holding onto Reality: The Nature of Information at the Turn of the Millennium*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

- [Bostrom, 2005] N. Bostrom. In Defense of Posthuman Dignity. *Bioethics* 19, 202-214, 2005.
- [Briggle, 2005] A. Briggle. Visions of Nantucket: The Aesthetics and Policy of Wind Power. *Environmental Philosophy*, vol. 2, no. 1, pp. 54-67, 2005.
- [Briggle, 2008] A. Briggle. Real Friends: How the Internet can Foster Friendship. *Ethics and Information Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 71-79, 2008.
- [Brinkmann et al., 2006] G. Brinkmann, J. Pirson, S. Ehster, M.T. Dominguez, L. Mansani, I. Coe, R. Moormann, and W. Van der Mheen. Important viewpoints proposed for a safety approach of HTGR reactors in Europe. Final results of the EC-funded HTR-L project. *Nuclear Engineering and Design* 236:463-474, 2006.
- [Brummett, 1999] B. Brummett. *Rhetoric of Machine Aesthetics*. Praeger, 1999.
- [Brumsen, 2003] M. Brumsen. Gebruiksplannen en Verantwoordelijkheid. In *Handelingsontwerpers. Een Wijsgerige Visie op Ingenieurswerk*, M. Scheele and P. Vermaas, eds., pp. 111-120. Damon, 2003.
- [Bucciarelli, 1994] L. L. Bucciarelli. *Designing Engineers*. MIT Press, 1994.
- [Burgess et al., 1988] J. Burgess, C.M. Harrison, and M. Limb. People, Parks and the Urban Green: A Study of Popular Meanings and Values for Open Spaces in the City. *Urban Studies*, 25, 455-473, 1988.
- [Bütschi et al., 2004] D. Bütschi, R. Carius, M. Decker, S. Gram, A. Grunwald, P. Machleidt, S. Steyaert, and R. van Est. The Practice of TA; Science, Interaction, and Communication. In *Bridges between Science, Society and Policy. Technology Assessment – Methods and Impacts*, M. Decker and M. Ladikas, eds., pp. 12-55, Springer, 2004.

- [Byron, 1998] M. Byron. Satisficing and optimality. *Ethics* 109, 67-93, 1998.
- [Callahan, 2003] D. Callahan. *What Price Better Health? Hazards of the Research Imperative*. Berkeley: University of California Press, 2003.
- [Camhis, 1979] M. Camhis. *Planning Theory and Philosophy*. London, 1979.
- [Coates, 1985] J. F. Coates. Foresight in Federal Government Policy Making, *Futures Research Quarterly* 1, pp. 13-18, 1985.
- [Collingridge, 1980] D. Collingridge. *The Social Control of Technology*. New York, 1980.
- [Cardwell, 1995] D. S. L. Cardwell. *Norton History of Technology*. W.W. Norton & Co., 1995.
- [Cardwell, 1971] D. S. L. Cardwell. *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*. Cornell University Press, 1971.
- [Cardwell, 1993-94] D. S. L. Cardwell. Steam Engine Theory in the 19th Century: From Duty to Thermal Efficiency, from Parkes to Sankey. *Transactions of the Newcomen Society*, 65, 117-28, 1993-94.
- [Carlson, 1995] E. Carlson. *Consequentialism Reconsidered*. Kluwer, 1995.
- [Carr, 2008] N. Carr. Is Google making us Stupid? *Atlantic Monthly* (July/August), no. 21, pp. 75-80, 2008.

- [Carnot, 1960] S. Carnot. Reflections on the Motive Force of Fire and Other Papers. Dover, 1960.
- [Certeau, 1980] M. de Certeau. L'Invention du quotidien, 2 vols. Vol.1, Arts de faire; vol. 2, Habiter, cuisiner. Paris: Union g'enerale d'editions, 1980
- [Chang, 1997] R. Chang, ed. Incommensurability, Incomparability, and Practical Reasoning. Harvard University Press, 1997.
- [Channell, 1989] D. F. Channell. The History of Engineering: An Annotated Bibliography. Garland, 1989.
- [Channell, 1982] D. F. Channell. The Harmony of Theory and Practice: The Engineering Science of W. J. M. Rankine. Technology and Culture 23, 39-52, 1982.
- [Chemical Abstract Service, 2007] Chemical Abstract Service (CAS). Statistical Summary, 1907-2006. Chemical Abstract Service, 2007.
- [Clausius, 1867] R. Clausius. "On a Modified Form of the Second Fundamental Theorem in the Mechanical Theory of Heat," trans. John Tyndall, in Clausius, T. Archer Hirst, ed., The Mechanical Theory of Heat, with its Applications to the Steam-Engine and to the Physical Properties of Bodies. John van Voorst, 1867.
- [Christensen-Szalanski and Bushyhead, 1981] J. J. J. Christensen-Szalanski and J.B. Bushyhead. Physicians' use of probabilistic information in a real clinical setting. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance 7:928-935, 1981.
- [Clausen et al., 2006] J. Clausen, S.O. Hansson, and F. Nilsson. Generalizing the Safety Factor Approach. Reliability Engineering and System Safety 91:964-973, 2006.

- [Coeckelbergh, 2006] M. Coeckelbergh. Regulation or Responsibility? Autonomy, Moral Imagination, and Engineering. *Science, Technology & Human Values*, 31 (3), pp. 237-260, 2006.
- [Cohen, 1985] B. L. Cohen. Criteria for Technology Acceptability, *Risk Analysis* 5:1-3, 1985.
- [Collingridge, 1980] D. Collingridge. *The Social Control of Technology*. New York: Palgrave Macmillan, 1980.
- [Copp, 1987] D. Copp. The Justice and Rationale of Cost-Benefit Analysis. *Theory and Decision* 23:65-87, 1987.
- [Cooper, 1992] D. Cooper, ed. *A Companion to Aesthetics*. Blackwell, 1992.
- [Copleston, 1950-] F. C. Copleston. *A History of Philosophy*. Newman Press, 1950-.
- [Christian, 1825] G.-J. Christian. *Traite de mecanique industrielle*, Bacherlier, 1825.
- [Cross, 1989] N. Cross. *Engineering Design Methods*. John Wiley & Sons, 1989.
- [Coombs v. Beede, 1896] *Coombs v. Beede*, 89 Me. 187, 188, 36 A. 104, 1896.
- [Curtin, 1982] D. Curtin, ed. *The Aesthetic Dimension of Science*. Philosophical Library, 1982.
- [Dahl, 1985] R. Dahl. *On Democracy*. New Haven, CT: Yale University Press, 1985.

- [Dancy, 1993] J. Dancy. *Moral Reasons*. Blackwell Publishers, 1993.
- [Dancy, 2000a] J. Dancy. *Practical Reality*. Oxford University Press, 2000.
- [Dancy, 2000b] J. Dancy. Should we pass the buck? In *The Good, the True and the Beautiful*, A. O'Hear, ed., pp. 159-173. Cambridge University Press, 2000.
- [Dancy, 2005] J. Dancy. 'Non-naturalism', in *The Oxford Handbook of Ethical Theory*, D. Copp, ed., pp. 122-145. Oxford University Press, 2005.
- [Dancy, 2006] J. Dancy. The thing to use. *Studies in History and Philosophy of Science* 37, 58-61, 2006.
- [Daniels, 1979] N. Daniels. Wide reflective equilibrium and theory acceptance in ethics. *Journal of Philosophy* 76, 256-82, 1979.
- [Daniels, 1996] N. Daniels. *Justice and Justification. Reflective Equilibrium in Theory and Practice*. Cambridge University Press, 1996.
- [Davis, 1998] M. Davis. *Thinking Like an Engineer: Studies in the Ethics of a Profession*. New York: Oxford University Press, 1998.
- [Davis, 1991] M. Davis. Thinking Like an Engineer: The Place of a Code of Ethics in the Practice of a Profession. *Philosophy and Public Affairs*, 2, 150-167, 1991.
- [Davis, 2002] M. Davis. *Profession, Code and Ethics*. Burlington, VT: Ashgate, 2002.

- [de Meijere, 1982] A. de Meijere. Sport, Spiel, Spannung — die Chemie kleiner Ringe. *Chemie in unserer Zeit*, 16, 13–22, 1982.
- [Dewey, 1930] J. Dewey. Individualism Old and New. NewYork: G.P. Putnam's. in John Dewey, *The Later Works, 1925-1953*, vol. 5: 1929-1930 (Carbondale, IL: Southern Illinois University Press, 1984), pp. 41-123, 1930.
- [Didier, 1999] C. Didier. Engineering Ethics in France: A Historical Perspective. *Technology in Society*, vol. 21, no. 4 (November), pp. 471-486, 1999.
- [Downey and Lucena, 1995] G. L. Downey and J. C. Lucena. Engineering Cultures. In Sheila Jasanoff, G.E. Markle, J.C. Petersen and T. Pinch, eds., *Handbook of Science and Technology Studies* (Thousand Oaks, CA: Sage), pp. 167-188, 1995.
- [Downey et al., 2007] G. L. Downey, J. C. Lucena, and C. Mitcham. Engineering Ethics and Identity: Emerging Initiatives in Comparative Perspective. *Science and Engineering Ethics*, vol. 13, no. 4 (December), pp. 463-487, 2007.
- [Dipert, 1993] R. R. Dipert. *Artifacts, Art Works, and Agency*. Temple University Press, 1993.
- [Dirac, 1963] P. Dirac. The evolution of the Physicist's Picture of Nature. *Scientific American*, 208 (May), 45–53, 1963.
- [Ditlevsen, 1994] O. Ditlevsen. Distribution arbitrariness in structural reliability. In *Proc. Of ICOSSAR'93: Structural Safety & Reliability*. G. Schuëller, M. Shinozuka, and J. Yao, eds., pp. 1241-1247, 1994.
- [Decker and Ladikas, 2004] M. Decker and M. Ladikas, eds. *Bridges between Science, Society and Policy. Technology Assessment – Methods and Impact*. Springer, 2004.
- [Decker and Grunwald, 2001] M. Decker and A. Grunwald. Rational Technology Assessment as Interdisciplinary Research. In *Implementation and Limits of*

Interdisciplinarity in European Technology Assessment, M. Decker, ed, Springer, 2001.

[Dierkes et al., 1992] M. Dierkes, U. Hoffmann, and L. Marz. Leitbild und Technik. Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen, Campus, 1992.

[Ducheyne, 2005] S. Ducheyne. Joan Baptista Van Helmont and the Question of Experimental Modernism. *Physis*, 2, 305-332, 2005.

[Duncan, 2000] J. M. Duncan. Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 126:307-316, 2000.

[Durbin, 1993] P. T. Durbin. *Social Responsibility in Science, Technology, and Medicine*. Bethlehem, PA: Lehigh University Press, 1993.

[Eades and Zhang, 1996] P. Eades and K. Zhang, eds. *Software Visualization*. World Scientific, 1996.

[Ellul, 1964] J. Ellul. *La Technique, ou l'enjeu du siècle*. Paris: Colin, 1954. English version: *The Technological Society*, trans. John Wilkinson (New York: Knopf, 1964).

[Eco, 1962] U. Eco. *Opera aperta*, Bompiani 1962 (English trans. as *The Open Work*. Hutchinson, 1989).

[Escobar, 1995] A. Escobar. *Encountering Development: The Making and Unmaking of the Third World*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1995.

[Farmelo, 2002] G. Farmelo, ed. *It Must Be Beautiful*. Granta Books, 2002.

[Feenberg, 1995] A. Feenberg. *Alternative Modernity: The Technical Turn in Philosophy and Social Theory*. Berkeley: University of California Press, 1995.

[Feenberg, 1999] A. Feenberg. *Questioning Technology*. Routledge, 1999.

[Feenberg, 2000] A. Feenberg. *From Essentialism to Constructivism: Philosophy of Technology at the Crossroads*. In *Technology and the Good Life?* Eric Higgs, Andrew Light, and David Strong, eds., pp. 294-315, Chicago: University of Chicago Press, 2000.

[Feenberg, 2002] A. Feenberg. *Transforming Technology: A Critical Theory Revisited*. Oxford University Press, 2002.

[Ferguson, 1992] E. S. Ferguson. *Engineering and the Mind's Eye*. MIT Press, 1992.

[Ferré, 1995] F. Ferré. *Philosophy of Technology*. The University of Georgia Press, 1995.

[Fisher, 1990] F. Fisher. *Technocracy and the Politics of Expertise*. Newbury Park, London, 1990.

[Fisher et al., 2006] E. Fisher, R. L. Mahajan, . and C. Mitcham. *Midstream Modulation of Technology: Governance from Within*. *Bulletin of Science, Technology, and Society*, vol. 26, no. 6 (December), pp. 485-496, 2006.

[Fischhoff et al., 1981] B. Fischhoff, S. Lichtenstein, P. Slovic, S.L. Derby, and R.L. Keeney. *Acceptable Risk*. Cambridge University Press, 1981.

[Fishwick, 2002] P. Fishwick. *Aesthetic programming: Crafting personalized software*. *Leonardo*, 35 (4), 383–390, 2002.

[Fishwick, 2003] P. Fishwick. Aesthetic computing manifesto. *Leonardo*, 36 (4), 255–256, 2003.

[Fishwick, 2006] P. Fishwick, ed. *Aesthetic Computing*. MIT Press, 2006.

[Florman, 1987] S. C. Florman. *The Civilized Engineer*. St. Martin's Press, 1987.

[Fogel, 1989] R. W. Fogel. *Without Consent or Contract: The Rise and Fall of American Slavery*. W. W. Norton & Company, 1989.

[Fogel, 2002] R. W. Fogel. *The Slavery Debates, a Retrospective 1952-1990*. Louisiana State University Press, 2002.

[Fogel and Engerman, 1974] R. W. Fogel and S. L. Engerman. *Time on the Cross: The Economics of American Negro Slavery*. W. W. Norton & Company, 1974.

[Foucault, 1988] M. Foucault. *Technologies of the Self: A Seminar with Michel Foucault*. L. Martin, H. Gutman, and P. Hutton, eds., Amherst, MA: University of Massachusetts Press, 1988.

[Frampton, 1985] K. Frampton. *Modern Architecture: A Critical History*, 2nd edition. Thames and Hudson, 1985.

[Frankena, 1973] W. K. Frankena. *Ethics*. Prentice Hall, 1973.

[Franssen, 2005] M. Franssen. Arrow's theorem, multi-criteria decision problems and multi attribute preferences in engineering design. *Research in Engineering Design* 16, 42-56, 2005.

- [Franssen, 2006] M. Franssen. The normativity of artefacts. *Studies in History and Philosophy of Science* 37, 42-57, 2006.
- [Franssen, 2008] M. Franssen. Design, use, and the physical and intentional aspects of technical artifacts. In *Philosophy and Design: From Engineering to Architecture*, P.E. Vermaas, P. Kroes, A. Light and S.A. Moore, eds., pp. 21-35. Springer, 2008.
- [Franssen, 2009] M. Franssen. The inherent normativity of functions in biology and technology. In *Functions in Biological and Artificial Worlds: Comparative Philosophical Perspectives*, U. Krohs and P. Kroes, eds., pp. 103-125. MIT Press, 2009.
- [Freemantle, 2003] M. Freemantle. Chemistry at its most beautiful. *Chemical and Engineering News*, 81(34), 27-30, 2003.
- [Friedman, 1996] B. Friedman. Value-sensitive design. *Interactions* 17-23, 1996.
- [Friedman and Kahn, 2003] B. Friedman and P. H. J. Kahn. Human values, ethics and design. In *Handbook of Human-Computer Interaction*, J. Jacko and A. Sears eds., pp. 1177-201, Lawrence Erlbaum Associates, 2003.
- [Friedman et al., 2006] B. Friedman, P. H. J. Kahn and A. Borning. Value sensitive design and information systems. In *Human-Computer Interaction in Management Information Systems: Foundations*, P. Zhang and D. Galletta eds., pp. 348-72, M.E, Sharpe, 2006.
- [Fordeman and Mitcham, 2004] R. Fordeman and C. Mitcham, eds. *Toward a Philosophy of Science Policy: Approaches and Issues*. Theme issue, *Philosophy Today*, vol. 48, no. 5 (supplement), 2004.

- [Foucault, 1982] M. Foucault. The Subject and Power. In Michel Foucault: Beyond Structuralism and Hermeneutics, H.L. Dreyfus and P. Rabinow, pp. 208-226. University of Chicago Press, 1982.
- [Funkenstein, 1986] A. Funkenstein. Theology and the Scientific Imagination from the Middle Ages to the Seventeenth Century. Princeton University Press, 1986.
- [FOREN, 2001] FOREN. A Practical Guide to Regional Foresight. Institute for Prospective Technology Studies, Sevilla, 2001.
- [Funtowitz and Ravetz, 1993] S. Funtowitz and J. Ravetz. The Emergence of Post-Normal Science. In Science, Politics and Morality, R. von Schomberg, ed, London, 1993.
- [Grahn, 1981] W. Grahn. Platonische Kohlenwasserstoffe. Chemie in unserer Zeit, 15, 52-61, 1981.
- [Gartman, 1994] D. Gartman. Auto-Opium: A Social History of American Automobile Design. Routledge, 1994.
- [Gee and Greenberg, 2002] D. Gee and M. Greenberg. Asbestos: from 'magic' to malevolent mineral. In The Precautionary Principle in the 20th century. Late Lessons from early warnings, P. Harremoes, D. Gee, M. MacGarvin, A. Stirling, J. Keys, B. Wynne, S. Guedes Vaz, eds, pp. 49-63, Sage, 2002.
- [Gethmann and Mittelstras, 1992] C. F. Gethmann and J. Mittelstras. Umweltstandards. Gaia, 1, pp. 16-25, 1992.
- [Gelernter, 1995] M. Gelernter. Sources of Architectural Form: A Critical History of Western Design Theory. Manchester University Press, 1995.

[Gelernter, 1998a] D. Gelernter. *Machine Beauty: Elegance and the Heart of Technology*. Basic Books, 1998.

[Gelernter, 1998b] D. Gelernter. *Aesthetics of Computing*. Phoenix House, 1998.

[Gert, 2004] J. Gert. *Brute Rationality*. Cambridge University Press, 2004.

[Gert, 2004] B. Gert. *Common Morality: Deciding What to Do*. Oxford University Press, 2004.

[Giedion, 1941] S. Giedion. *Space, Time and Architecture: The Growth of a New Tradition*. Harvard University Press, 1941.

[Gibbs, 2006] R. W. Gibbs Jr. *Embodiment and Cognitive Science*. Cambridge University Press, 2006.

[Gibbons et al., 1994] M. Gibbons, C. Limoges, H. Nowotny, S. Schwartzmann, P. Scott, and M. Trow. *The New Production of Knowledge*. Sage, 1994.

[Gilson, 1961] E. Gilson. *Saint Thomas Aquinas and Philosophy*. Saint Joseph College, 1961.

[Gingras, 1995] Y. Gingras. *Following Scientists through Society? Yes, but at Arm's Length!* In *Scientific Practice. Theories and Stories of Doing Physics*, J.Z. Buchwald, ed., pp. 123-148. University of Chicago Press, 1995.

[Goodman, 1985] N. Goodman. *How Buildings Mean*. *Critical Inquiry*, 11, 642–653, June 1985.

- [Godman and Hansson, 2009] M. Godman and S.O. Hansson. European Public Advice on Nanobiotechnology – Four Convergence Seminars. *Nanoethics*, 2009.
- [Goldman, 1992] S. L. Goldman. No Innovation without Representation: Technological Action in a Democratic Society. In Stephen H. Cutcliffe et al., eds., *New Worlds New Technologies, New Issues* (Bentham, PA: Lehigh University Press), pp. 148-190, 1992.
- [Grant, 1977] E. Grant. *Physical Science in the Middle Ages*. Cambridge University Press, 1977.
- [Grin, 2000] J. Grin. Shaping 21st century society through vision assessment? Technology assessment to support judgement. In *Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society. Towards a Repertoire for Technology Assessment*, J. Grin and A. Grunwald, eds, pp. 9–30, Springer, 2000.
- [Grin and Grunwald, 2000] J. Grin and A. Grunwald, eds. *Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society. Towards a Repertoire for Technology Assessment*. Springer, 2000.
- [Grin et al., 1997] J. Grin, H. van de Graaf, and R. Hoppe. *Technology Assessment through Interaction*. Rathenau Institute, 1997.
- [Grundahl, 1995] J. Grundahl. The Danish Consensus Conference Model. In *Public Participation in Science*. S. Joss, J. Durant, eds., pp. 31-40, Chippenham 1995.
- [Grunwald, 1999] A. Grunwald. Technology Assessment or Ethics of Technology? Reflections on Technology Development between Social Sciences and Philosophy. *Ethical Perspectives*, 6, pp. 170–182, 1999.
- [Grunwald, 2000] A. Grunwald. Against Over-Estimating the Role of Ethics in Technology. *Science and Engineering Ethics*, 6, pp. 181–196, 2000.

- [Grunwald, 2002] A. Grunwald. Philosophy and the Concept of Technology. On the Anthropological Significance of Technology. In On Human Nature. Anthropological, Philosophical and Biological Foundations, A. Grunwald, M. Gutmann, E. Neumann-Held, eds., pp. 173–188, Springer, 2002.
- [Grunwald, 2003] A. Grunwald. Methodical Reconstruction of Ethical Advises. In Expertise and Its Interfaces, G. Bechmann and I. Hronszky, eds., pp. 103-124, edition sigma, 2003.
- [Grunwald, 2004a] A. Grunwald. Strategic knowledge for sustainable development: the need for reflexivity and learning at the interface between science and society. International Journal of Foresight and Innovation Policy, 1, pp. 150-167, 2004a.
- [Grunwald, 2004b] A. Grunwald. Participation as a means of enhancing the legitimacy of decisions on technology? A sceptical analysis. Poiesis & Praxis, 3, pp. 106-122, 2004b.
- [Grunwald, 2005] A. Grunwald. Zur Rolle von Akzeptanz und Akzeptabilität von Technik bei der Bewältigung von Technikkonflikten. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, 14, pp. 54-60, 2005.
- [Grunwald, 2006a] A. Grunwald. Nanotechnologie als Chiffre der Zukunft. In Nanotechnologien im Kontext, A. Nordmann, J. Schummer, A. Schwarz, eds., pp. 49-80, Akademische Verlagsgesellschaft 2006.
- [Grunwald, 2006b] A. Grunwald. Scientific independence as a constitutive part of parliamentary technology assessment. Science and Public Policy, 33, pp. 103-113, 2006.
- [Grunwald, 2007a] A. Grunwald. Converging Technologies: visions, increased contingencies of the condition humana, and search for orientation. Futures, 39, pp. 380-392, 2007.
- [Grunwald, 2007b] A. Grunwald. Working Towards Sustainable Development in the Face of Uncertainty and Incomplete Knowledge. Journal of Environmental Policy & Planning Volume 9, Issue 3, p. 245–263, 2007.

- [Grunwald and Kopfmüller, 2006] A. Grunwald and J. Kopfmüller. Nachhaltigkeit. Campus, 2006.
- [van Gunsteren, 1976] H. R. van Gunsteren. The Quest for Control: A Critique of the Rational- Central-Rule Approach in Public Affairs. London, 1976.
- [Guston and Sarewitz, 2002] D. H. Guston and D. Sarewitz. Real-Time Technology Assessment. *Technology & Culture* 24, pp. 93-109, 2002.
- [Grunwald, 2001] A. Grunwald. The Application of Ethics to Engineering and the Engineer's Moral Responsibility. *Science and Engineering Ethics*, 7, (3), pp. 415-428, 2001.
- [Haber, 1964] S. Haber. Efficiency and Uplift: Scientific Management in the Progressive Era, 1890-1920. University of Chicago Press, 1964.
- [Habermas, 1971] J. Habermas. Technology and Science as 'Ideology'. In *Toward a Rational Society*, J. Habermas, pp. 81-127. Heinemann, 1971.
- [Habermas, 1984] J. Habermas. *The Theory of Communicative Action, Vol I. Reason and the Rationalization of Society*. Harvard University Press, 1984.
- [Habermas, 1988a] J. Habermas. *Nachmetaphysisches Denken*. Suhrkamp, 1988a.
- [Habermas, 1988b] J. Habermas. *Theorie des kommunikativen Handelns*. Suhrkamp, 1988b.
- [Habermas, 2001] J. Habermas. *Die Zukunft der Natur des Menschen*. Suhrkamp, 2001.
- [Habermas, 1989] J. Habermas. *The Structural Transformation of the Public Sphere: An Inquiry into a Category of Bourgeois Society*. MIT Press, 1989.

- [Haldane, 1924] J. B. S. Haldane. *Daedalus, or, Science and the Future*. London: Kegan Paul, 1924.
- [Hansson, 1993] S. O. Hansson. The false promises of risk analysis. *Ratio* 6:16-26, 1993.
- [Hansson, 1999] S. O. Hansson. The Moral Significance of Indetectable Effects. *Risk* 10:101-108, 1999.
- [Hansson, 2002] S. O. Hansson. Uncertainties in the knowledge society. *Social Science Journal* 171:39-46, 2002.
- [Hansson, 2003] S. O. Hansson. Ethical criteria of risk acceptance. *Erkenntnis* 59:291-309, 2003.
- [Hansson, 2004] S. O. Hansson. Weighing Risks and Benefits. *Topoi* 23:145-152, 2004.
- [Hansson, 2006] S. Hansson. Category-specified value statements. *Synthese* 148, 425-432, 2006.
- [Hansson, 2006a] S. O. Hansson. Economic (ir)rationality in risk analysis. *Economics and Philosophy*, 22:231-241, 2006.
- [Hansson, 2006b] S. O. Hansson. Uncertainty and the Ethics of Clinical Trials. *Theoretical Medicine and Bioethics* 27: 149-167, 2006.
- [Hansson, 2007] S. O. Hansson. Hypothetical retrospection. *Ethical Theory and Moral Practice* 10:145-157, 2007.
- [Hansson, 2008] S. O. Hansson. *From the Casino to the Jungle*. *Synthese*, in press, 2008.
- [Haraway, 1985] D. Haraway. A Manifesto for Cyborgs: Science, Technology, and Socialist Feminism in the 1980s. *Socialist Review*, vol. 15, no. 2, pp. 65-108, 1985.
- [Hare, 1973] R. M. Hare. Rawls's Theory of Justice. *American Philosophical Quarterly* 23:144- 155 and 241-252, 1973.

- [Haraway, 1985] D. Haraway. A Manifesto for Cyborgs: Science, Technology, and Socialist Feminism in the 1980s. *Socialist Review*, vol. 15, no. 2, pp. 65-108, 1985.
- [Hargittai, 2000] I. Hargittai. *Candid Science: Conversations with Famous Chemists*. Imperial College Press, 2000.
- [Harris et al., 2009] C. E. Harris, M. S. Pritchard, and M. Rabins, eds. *Engineering Ethics: Concepts and Cases*. Belmont, CA: Wadsworth, 2009 (4th ed.).
- [Harremoes et al., 2002] P. Harremoes, D. Gee, M. MacGarvin, A. Stirling, J. Keys, B. Wynne, and S. Guedes Vaz, eds. *The Precautionary Principle in the 20th century. Late Lessons from early warnings*. Sage, 2002.
- [Harsanyi, 1975] J. C. Harsanyi. Can the maximin principle serve as a basis for morality – Critique of Rawls, J theory. *American Political Science Review* 69(2): 594-606, 1975.
- [Haug, 1986] W. F. Haug. *Kritik der Warenästhetik*. Suhrkamp, 1971 (Engl. trans. as *Critique of commodity aesthetics*. Polity Press, 1986).
- [Hayek, 1967] F. A. Hayek. The Results of Human Action but not of Human Design. in F.A. Hayek, *Studies in Philosophy, Politics and Economics* (Chicago: University of Chicago Press), pp. 96-105, 1967.
- [Hays, 1959] S. P. Hays. *Conservation and the Gospel of Efficiency: The Progressive Conservation Movement, 1890-1920*. Harvard University Press, 1959.
- [Hearn, 2003] F. Hearn. *Ideas That Shaped Buildings*. MIT Press, 2003.

- [Heidegger, 1954] M. Heidegger. Die Frage nach der Technik, in Vorträge und Aufsätze (Pfullingen: Neske). English version: The Question Concerning Technology, in The Question concerning Technology and Other Essays, W. Lovitt, trans. (New York: Harper and Row, 1954).
- [Heisenberg, 1975] W. Heisenberg. The Meaning of Beauty in the Exact Sciences. In Across the Frontiers, W. Heisenberg, trans. P. Heath, pp. 166–83. Harper & Row, 1975.
- [Heinzerling, 2000] L. Heinzerling. The rights of statistical people. Harvard Environmental Law Review 24: 189-207, 2000.
- [Heinzerling, 2002] L. Heinzerling. Markets for Arsenic. Georgetown Law Journal 90:2311-2339, 2002.
- [Henwood et al., 2001] F. Henwood, S. Wyatt, N. Miller, and P. Senker. Critical Perspectives on Technology, In/Equalities and the Information Society. In Technology and In/Equality, S. Wyatt, F. Henwood, N. Miller and P. Senker, eds., pp. 1-18. Routledge, 2001.
- [Hickman, 1990] L. A. Hickman. John Dewey's Pragmatic Technology. Bloomington, IN: Indiana University Press, 1990.
- [Hoerl and Fallin, 1974] A. E. Hoerl. and H. K. Fallin. Reliability of Subjective Evaluations in a High Incentive Situation. Journal of the Royal Statistical Society 137, Part 2, 227-230, 1974.
- [Hoffmann, 1990] R. Hoffmann. Molecular Beauty. The Journal of Aesthetics and Art Criticism, 48, 191–204, 1990.

- [Horkheimer and Adorno, 2002] M. Horkheimer and T. W. Adorno. Dialectic of Enlightenment: Philosophical Fragments. Stanford University Press, 2002.
- [Houkes et al., 2002] W. Houkes, P. E. Vermaas, C. H. Dorst, and M. J. de Vries. Design and use as plans: an action-theoretic account. *Design Studies* 23, 303-320, 2002.
- [Houkes and Vermaas, 2003] W. Houkes and P. Vermaas. Gebruiksplannen. In *Handelingsontwerpers. Een Wijsgerige Visie op Ingenieurswerk*, M. Scheele and P. Vermaas, eds., pp. 29-43. Damon, 2003.
- [Houkes and Vermaas, 2004] W. Houkes and P. Vermaas. Actions Versus Functions: A Plea for an Alternative Metaphysics of Artifacts. *The Monist*, 87(1), 52-71, 2004.
- [Houkes, 2006] W. Houkes. Knowledge of artefact functions. *Studies in History and Philosophy of Science* 37, 102-113, 2006.
- [Hsieh, 2007] N.-h. Hsieh. Incommensurable values. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (fall 2007 edition), E. N. Zalta ed. <http://plato.stanford.edu/archives/fall2007/entries/valueincommensurable/>, 2007.
- [Hunter, 1977] T. A. Hunter. Designing to Codes and Standards. *ASM Handbook*. G.E. Dieter and S. Lampman eds., pp. 66-71, 1977.
- [Hynes and Vanmarcke, 1976] M. Hynes and E. Vanmarcke, Reliability of embankment performance predictions. *Proceedings of the ASCE Engineering Mechanics Division, Specialty Conference, Waterloo, Ontario, Canada*, University of Waterloo Press, 1976.

[Ihde, 1986] D. Ihde. *Consequences of Phenomenology*. State University of New York Press, 1986.

[Ihde, 1993] D. Ihde. *The Philosophy of Technology: An Introduction*. Paragon House, 1993.

[Illich, 1973] I. Illich. *Tools for Conviviality*. New York: Harper and Row, 1973.

[Illich, 1993] I. Illich. *In the Vineyard of the Text: A Commentary to Hugh's Didascalicon*. Chicago: University of Chicago Press, 1993.

[Illich, 2005] I. Illich. *The Rivers North of the Future: The Testament of Ivan Illich*. D. Cayley, ed. Toronto: House of Anansi Press, 2005.

[International Organization for Standardization, 2002] International Organization for Standardization. *Risk Management – Vocabulary – Guidelines for use in standards, ISO/IEC Guide 73:2002*, 2002.

[Jacobs, 1964] J. Jacobs. *The Death and Life of Great American Cities*. Penguin, 1964.

[Jakobs, 2006] S. Jakobs. "Selbst wenn ich Schiller sein k"onnte, w"are ich lieber Einstein": Naturwissenschaftler und ihre Wahrnehmung der "zwei Kulturen". Campus, 2006.

[Jasanoff, 1995] S. Jasanoff. *Science at the Bar: Law, Science, and Technology in America*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1995.

[Jencks, 1977] C. Jencks. *The Language of Post-Modern Architecture*. Academy Editions, 1977.

- [Jencks, 1980] C. Jencks. Late-Modern Architecture and Other Essays. Academy Editions, 1980.
- [Jencks, 2002] C. Jencks. The New Paradigm in Architecture: The Language of Post-Modernism. Yale University Press, 2002.
- [Joerges, 1999a] B. Joerges. Do Politics Have Artefacts? *Social Studies of Science*, 29, 411-431, 1999.
- [Joerges, 1999b] B. Joerges. Scams Cannot Be Busted, *Social Studies of Science*, 29, 450-457, 1999.
- [Jonas, 1984] H. Jonas. Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation. Suhrkamp, 1979. English: The Imperative of Responsibility, 1984.
- [Joss and Belucci, 2002] S. Joss and S. Belucci, eds. Participatory Technology Assessment – European Perspectives. Westminster University Press, 2002.
- [Joss and Durant, 1995] S. Joss and J. Durant, eds. Public Participation in Science. Chippenham, 1995.
- [Kardon, 1999] J. B. Kardon. The Structural Engineer's Standard of Care. Presented at the OEC International Conference on Ethics in Engineering and Computer Science, 1999. This article is available at onlineethics.org.
- [Kaiser, 1997] C. B. Kaiser. Creational Theology and the History of Physical Science: The Creationist Tradition from Basil to Bohr. Brill, 1997.
- [Karlsson and Djabri, 2001] P. Karlsson and F. Djabri. Analogue styled user interfaces: An exemplified set of principles intended to improve aesthetic qualities in use. Proceedings of Mobile HCI 2001: Third International Workshop on Human-Computer Interaction with Mobile Devices, 2001.

- [Kanigel, 1997] R. Kanigel. *The One Best Way: Frederick Winslow Taylor and the Enigma of Efficiency*. Viking, 1997.
- [Kass, 2003] L. Kass. *Beyond Therapy: Biotechnology and the Pursuit of Happiness*. A Report by the President's Council on Bioethics, Washington, DC: Government Printing Office, 2003.
- [Keeble, 1952] L. Keeble. *Principles and Practice of Town and Country Planning*, *The Estates Gazette*, 1952 (4th edition published 1969).
- [Keulartz et al., 2002] J. Keulartz, M. Korthals, M. Schermer, and T. Swierstra, eds. *Pragmatist Ethics for a Technological Culture*. Dordrecht: Kluwer, 2002.
- [King, 2006] J. King. *The Art of Mathematics*. Dover Publications, 2006.
- [Khan and Abbasi, 1998] F. I. Khan and S.A. Abbasi. Inherently safer design based on rapid risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 11:361-372, 1998.
- [Kneese et al., 1983] A. V. Kneese, S. Ben-David and W. D. Schulze. The ethical foundations of benefit-cost analysis. In *Energy and the Future*, D. MacLean and P. G. Brown eds., pp. 59-74, Rowman and Littlefield, 1983.
- [Knoll, 1976] F. Knoll. Commentary on the basic philosophy and recent development of safety margins. *Canadian Journal of Civil Engineering* 3:409-416, 1976.
- [Knuth et al., 2003] B. A. Knuth, N.A. Connelly, J. Sheeshka, and J. Patterson. Weighing Health Benefit and Health Risk Information when Consuming Sport-Caught Fish. *Risk Analysis* 23:1185-1197, 2003.
- [Koningsveld, 2006] H. Koningsveld. *Het Verschijnsel Wetenschap*, revised and enlarged edition. Boom, 2006.

- [Korsgaard, 1996] C. Korsgaard. *The Sources of Normativity*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [Kurzweil, 2005] R. Kurzweil. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005.
- [Kortabinski, 1965] T. Kotarbinski. *Praxiology: An Introduction to the Sciences of Efficient Action*. Pergamon, 1965.
- [Klüver, 1995] L. Klüver. Consensus Conferences at the Danish Board of Technology. In *Public Participation in Science*, S. Joss, J. Durant, eds., pp. 41–52, Chippenham, 1995.
- [Kroes and Meijers, 2000] P. Kroes and A. Meijers, eds. *The Empirical Turn in the Philosophy of Technology*. Elsevier Science, 2000.
- [Kroes, 1992] P. Kroes. On the Role of Design in Engineering Theories: Pambour's Theory on the Steam Engine. In *Technological Development and Science in the Industrial Age*, P. Kroes and M. Bakker, eds., pp. 69-98, 1992.
- [Kroes, 2002] P. Kroes. Design methodology and the nature of technical artefacts. *Design Studies* 23, 287-302, 2002.
- [Korsgaard, 1983] C. M. Korsgaard. Two distinctions in goodness. *Philosophical Review* 92, 169-95, 1983.
- [Korsgaard, 1986] C. M. Korsgaard. Aristotle and Kant on the source of value. *Ethics* 486-505, 1986.

- [Ladd, 1991] J. Ladd. The quest for a code of professional ethics: an intellectual and moral confusion. In, D. Johnson, ed., *Ethical Issues in Engineering*. New Jersey: Prentice Hall, 1991.
- [Lakoff and Núñez, 2000] G. Lakoff and R. E. Núñez. *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics Into Being*. Basic Books, 2000.
- [Landes, 1969] D. S. Landes. *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*. Cambridge University Press, 1969.
- [Larkham, 1996] P. J. Larkham. *Conservation and the City*. Routledge, 1996.
- [Laszlo, 2003] P. Laszlo. Foundations of Chemical Aesthetics. *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*, 9, 11–32, 2003.
- [Latour, 1987] B. Latour. *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers Through Society*. Milton Keynes, 1987.
- [Latour, 1992] B. Latour. Where Are the Missing Masses? The Sociology of a Few Mundane Artifacts. In *Shaping Technology/Building Society*, W.E. Bijker and J. Law, eds., pp. 225-258. MIT Press, 1992.
- [Layton, 1971] E. T. Layton. *The Revolt of the Engineers: Social Responsibilities and the American Engineering Profession*. Cleveland, OH: Case Western Reserve University Press, 1971.
- [Layton, 1974] E. T. Layton, Jr. Technology as Knowledge. *Technology and Culture*, 15, 31-41, 1974.

[Le Corbusier, 1924] Le Corbusier. *Urbanisme*. Editions Cr`es, 1924 (English trans. by F. Etchells published as *The City of Tomorrow*. The Architectural Press, 1971).

[Le Corbusier, 1927] Le Corbusier. *Towards a New Architecture*, trans. by F. Etchells. The Architectural Press, 1927 (originally published as *Vers Une Architecture*. Editions Cr`es, 1923).

[Le Corbusier, 1933] Le Corbusier. *La Ville Radieuse*. Vincent, Freal et Cie, 1933. (English trans. by P. Knight, E. Levieux and D. Coltman published as *The Radiant City*. Faber and Faber, 1967).

[Levin, 2000] M. R. Levin. *Contexts of Control*. In *Cultures of Control*, M. R. Levin, ed., pp. 13-69, 2000.

[Levidow, 1999] Levidow, L. *Democratizing Technology — or Technologizing Democracy?* In *Democratizing Technology. Theory and Practice of a Deliberative Technology Policy*, R. von Schomberg, ed., pp. 51-70, Hengelo, 1999.

[Lichtenstein et al., 1982] S. Lichtenstein et al. *Calibration of probabilities: The state of the art to 1980*. In *Judgment Under Uncertainty, Heuristics and Biases*. Kahneman et al., eds., pp. 306-334, 1982.

[Lindblom, 1973] C. E. Lindblom. *The Science of Muddling Through*. In *A Reader in Planning Theory*, A. Faludi, ed., pp. 151-170, Oxford, 1973.

[Ludwig, 1997] Ludwig, B.. *The Concept of Technology Assessment – an entire Process to Sustainable Development*. *Sustainable Development*, 5, pp. 111–117, 1997.

[Luce and Raiffa, 1957] R. D. Luce and H. Raiffa. *Games and Decisions. Introduction and critical survey*. Wiley, 1957.

- [Lindberg, 1992] D. C. Lindberg. *The Beginnings of Western Science*. University of Chicago Press, 1992.
- [Luegenbiehl, 1991] H. Luegenbiehl. *Codes of Ethics and the Moral Education of Engineers*. In: *Ethical Issues in Engineering*. Deborah Johnson, ed., pp. 137-138. Prentice Hall, 1991.
- [Maier, 1970] C. Maier. *Between Taylorism and Technocracy: European Ideologies and the Vision of Industrial Productivity in the 1920s*. *Journal of Contemporary History* 5, 27-61, 1970.
- [MacLennan, 1999] B. J. MacLennan. *Principles of Programming Languages: Design, Evaluation, and Implementation*, 3rd ed. Oxford University Press, 1999.
- [McLinden and Didion, 1987] M. O. McLinden and D. A. Didion. *Quest for alternatives*. *ASHRAE Journal* 32-42, 1987.
- [Magnani, 2007] L. Magnani. *Morality in a Technological World: Knowledge as Duty*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [Mambrey and Tepper, 2000] P. Mambrey and A. Tepper. *Technology Assessment as Metaphor Assessment — Visions guiding the development of information and communications technologies*. In *Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society. Towards a Repertoire for Technology Assessment*, J. Grin and A. Grunwald, eds., pp. 33-52, Springer, 2000.
- [Marcus, 1980] R. B. Marcus. *Moral dilemmas and consistency*. *Journal of Philosophy* 77, 121- 36, 1980.
- [Marcuse, 1967] J. Marcuse. *One-Dimensional Man*. Boston, 1966 (*Der eindimensionale Mensch*. Neuwied, 1967).

- [Marsden, 1992] B. Marsden. Engineering science in Glasgow: economy, efficiency and measurement as prime movers in the differentiation of an academic discipline. *British Journal for the History of Science*, 25, 319-46, 1992.
- [Martin and Irvine, 1989] B. R. Martin and J. Irvine. *Research Foresight: Priority-Setting in Science*. Pinter Publishers, London, 1989.
- [Martin and Schinzinger, 2005] M. W. Martin and R. Schinzinger. *Ethics in Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1983. (Fourth edition, 2005.)
- [McGinn, 1991] R. McGinn. *Science, Technology, and Society*. New York: Prentice Hall, 1991.
- [May, 1988] W. F. May. Professional Virtue and Self-Regulation. In: *Ethical Issues in Professional Life*, Joan C. Callahan, ed. p. 408. Oxford University Press, 1988.
- [Meadows et al., 1972] D. Meadows, D. Meadows, P. Milling, and E. Zahn. *Limits to Growth*. Report to the Club of Rome. Rome, 1972.
- [Merleau-Ponty, 1945] M. Merleau-Ponty. *Phénoménologie de la perception*. Paris: Gallimard, 1945.
- [Merton, 1938] R. K. Merton. *Science, Technology, and Society in Seventeenth Century England*. Osiris, 1938.
- [Miller, 1988] C. O. Miller. System Safety. In *Human Factors in Aviation*. E. L. Wiener and D. C. Nagel, eds., pp. 53-80, Academic Press, 1988.

- [Michelfelder, 2000] D. Michelfelder. Technological Ethics in a Different Voice. in E. Higgs, A. Light, and D. Strong, eds. *Technology and the Good Life?* (Chicago: University of Chicago Press), pp. 219-233, 2000.
- [Mitcham, 1994] C. Mitcham. *Thinking Through Technology: The Path Between Engineering and Philosophy*. University of Chicago Press, 1994.
- [Mitcham, 1994] C. Mitcham. *Thinking through Technology*. University of Chicago Press, 1994. [Oudshoorn and Pinch, 2003] N. Oudshoorn and T. Pinch. Introduction. How Users and Non- Users Matter. In *How Users Matter. The Co-Construction of Users and Technology*, N. Oudshoorn and T. Pinch, eds., pp. 1-25. MIT Press, 2003.
- [Mitcham, 2005] C. Mitcham. Ethics Codes in Professional Engineering: Overview and Comparisons. In C. Mitcham, ed., *Encyclopedia of Science, Technology, and Ethics* (Detroit: Macmillan Reference), vol. 4, pp. 2176-2182, followed with code documents, pp. 2183-2260, 2005.
- [Mitcham and Huning, 1993] C. Mitcham and A. Huning. The Historical and Philosophical Development of Engineering Ethics in Germany. *Technology in Society*, vol. 15, no. 4 (November), pp. 427-439, 1993.
- [Móller et al., 2006] N. Möller, S.O. Hansson and M. Peterson. Safety is More Than the Antonym of Risk. *Journal of Applied Philosophy* 23(4):419-432, 2006.
- [Moses, 1997] F. Moses. Problems and prospects of reliability-based optimization. *Engineering Structures* 19:293-301, 1997.
- [Moore, 1903] G. E. Moore. *Principia Ethica*. Cambridge: Cambridge University Press, 1903.
- [Moore, 1912] G. E. Moore. *Ethics*. Oxford University Press, 1912.

- [Morgenstern, 1995] J. Morgenstern. The Fifty-Nine Story Crisis. The New Yorker, May 29, pp.49-53, 1995.
- [Mumford, 1934] L. Mumford. Technics and Civilization. Harcourt Brace, 1934.
- [Mumford, 1963] L. Mumford. Technics and Civilization. New York, 1963.
- [Mumford, 1967-70] L. Mumford. The Myth of the Machine. 2 vols. Vol 1, Technics and Human Development. Vol. 2, The Pentagon of Power, 1967-1970.
- [Murphy and Winkler, 1984] A. H. Murphy and R.L. Winkler. Probability forecasting in meteorology. Journal of the American Statistical Association 79:489-500, 1984.
- [National Research Council, 1983] National Research Council (NRC) Risk Assessment in the federal government: Managing the process. National Academies Press, 1983.
- [Nayler, 1985] G. H. F. Nayler. Dictionary of Mechanical Engineering. Butterworth's, 1985.
- [Nelson, 1992] D. Nelson. A Mental Revolution: Scientific Management Since Taylor. Ohio Sate University Press, 1992.
- [Nelson, 1980] D. Nelson. Frederick W. Taylor and the Rise of Scientific Management. University of Wisconsin Press, 1980.
- [Nelson, 2001] R. H. Nelson. Economics as Religion: From Samuelson to Chicago and Beyond. Pennsylvania State University Press, 2001.

- [Newberry, 2005] B. Newberry. Efficiency as a design value in engineering. Unpublished paper, 2005.
- [Nizick, 1974] R. Nozick, R. Anarchy, State, and Utopia. Basic Books 1974.
- [Nolan, 1994] M. Nolan. Visions of Modernity: American business and the modernization of Germany. Oxford University Press, 1994.
- [Norman, 1988] D. Norman. The Psychology of Everyday Things. Basic Books, 1988.
- [Norman, 1998] D. Norman. The Invisible Computer. MIT Press, 1998.
- [Norman, 2005] D. Norman. Emotional Design. Basic Books, 2005.
- [Nowotny, 2003] H. Nowotny. Democratising expertise and socially robust knowledge. Science and Public Policy 30, pp. 151-156, 2003.
- [Nozick, 1974] R. Nozick. Anarchy, State, and Utopia. New York: Basic Books, 1974.
- [Ogburn, 1964] W. F. Ogburn. Cultural Lag as Theory. in On Culture and Social Change, ed. O.D. Duncan (Chicago: University of Chicago Press, 1964).
- [Okin, 1975] A. M. Okin. Equality and Efficiency: The Big Tradeoff. The Brookings Institution, 1975).

- [Ong, 1982] W. J. Ong. *Orality and Literacy: The Technologizing of the World*. New York: Routledge, 1982.
- [Ortega y Gasset, 1939] J. Ortega y Gasset. *Meditación de la técnica*. in *Obras completas* (first edition, Madrid: Revista de Occidente, 1945-1947), vol. 5, pp. 317-375, 1939.
- [Otto, 1995] K. N. Otto. *Measurement methods for product evaluation*. *Research in Engineering Design* 7, 86-101, 1995.
- [Otway, 1987] H. Otway. *Experts, Risk Communication, and Democracy*. *Risk Analysis* 7:125- 129, 1987.
- [Pahl and Beitz, 1984] G. Pahl and W. Beitz. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer-Verlag, 1984.
- [Paté-Cornell and Neu, 1985] M. E. Paté-Cornell and J.E. Neu. *Warning Systems and Defense Policy: A Reliability Model for the Command and Control of U.S. Nuclear Forces*. *Risk Analysis* 5:121-138, 1985.
- [Paschen and Petermann, 1991] H. Paschen and T. Petermann. *Technikfolgenabschätzung – ein strategisches Rahmenkonzept für die Analyse und Bewertung von Technikfolgen*. In: *Technikfolgenabschätzung als Technikforschung und Politikberatung*, T. Petermann, ed., pp. 19–42, 1991.
- [Paschen et al., 1978] H. Paschen, K. Gresser, and S. Conrad. *Technology Assessment: Technologiefolgenabschätzung. Ziele, methodische und organisatorische Probleme, Anwendungen*. Campus, Frankfurt, 1978.
- [Pellegrino, 1993] E. D. Pellegrino. *The Metamorphosis of Medical Ethics: A 30-Year Retrospective*. *Journal of the American Medical Association*, vol. 269, no. 9 (March 3), pp. 1158-1162, 1993.

- [Pereira et al., 2007] A. G. Pereira, R. von Schomberg, and S. Funtowicz. Foresight Knowledge Assessment. *International Journal on Foresight and Innovation Policy* 3, pp. 53-75, 2007.
- [Perrow, 1984] C. Perrow. *Normal Accidents*. Basic Books, 1984.
- [Petroski, 1996] H. Petroski. *Invention by Design*. Harvard University Press, 1996.
- [Pettit, 1984] P. Pettit. Satisficing consequentialism. *Proceedings of the Aristotelian society suppl.* 58, 165-76, 1984.
- [Pitt, 2000] J. C. Pitt. *Thinking about Technology: Foundations of the Philosophy of Technology*. Seven Bridges Press, 2000.
- [Polakov, 1909] W. Polakov. Efficiency in the Purchase of Fuel for Power Generation. *Engineering Magazine* 38, 215-225, 1909.
- [Porter et al., 1991] A. L. Porter et al. *Forecasting and Management of Technology*. John Wiley & Sons, 1991.
- [Porter et al., 2001] R. B. Porter et al., eds. *Efficiency, Equity, Legitimacy: The Multilateral Trading System at the Millennium*. Center for Business and Government of Harvard University, and The Brookings Institution, 2001.
- [Posner, 1983] R. Posner. *Economic Analysis of Law*, 3rd ed. Little, Brown. 1983.
- [President's Council on Bioethics, 2003] President's Council on Bioethics. *Beyond Therapy: Biotechnology and the Pursuit of Happiness*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 2003.

- [Rabinbach, 1990] A. Rabinbach. *The Human Motor: Energy, Fatigue, and the Origins of Modernity*. Basic Books, 1990.
- [Rader, 2002] M. Rader. *Synthesis of Technology Assessment*. In: *Strategic Policy Intelligence: Current Trends, the State of Play and Perspectives*. A. Tübke, K. Ducatel, J.P. Gavigan, P. Moncada-Paternò-Castello, eds., pp. 27-37, Sevilla, 2002.
- [Radder, 1986] H. Radder. *Experiment, Technology and the Intrinsic Connection between Knowledge and Power*. *Social Studies of Science*, 16, 663-683, 1986.
- [Radder, 1988/1984] H. Radder. *The Material Realization of Science*. Van Gorcum, 1988. (Originally published as H. Radder. *De Materiële Realisering van Wetenschap*. VU Uitgeverij, 1984).
- [Radder, 1996] H. Radder. *In and about the World*. *Philosophical Studies of Science and Technology*. State University of New York Press, 1996.
- [Radder, 1998a] H. Radder. *The Politics of STS*. *Social Studies of Science*, 28, 325-331, 1998.
- [Radder, 1998b] H. Radder. *Second Thoughts on the Politics of STS*. *Social Studies of Science*, 28, 344-348, 1998.
- [Radder, 2008] H. Radder. *Critical Philosophy of Technology: The Basic Issues*. *Social Epistemology*, 22, 51-70, 2008.

- [Raffensperger and Tickner, 1999] C. Raffensperger and J. Tickner, eds. Protecting Public Health and the Environment: Implementing the Precautionary Principle. Island Press, 1999.
- [Rahman et al., 2005] M. Rahman, A.-M. Heikkilä, and M. Hurme. Comparison of inherent safety indices in process concept evaluation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18:327-334, 2005.
- [Randall, 1976] F. A. Randall. The safety factor of structures in history. *Professional Safety*, January 1976:12-28.
- [Rawls, 1999] J. Rawls. *A Theory of Justice*. The Belknap Press of Harvard University Press, 1999 [1971].
- [Raz, 1975] J. Raz. *Practical Reason and Norms*. Hutchinson, 1975.
- [Raz, 1986] J. Raz. *The Morality of Freedom*. Oxford University Press, 1986.
- [Raz, 2003] J. Raz. *The Practice of Value* (with commentaries by Christine Korsgaard, Robert Pippin, & Bernard Williams; edited and introduced by R. Jay Wallace). Oxford University Press, 2003.
- [Rechard, 1999] R. P. Rechard. Historical Relationship Between Performance Assessment for Radioactive Waste Disposal and Other Types of Risk Assessment. *Risk Analysis* 19(5):763- 807, 1999.
- [Reiser, 1978] S. J. Reiser. *Medicine and the Reign of Technology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.

- [Renn and Webler, 1998] O. Renn and T. Webler. Der kooperative Diskurs – Theoretische Grundlagen, Anforderungen, Möglichkeiten. In: Abfallpolitik im kooperativen Diskurs. In: O. Renn, H. Kastenholz, P. Schild, U. Wilhelm, eds., pp. 3–103, Zürich, 1998.
- [Rip et al., 1995] A. Rip, T. Misa, and J. Schot, eds. Managing Technology in Society. London, 1995.
- [Roco and Bainbridge, 2002] M. C. Roco and W. S. Bainbridge, eds. Converging Technologies for Improving Human Performance. Arlington, Virginia, 2002.
- [Reuleaux, 1876] F. Reuleaux. The Kinematics of Machinery: Outlines of a Theory of Machines. Macmillan, 1876.
- [Reynolds, 1983] T. S. Reynolds. Stronger than a Hundred Men: A History of the Vertical Water Wheel. Johns Hopkins University Press, 1983.
- [Root-Bernstein, 2003] R. Root-Bernstein. Sensual Chemistry: Aesthetics as a Motivation for Research. Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry, 9, 33–50, 2003.
- [Rosenberg, 1995] N. Rosenberg. Why Technology Forecasts Often Fail. Futurist, July-August 1995: 16-21.
- [Rosenbaum, 2004] T. Rosenbaum. The Myth of Moral Justice: Why Our Legal System Fails to Do What's Right. HarperCollins, 2004.
- [Rothman, 1997] D. J. Rothman. Beginnings Count: The Technological Imperative in American Health Care. New York: Oxford University Press, 1997.

[Royal Society, 1983] Royal Society. Risk Assessment. Report of a Royal Society Study Group. Royal Society, 1983.

[Russell, 1924] B. Russell. *Icarus, or The Future of Science*. London: Kegan Paul, 1924.

[Russell, 1951] B. Russell. *The Impact of Science on Society*. New York: Columbia University Press, 1951.

[Russell, 1958] B. Russell. The Divorce between Science and 'Culture'. Address on receipt of the Kalinga Prize for the Popularization of Science, *UNESCO Courier*, vol. 49 (February), 1958.

[Ruskin, 1849] J. Ruskin. *The Seven Lamps of Architecture*. George Allen, 1849 (1904 edition).

[Sandin, 1999] P. Sandin. Dimensions of the Precautionary Principle. *Human and Ecological Risk Assessment* 5: 889-907, 1999.

[Sandin et al., 2004] P. Sandin, B.-E. Bengtsson, A. Bergman, I. Brandt, L. Dencker, P. Eriksson, L. Forlin, P. Larsson, A. Oskarsson, C. Rudén, A. Södergren, P. Woin, and S.O. Hansson. Precautionary Defaults – A New Strategy for Chemical Risk Management. *Human and Ecological Risk Assessment* 10(1):1-18, 2004.

[Scanlon, 1998] T. M. Scanlon. *What We Owe To Each Other*. The Belknap Press of Harvard University Press, 1998.

[Schmidtz, 1995] D. Schmidtz. *Rational Choice and Moral Agency*. Princeton University Press, 1995.

[Schmitt, 1934] C. Schmitt. *Politische Theologie*. München/Leipzig, 1934.

- [Schmidt and Marratto, 2008] L. E. Schmidt with S. Marratto. *The End of Ethics in a Technological Society*. Montreal and Kingston: McGill-Queen's University Press, 2008.
- [Schot, 2001] J. Schot. *Constructive Technology Assessment as Reflexive Technology Politics*. In P. Goujon and B.H. Dubreuil, eds., *Technology and Ethics: A European Quest for Responsible Engineering* (Leuven, Belgium: Peeters), pp. 239-249, 2001.
- [Schön, 1992] D. A. Schön. *Designing as reflective conversation with the materials of a design situation*. *Research in Engineering Design* 131-47, 1992.
- [Schummer, 1995] J. Schummer. *Ist die Chemie eine schöne Kunst? Ein Beitrag zum Verhältnis von Kunst und Wissenschaft*. *Zeitschrift für Ästhetik und Allgemeine Kunstwissenschaft*, 40, 145–178, 1995.
- [Schummer, 1997a] J. Schummer. *Challenging Standard Distinctions between Science and Technology: The Case of Preparative Chemistry*. *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*, 3, 81–94, 1997a.
- [Schummer, 1997b] J. Schummer. *Scientometric Studies on Chemistry I: The Exponential Growth of Chemical Substances, 1800-1995*. *Scientometrics*, 39, 107–123, 1997b.
- [Schummer, 1997c] J. Schummer. *Scientometric Studies on Chemistry II: Aims and Methods of Producing New Chemical Substances*. *Scientometrics*, 39, 125–140, 1997c.
- [Schummer, 2003] J. Schummer. *Aesthetics of Chemical Products: Materials, Molecules, and Molecular Models*. *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*, 9, 73–104, 2003.

- [Schummer, 2006a] J. Schummer. Symmetrie und Schönheit in Kunst und Wissenschaft. In "Ästhetik in der Wissenschaft, W. Krohn ed., pp. 59–78. Meiner, 2006a.
- [Schummer, 2006b] J. Schummer. Gestalt Switch in Molecular Image Perception: The Aesthetic Origin of Molecular Nanotechnology in Supramolecular Chemistry. *Foundations of Chemistry*, 8, 53–72, 2006b.
- [Schummer, 2006c] J. Schummer. The End of Silent Rites. Book Review of Philip Ball: *Elegant Solutions: Ten Beautiful Experiments in Chemistry*. *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*, 12, 157–159, 2006c.
- [Schot and Rip, 1997] J. Schot and A. Rip. The Past and Future of Constructive Technology Assessment. *Technological Forecasting and Social Change* 54, pp. 251–268, 1997.
- [Schot, 1999] J. Schot. Constructive Technology Assessment and Technology Dynamics: The Case of Clean Technologies. *Science, Technology and Human Values* 17, pp. 36–56, 1999.
- [Sclove, 1995] R. Sclove. *Democracy and Technology*. New York: Guilford Press, 1995.
- [Searle, 1990] G. R. Searle. *The Quest for National Efficiency: A Study in British Politics and Political Thought, 1888-1914*. Ashfield Press, 1971, 1990.
- [Screpanti and Zamagni, 1993] E. Screpanti and S. Zamagni. *An Outline of the History of Economic Thought*. Clarendon Press, 1993.
- [Schrader-Frechette, 1980] K. S. Schrader-Frechette. *Nuclear Power and Public Policy*. Boston: D. Reidel, 1980.

- [Shrader-Frechette, 1991] K. S. Shrader-Frechette. Risk and Rationality. Philosophical Foundations for Populist Reforms. Berkeley, 1991.
- [Scruton, 1979] R. Scruton. The Aesthetics of Architecture. Methuen, 1979.
- [Shapiro, 1997] S. Shapiro. Degrees of Freedom: The Interaction of Standards of Practice and Engineering Judgment. Science, Technology, and Human Values, v22, 3, p. 290, 1997.
- [Shrader-Frechette, 1985] K. S. Shrader-Frechette. Science Policy, Ethics and Economic Methodology. Some Problems of Technology Assessment and Environmental-Impact Assessment. Reidel, 1985.
- [Simon, 1955] H. A. Simon. A behavioral model of rational choice. Quarterly Journal of Economics 69, 99-118, 1955.
- [Simon, 1956] H. A. Simon. Rational choice and the structure of the environment. Psychological Review 63, 129-38, 1956.
- [Simon, 1973] H. A. Simon. The structure of ill-structured problems. Artificial Intelligence 4, 181-201, 1973.
- [Simon, 1976] H. A. Simon. Administrative Behaviour. A Study of Decision-Making in Administrative Organization. The Free Press, 1976.
- [Simon, 1996] H. A. Simon. The Sciences of the Artificial. MIT, 1996.

- [Skempton, 1981] A. W. Skempton, ed. John Smeaton, FRS. Thomas Telford Limited, 1981.
- [Skorupinski and Ott, 2000] B. Skorupinski and K. Ott. Ethik und Technikfolgenabschätzung. Zürich, ETH-Verlag, 2000.
- [Slote, 1984] M. Slote. Satisficing consequentialism. Proceedings of the Aristotelian Society suppl. 58, 139-64, 1984.
- [Slote, 1989] M. Slote. Beyond Optimizing. A Study of Rational Choice. Harvard University Press, 1989.
- [Slovic, 1993] P. Slovic. Perceived risk, trust, and democracy. Risk Analysis 13, pp. 675-682, 1993.
- [Smeaton, 1759] J. Smeaton. "An Experimental Enquiry concerning the Natural Powers of Water and Wind to turn Mills, and other machines, depending on a circular motion," Philosophical Transactions of the Royal Society, 51, pt. 2: 100-174, 1759.
- [Smith and Wise, 1989] C. Smith and M. N. Wise. Energy & Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin. Cambridge University Press, 1989.
- [Smith, 1998] C. Smith. The Science of Energy: A Cultural History of Energy Physics in Great Britain. University of Chicago Press, 1998.
- [Smits et al., 1995] R. Smits, A. Leyten, and P. den Hertog. Technology Assessment and Technology Policy in Europe: New Concepts, New Goals, New Infrastructures. Policy Sciences, 28, pp. 272-299, 1995.

[Smits and den Hertog, 2007] R. Smits and P. den Hertog. TA and the management of innovation in economy and society. *International Journal on Foresight and Innovation Policy* 3, pp. 28-52, 2007.

[Smits and Leyten, 1991] R. Smits and J. Leyten. *Technology Assessment. Watchdog or Tracker*, Kerkebosch, Zeist, 1991.

[St John Wilson, 1995] C. St John Wilson. *The Other Tradition of Modern Architecture: The Uncompleted Project*. Academy editions, 1995.

[Spector and Schummer,] T. I. Spector and J. Schummer, eds. *Aesthetics and Visualization in Chemistry*, special issue of *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry*, 9 (1 & 2), 2003.

[Spencer, 1628] T. Spencer. *Logick*, 1628.

[Stehr, 2004] N. Stehr. *The Governance of Knowledge*. London, 2004.

[Stasko et al., 1998] J. Stasko, J. Dominue, M. H. Brown, and B. A. Price, eds. *Software Visualization*. MIT Press, 1998.

[Stevens, 2003] H. Stevens. *Fundamental physics and its justifications, 1945-1993*. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 34, 151–197, 2003.

[Stocker, 1990] M. Stocker. *Plural and Conflicting Values*. Clarendon Press, 1990.

[Strand and Golden, 1997] M. N. Strand and K. Golden. *Consulting Scientist and Engineer Liability: A Survey of Relevant Law*. *Science and Engineering Ethics* 3, 357-394, 1997.

- [Sorabji, 1964] R. Sorabji. Function. *Philosophical Quarterly* 14, 289-302, 1964.
- [Sullivan, 1985] L. Sullivan. Ornament in Architecture. Extract quoted in Frampton [1985, pt. 2, ch. 2, p. 51].
- [Summerton, 2004] J. Summerton. Do Electrons Have Politics? Constructing User Identities in Swedish Electricity. *Science, Technology, and Human Values*, 29, 486-511, 2004.
- [Sunstein, 2005] C. R. Sunstein. Cost-benefit analysis and the environment. *Ethics* 115, 351-85, 2005.
- [Taebi and Kloosterman, 2008] B. Taebi and J. L. Kloosterman. To recycle or not to recycle? An intergenerational approach to nuclear fuel cycles. *Science and Engineering Ethics* 14, 177-200, 2008.
- [Taeusch, 1926] C. Taeusch. *Professional and Business Ethics*. New York: Henry Holt & Co., 1926.
- [TATUP, 2007] TATUP – Technikfolgenabschätzung. *Theorie und Praxis*. Special Issue “Auf dem Weg zu einer Theorie der Technikfolgenabschätzung”, 2007.
- [Taylor, 1911] F. W. Taylor. *Principles of Scientific Management*. 1911.
- [Taylor, 1998] N. Taylor. *Urban Planning Theory since 1945*. Sage, 1998.
- [Taylor, 1999] N. Taylor. Anglo-American town planning theory since 1945: three significant developments but no paradigm shifts. *Planning Perspectives*, 14 (4), 327-345, October 1999.
- [Taylor, 2007] C. Taylor. *A Secular Age*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2007.

[Tench, 1985] W. Tench. *Safety is No Accident*. Collins, 1985.

[Tetlock, 2003] P. E. Tetlock. Thinking the unthinkable: Sacred values and taboo cognitions. *Trends in Cognitive Sciences* 7, 320-24, 2003.

[Thomasson, 2007] A. L. Thomasson. Artifacts and human concepts. In *Creations of the Mind: Theories of Artifacts and their Representation*, E. Margolis & S. Laurence, eds., pp. 52-73. Oxford University Press, 2007.

[Thomson, 1851/1989] W. Thomson. Draft for 'Dynamical theory of heat' (1851). In *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin, C. Smith and M. N. Wise*, p. 317. Cambridge University Press, 1989.

[Thompson, 1985] J. Thomson. Imposing Risk, in *To Breathe Freely*. M. Gibson, ed., pp. 124- 140. Rowman & Allanheld, 1985.

[Toulmin, 1958] S. Toulmin. *The Uses of Argument*. Cambridge: Cambridge University Press, 1958.

[Toulmin, 1982] S. Toulmin. How Medicine Saved the Life of Ethics. *Perspectives in Biology and Medicine*, vol. 2, no 4, pp. 736-750, 1982.

[Toulmin, 1988] S. Toulmin and A. R. Jonsen. *The Abuse of Casuistry: A History of Moral Reasoning*. Berkeley: University of California Press, 1988.

[Turkle, 1995] S. Turkle. *Life on the Screen: Identity in the Age of the Internet*. New York: Simon and Schuster, 1995.

- [UNCED, 1993] UNCED. The Earth Summit: The United Nations Conference on Environment and Development, Rio De Janeiro 1992. Introduction and commentary by S.P. Johnson. Graham & Trotman, 1993.
- [United States Senate, 1972] United States Senate. Technology Assessment Act of 1972. Report of the Committee on Rules and Administration, 13 Sept. 1972. Washington, D.C., 1972.
- [Unger, 1994] S. H. Unger. Controlling Technology: Ethics and the Responsible Engineer. Wiley-Interscience, 1994.
- [van de Poel, 1998] I. van de Poel. "Why are Chickens Housed in Battery Cages?" in Getting New Technologies Together: Studies in Making Sociotechnical Order, C. Disco and B. v.d. Meulen, eds., 143-178, Walter de Gruyter, 1998.
- [van de Poel, 2001] I. van de Poel. Investigating ethical issues in engineering design. Science and Engineering Ethics 7, 429-46, 2001.
- [van de Poel, 2005] I. van de Poel. Engineering design ethics. In Encyclopedia of Science, Technology, and Ethics
- [van de Poel and van Gorp, 2006] I. van de Poel and A. van Gorp. The need for ethical reflection in engineering design the relevance of type of design and design hierarchy. Science, Technology & Human Values 31, 333-60, 2006.
- [Van der Pot, 1994] J. H. J. Van der Pot. Steward or Sorcerer's Apprentice? The Evaluation of Technical Progress, Volume I and II. Eburon, 1994.
- [van Est and van Eijndhoven, 1999] R. van Est and J. van Eijndhoven. Parliamentary Technology Assessment at the Rathenau Institute. In: Handbuch Technikfolgenabschätzung, S. Bröckler, G. Simonis, K. Sundermann, eds., pp. 427-436, Berlin, 1999.

- [van Gorp, 2005] A. van Gorp. Ethical Issues in Engineering Design; Safety and Sustainability. Simon Stevin Series in the Philosophy of Technology, Delft, 2005.
- [van Gorp and Grunwald, in preparation] A. van Gorp and A. Grunwald. Ethical Responsibilities of Engineers in Design Processes. Risks, Regulative Frameworks and Societal Division of Labour. In: S. Roeser and L. Asveld (eds.), in preparation. [VDI, 1991] VDI – Verein Deutscher Ingenieure. Technikbewertung. Richtlinie 3780. Düsseldorf, 1991. English version available at www.vdi.de [Vig and Paschen, 1999] N. Vig and J. Paschen, eds. Parliaments and Technology Assessment. The Development of Technology Assessment in Europe. Albany, USA, 1999.
- [Van Oost, 2003] E. van Oost. Materialized Gender: How Shavers Configure the Users' Femininity and Masculinity. In How Users Matter. The Co-Construction of Users and Technology, N. Oudshoorn and T. Pinch, eds., pp. 193-208. MIT Press, 2003.
- [von Schomberg, 1999] R. von Schomberg, ed. Democratizing Technology. Theory and Practice of a Deliberative Technology Policy. Hengelo, 1999.
- [von Schomberg, 2005] R. von Schomberg. The Precautionary Principle and its normative challenges. In: The Precautionary Principle and Public Policy Decision Making. E. Fisher, J. Jones, R. von Schomberg, eds., pp. 161-175, Cheltenham, UK and Northampton, MA, 2005.
- [Vaesen, 2006] K. Vaesen. How norms in technology ought to be interpreted. Techn'e: Research in Philosophy and Technology 10, 117-133, 2006.
- [Venturi, 1966] R. Venturi. Complexity and Contradiction in Architecture. Museum of Modern Art, 1966, (2nd edition, 1977).

[Verbeek, 2005] P.-P. Verbeek. What Things Do: Philosophical Reflections on Technology, Agency, and Design. University Park, PA: Pennsylvania State University Press, 2005.

[von Wright, 1963] G. H. von Wright. The Varieties of Goodness. Routledge & Kegan Paul / The Humanities Press, 1963.

[Wajcman, 2004] J. Wajcman. TechnoFeminism. Polity Press, 2004.

Wallace and H.E. Gruber, eds., pp. 227–253. Oxford University Press, 1989.

[Wasserman, 1993] G. S. Wasserman. On how to prioritize design requirements during the QFD planning process. IIE Transactions 25, 59-65, 1993.

[Weber, 2001] M. Weber. The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism. University of Chicago Press. 1904-5, rpt 2001.

[Wechsler, 1998] J. Wechsler. On Aesthetics in Science. Birkh"auser Verlag, 1988.

[Weiss, 1987] S. F. Weiss. Race hygiene and national efficiency: the eugenics of Wilhelm Stallmayer. University of California Press, 1987.

[Weyer et al., 1997] J. Weyer, U. Kirchner, L. Riedl, and J. F. K. Schmidt. Technik, die Gesellschaft schafft. Soziale Netzwerke als Ort der Technikgenese. Berlin, 1997.

[Whitbeck, 1998] C. Whitbeck. Ethics in Engineering, Practice and Research. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

[Williams, 1973] B. Williams. Problems of the Self. Philosophical Papers 1956-1972. Cambridge University Press, 1973.

- [Williamson, 1994] R. A. Williamson. Space Policy at the Office of Technology Assessment. In: Technikbeurteilung in der Raumfahrt. A. Grunwald, H. Sax, eds., pp. 211–225, Berlin, 1994.
- [Winner, 1980] L. Winner. Do artifacts have politics? *Daedalus* 121-36, 1980.
- [Winner, 1982] L. Winner. *Autonomous Technology. Technics-out-of-Control as a Theme in Political Thought*. Cambridge, USA, 1982.
- [Winner, 1986] L. Winner. *The Whale and the Reactor*. University of Chicago Press, 1986.
- [Wise and Smith, 1989-1990] M. N. Wise and C. Smith. Work and Waste: Political Economy and Natural Philosophy in Nineteenth Century Britain. *History of Science*, pt. I, v. 27, 263- 301, 1989. Pt. II, v. 27, 391-449, 1989. Pt. III, v. 28, 221-261, 1990.
- [Wolf, 2007] M. Wolf. *Proust and the Squid: The Story and Science of the Reading Brain*. New York: Harper, 2007.
- [Woodward, 1989] C. E. Woodward. Art and elegance in the synthesis of organic compounds: Robert Burns Woodward. In *Creative people at work: twelve cognitive case studies*, D.B.
- [Woolgar and Cooper, 1999] S. Woolgar and G. Cooper. Do Artefacts Have Ambivalence? Moses' Bridges, Winner's Bridges and Other Urban Legends in S&TS. *Social Studies of Science*, 29, 433-449, 1999.
- [Worster, 1994] D. Worster. *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas*, 2nd ed. Cambridge University Press, 1994.
- [Wynne, 1988] B. Wynne. Unruly Technology: Practical Rules, Impractical Discourses and Public Understanding. *Social Studies of Science*, 18, 147-167, 1988.

[Wynne, 1995] B. Wynne. Technology Assessment and Reflexive Social Learning: Observations from the Risk Field. In: *Managing Technology in Society*. A. Rip, T. Misa, J. Schot, eds., pp. 19-36, London 1995.

[Yoshinaka et al., 2003] Y. Yoshinaka, C. Clausen, and A. Hansen. The Social Shaping of Technology: A New Space for Politics? In: *Technikgestaltung – Wunsch oder Wirklichkeit?* A. Grunwald, ed., pp. 117-131, Berlin, Springer, 2003.

[Zimmerman, 2004] M. J. Zimmerman. Intrinsic vs. extrinsic value. In *The Stanford Encyclopedia of philosophy* (fall 2004 edition), E. N. Zalta ed. <http://plato.stanford.edu/archives/fall2004/entries/value-intrinsic-extrinsic/>. 2004

[Zhu, 1993] T. L. Zhu. A reliability-based safety factor for aircraft composite structures. *Computers & Structures* 48:745-748, 1993.

