



# Diseño en ingeniería

Autor:

Dr. Ing. Johny Molleja

## INDICE

Algunos conceptos y definiciones de diseño.....	5
A.- Filosofía de diseño en ingeniería (Peter Kroes).....	11
A.1.- introducción.....	15
A.2.- Métodos de diseño tradicional y el auge de la educación para el diseño...22	
A.3.-Las estrategias de investigación y ciencia del diseño.....	27
A.4.- Metodología de diseño y conciencia crítica.....	36
A.5.- El movimiento de los métodos de diseño.....	41
A.6.- Métodos de diseño, metodología, principios y causalidad. ....	57.
B.- ENTENDER LOS REQUISITOS DEL CLIENTE Y LLEVARLOS A ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. (Marc J. de Vries).....	65
B.1.- LA CAMBIANTE FUNCIÓN DE LOS CLIENTES EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS....	68.
B.2.- DIFERENCIAS ENTRE LAS DESCRIPCIONES DE LOS ARTEFACTOS TÉCNICOS ENTRE LOS USUARIOS Y DISEÑADORES.....	72.
B.3.- CONOCIMIENTO SOBRE LA NATURALEZA DEL ARTEFACTO.....	74
B.4.- TRANSFORMAR LOS REQUISITOS DE LOS USUARIOS EN CARACTERÍSTICAS FÍSICAS....	76
B.5.- MÉTODOS DE TRANSFORMACIÓN.....	77
B.6.- REFLEXIONES METODOLÓGICAS.....	79
B.7.- MATERIALES Y SOFTWARE VERSUS ARTEFACTOS COMO CAMPOS DE APLICACIÓN....	85
B.8.- EL PROBLEMA DE LOS AGREGADOS DE CLIENTES.....	87
B.9.- LA MULTIDISCIPLINARIEDAD DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA.....	88
B.10.- AMBIGÜEDAD DEL TÉRMINO «TRADUCCIÓN».....	90
C.- TIPOLOGÍAS DE PRÁCTICAS DE DISEÑO (Kees Dorst y Kees van Overveld).....	91
C.1.- INTRODUCCIÓN.....	91
C.2.- SOBRE TIPOLOGÍAS.....	95
C.3.- EL PROBLEMA DE LOS PROBLEMAS DE DISEÑO.....	99

C.4.- PATRONES EN EL DISEÑO DE PENSAMIENTO.....	107
C.5.- TIPOS DE DISEÑADORES: EXPERIENCIA EN DISEÑO.....	118
C.6.- TIPOS DE CONTEXTO DE DISEÑO.....	122
C.7.- CONCLUSIÓN: HACIA UNA TIPOLOGÍA MULTIPARENTAL DE LA PRÁCTICA DEL DISEÑO..	127
D.-TEMAS FUNDACIONALES DE DISEÑO EN INGENIERÍA (PETER KROES).....	129
D.1.- INTRODUCCION.....	129
D.2.- DISEÑO DE INGENIERÍA Y CIENCIA.....	133
D.3.- LA NATURALEZA DEL DISEÑO DE INGENIERÍA.....	136
D.4.- DISEÑO DE INGENIERÍA: DE FUNCIÓN A ESTRUCTURA.....	139
D.5.- RAZONAMIENTO DE FIN DE MEDIO.....	143
D.6.- MODELOS DE FASE EN DISEÑO DE INGENIERÍA.....	145
D.7.- DISEÑO DE PLANES EN LUGAR DE OBJETOS MATERIALES.....	146
D.8.- UN DISEÑO TÉCNICO.....	148
D.9.- COMPLEJIDAD Y EL PARADIGMA DEL DISEÑO TRADICIONAL.....	151
E.- REPRESENTACIONES COMPUTACIONALES DE LA FUNCIÓN EN DISEÑO DE INGENIERÍA (William H. Wood).....	156
E.1.- FUNCIÓN VERSUS COMPORTAMIENTO.....	156
E.2.- FUNCIÓN DE DISEÑO.....	159
E.3.- FUNCIÓN DE COMPUTACIÓN.....	160
E.4.- RESUMEN.....	177
E.5.- CONCLUSIONES.....	178
F.- RACIONALIDAD EN EL DISEÑO.....	180
F.1.- INTRODUCCIÓN ( Peter Kroes, Maarten Franssen and Louis Bucciarelli).....	181
F.2.- DISEÑO DE INGENIERÍA.....	182
F.3.- APLICAR NORMAS DE RACIONALIDAD AL DISEÑO EN INGENIERÍA.....	184
F.4.- ASPECTOS DE LA RACIONALIDAD.....	188
F.5.- LA CONCEPCIÓN INSTRUMENTAL DE LA RACIONALIDAD.....	195
F.6.- RACIONALIDAD EN LA PRÁCTICA DE INGENIERÍA DE DISEÑO.....	200

F.7.- DISEÑO COMO PROCESO SOCIAL.....	208
G.- DISEÑO DE SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS (Johannes M. Bauer and Paulien M. Herder).....	216
G.1.- INTRODUCCIÓN.....	216
G.2.- ÁMBITO DE LAS CUESTIONES DE DISEÑO EN LOS SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS.....	218
INTERMEZZO 1. Puerto de Rotterdam.....	222
G.3.- MARCOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS.....	223
INTERMEZZO 2: DISEÑO Y SURGIMIENTO EN INTERNET.....	231
G.4.- FUNDAMENTOS NORMATIVOS, OBJETIVOS DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	233
G.5.- CONCLUSIONES.....	242
REFERENCIAS.....	244

## ALGUNOS CONCEPTOS Y DEFINICIONES DE DISEÑO

El diseño se define como el proceso previo de configuración mental, «prefiguración», en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Se aplica habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras disciplinas que requieren creatividad. El diseño involucra variadas dimensiones que van más allá del aspecto, la forma y el color, abarcando también la función de un objeto y su interacción con el usuario. Durante el proceso se debe tener en cuenta además la funcionalidad, la operatividad, la eficiencia y la vida útil del objeto del diseño.

### **Etimología**

Etimológicamente deriva del término italiano disegno, designio, signare, signado «lo por venir», el porvenir, visión representada gráficamente del futuro, lo hecho es la obra, lo por hacer es el proyecto, el acto de diseñar como prefiguración, es el proceso previo en la búsqueda de una solución o conjunto de las mismas. Plasmear el pensamiento de la solución o las alternativas mediante esbozos, dibujos, bocetos o esquemas trazados en cualquiera de los soportes, durante o posteriores a un proceso de observación de alternativas o investigación. El acto intuitivo de diseñar podría llamarse creatividad como acto de creación o innovación si el objeto no existe o se modifica algo existente.

Referente al signo, significación, designar es diseñar el hecho de la solución encontrada. Es el resultado de la economía de recursos materiales, la forma, transformación y el significado implícito en la obra, su ambigua apreciación no puede determinarse si un diseño es un proceso estético correspondiente al arte cuando lo accesorio o superfluo se antepone a la función o solución del problema.

El acto humano de diseñar no es un hecho artístico en sí mismo, aunque puede valerse de los mismos procesos en pensamiento y los mismos medios de expresión como resultado; al diseñar un objeto o signo de comunicación visual en función de la búsqueda de una aplicación práctica, el diseñador ordena y dispone los elementos estructurales y formales, así como dota al producto o idea de significantes si el objeto o mensaje se relaciona con la cultura en su contexto social. El concepto de diseño suele utilizarse en el contexto de las artes, la arquitectura, la ingeniería y otras disciplinas. El momento del diseño implica una representación mental y la posterior plasmación de dicha idea en algún formato gráfico (visual) para exhibir cómo será la

obra que se planea realizar. El diseño, por lo tanto, puede incluir un dibujo o trazado que anticipe las características de la obra.

Al diseñar, la persona no sólo tiene en cuenta aspectos estéticos, sino también cuestiones funcionales y técnicas. Esto exige a los diseñadores estudios, investigaciones y tareas de modelado que le permitan encontrar la mejor manera de desarrollar el objeto que pretenden crear.

En este sentido, tampoco podríamos pasar por alto la figura del diseñador, aquel profesional que desarrolla estas citadas funciones creativas en diversos ámbitos. No obstante, es cierto que en la mayoría de las ocasiones cuando hacemos referencia a dicho experto estamos hablando de aquel que trabaja en el campo de la moda.

El verbo "diseñar" se refiere al proceso de creación y desarrollo para producir un nuevo objeto o medio de comunicación (objeto, proceso, servicio, conocimiento o entorno) para uso humano. El sustantivo "diseño" se refiere al plan final o proposición determinada fruto del proceso de diseñar: dibujo, proyecto, diseño industrial o descripción técnica, maqueta al resultado de poner ese plan final en práctica (la imagen, el objeto a fabricar o construir).

Diseñar requiere principalmente consideraciones funcionales, estéticas y simbólicas. El proceso necesita numerosas fases como las siguientes: observación, investigación, análisis, testado, ajustes, modelados (físicos o virtuales mediante programas de diseño informáticos en dos o tres dimensiones), adaptaciones previas a la producción definitiva del objeto industrial, construcción de obras ingeniería en espacios exteriores o interiores arquitectura, diseño de interiores, o elementos visuales de comunicación a difundir, transmitir e imprimir sean: diseño gráfico o comunicación visual, diseño de información, tipografía. Además abarca varias disciplinas y oficios conexos, dependiendo del objeto a diseñar y de la participación en el proceso de una o varias personas.

Diseñar es una tarea compleja, dinámica e intrincada. Es la integración de requisitos técnicos, sociales y económicos, necesidades biológicas, ergonomía con efectos psicológicos y materiales, forma, color, volumen y espacio, todo ello pensado e interrelacionado con el medio ambiente que rodea a la humanidad. De esto último se puede desprender la alta responsabilidad ética del diseño y los diseñadores a nivel mundial. Un buen punto de partida para entender éste fenómeno es revisar la Gestalt y como la teoría de sistemas aporta una visión amplia del tema, de allí su papel fundamental en la realización del artefacto y en la actividad ingenieril.

Un filósofo contemporáneo, Vilém Flouise propone, en su libro Filosofía del diseño, que el futuro (el destino de la humanidad) depende del diseño.

## **Arte u oficio**

Durante décadas los vínculos entre el diseño y los movimientos de vanguardia se convirtieron en el centro del debate entre investigadores y expertos y alejaron la mirada de otros aspectos más relevantes. El diseño guarda relación con la actividad artística en la medida que emplea un lenguaje similar, que utiliza una sintaxis prestada de las artes plásticas, pero es un fenómeno de naturaleza más compleja y enteramente vinculado a la actividad productiva y al comercio.

Como subrayaba, “a diferencia del arte y la arquitectura donde el protagonista son los artefactos, el proceso histórico del diseño no se basa sólo en los proyectistas, porque al menos un peso similar tienen los productores, los vendedores y el mismo público”.

Se suele confundir con frecuencia a los diseñadores y a los artistas, aunque únicamente tienen en común la creatividad. El diseñador proyecta el diseño sobre la base de una inspiración, justificando sus propuestas y sin hacer de lado la importancia de satisfacer su mercado meta. A diferencia del artista que es más espontáneo, libre y sus acciones pueden no estar justificadas.

## **El diseñador**

Referente a la profesión (empírica) mediante la praxis profesional o académica de quien diseña, actúa y proyecta objetos funcionales, herramientas ergonómicas, mobiliario, accesorios útiles, vestimenta, espacios físicos o virtuales webs, multimedia, información, señales, mensajes no verbales sígnicos, simbólicos y sistemas, ordena elementos gráficos e imágenes, clasifica tipologías, crea o modifica tipografías. Su campo de actuación tiene relación con la industria, el comercio y todas las actividades culturales, su perfil y educación puede tener orientación técnica en la ingeniería de procesos industriales o constructivos (arquitectura de interiores), en relación con las disciplinas humanísticas en los campos de actuación de la comunicación audiovisual, artes gráficas, la publicidad, el mercadeo (marketing) o la gestión de productos, el diseño de los mismos o sus contenedores (packaging) embalajes, etiquetas, envases y en las mismas empresas industriales o comerciales en departamentos de investigación y desarrollo de nuevos productos o comunicación corporativa con el diseñador. Las computadoras también hacen más eficientes los

procesos de diseño y fabricación. Por ejemplo, si las especificaciones de una pequeña pieza de una máquina se modifican en el ordenador, éste puede calcular cómo afectan los cambios al resto de la máquina antes de proceder a su fabricación. Son importantes las labores de planificación asociadas al acoplamiento de las piezas de algún dispositivo resultado del ensamblaje de un conjunto de piezas trabajadas por grupos diferentes y de especialidades diferentes, como el ing. Eléctrico que se encarga del motor de un carro que lleva acoplado las ruedas, transmisión y demás piezas del mismo, hay situaciones donde estos acoplamientos son llevados a cabo por un grupo aparte, que se reúne con los otros grupos, para coordinar que los acoplamientos cumplan los requerimientos necesarios.

### **Algunos puntos de vista**

Las definiciones sobre diseño son tantas y tan variadas como las actividades que han dado pie a esta actividad.

Tomás Maldonado señalaba que “el diseño industrial es una actividad proyectual que consiste en determinar las prioridades formales de los objetos producidos industrialmente”. La forma tiene por misión, no sólo alcanzar un alto nivel estético, sino hacer evidentes determinadas significaciones y resolver problemas de carácter práctico relativos a la fabricación y el uso. Diseño es un proceso de adecuación formal, a veces no consciente, de los objetos.

Según Joseph Edward Shigley y Charles R. Mishke, en su obra *Diseño en ingeniería mecánica (Mechanical Engineering Design)*, publicada en 1989, "diseño es formular un plan para satisfacer una necesidad humana".

A lo que refiere Mariano Maddio, el diseño es el desarrollo de nuevas ideas en donde al igual que toda obra de arte, se refleja en la mirada bilateral de quienes contemplan el proyecto.

Para el arquitecto Damiano Franco, el diseño se encuentra hasta en la parte más ínfima de la vida del ser humano. ¿Qué sería de la vida cotidiana sin un diseño apropiado para cada una de las cosas y objetos? Un caos...

Gui Bonsiepe define al diseño como: "Hacer disponible un objeto para una acción eficaz."

Desde esta perspectiva, diseño puede conceptualizarse como un campo de conocimiento multidisciplinario, que implica su aplicación en distintas profesiones,

que puede ser estudiado, aprendido y, en consecuencia, enseñado. Que está al nivel de la ciencia y la filosofía, dado que su objetivo está orientado a estructurar y configurar contenidos que permitan ser utilizados para ofrecer satisfacciones a necesidades específicas de los seres humanos.

El diseño también es una actividad técnica y creativa encaminada a idear un proyecto útil, funcional y estético que pueda llegar a producirse en serie como en el diseño industrial, el diseño gráfico o el diseño de joyas. A pesar de que el diseño de interiores no va dirigido a una producción en serie en su gran mayoría. Es por eso que es importante la formación de los ingenieros en esta disciplina, la cual se describe en mi tesis doctoral (J. Molleja, 2011) como el ingrediente o contexto artístico, acompañando a los contextos científico, tecnológico y filosófico.

En el libro, *El diseño en la vida cotidiana*, John Heskett menciona que el diseño es una de las características básicas de lo humano y un determinante esencial de la calidad de vida. Afecta a todas las personas, en todos los detalles que hacemos en el día a día.

## **La banalización actual del diseño**

El diseño hoy en día, es un término que en multitud de ocasiones se emplea erróneamente. Por un lado se debe a que es un término relativamente nuevo y por otro, y más importante, es la frivolidad con la que se trabajó en los años 80 en nombre del diseño, es decir la superficialidad y la falta de seriedad.

Es por ello que muchas veces la falta de información lleva al empleo del término “diseño” incorrectamente. Ejemplos como: “mucho diseño y poco contenido” son comunes incluso en prensa, televisión, discursos políticos, etc. Sin embargo, el buen diseño, se caracteriza por su buena usabilidad y no siempre por su originalidad o estética.

Según el pintor, fotógrafo y crítico de arte Moholy-Nagy (1895-1946), el diseño es la organización de materiales y procesos de la forma más productiva, en un sentido económico, con un equilibrado balance de todos los elementos necesarios para cumplir una función. No es una limpieza de la fachada, o una nueva apariencia externa; más bien es la esencia de productos e instituciones.

Según John Heskett la transformación del diseño en algo banal e intrascendente supone uno de los rasgos más llamativos del mundo moderno.

## Fases o etapas del proceso de diseño

El proceso de diseñar, suele implicar las siguientes fases:

- 1. Observar y analizar** el medio en el cual se desenvuelve el ser humano, descubriendo alguna necesidad.
- 2. Evaluar**, mediante la organización y prioridad de las necesidades identificadas.
- 3. Planear y proyectar** proponiendo un modo de solucionar esta necesidad, por medio de planos y maquetas, tratando de descubrir la posibilidad y viabilidad de la(s) solución(es).
- 4. Ver, construir y ejecutar** llevando a la vida real la idea inicial, por medio de materiales y procesos productivos.

Estos cuatro actos, se van haciendo uno tras otro, y a veces continuamente. Algunos teóricos del diseño no ven una jerarquización tan clara, ya que estos actos aparecen una y otra vez en el proceso de diseño.

Hoy por hoy, y debido al mejoramiento del trabajo del diseñador (gracias a mejores procesos de producción y recursos informáticos), podemos destacar otro acto fundamental en el proceso:

Diseñar como acto cultural implica conocer criterios de diseño como presentación, producción, significación, socialización, costos, mercadeo, entre otros. Estos criterios son innumerables, pero son contables a medida que se definen los proyectos del diseño.

## A.- Filosofía de diseño en ingeniería (Peter Kroes)

Los currículos de ingeniería están orientados a enseñar las competencias que se requieren para convertirse en un buen ingeniero de diseño, y la fabricación de artefactos materiales o el diseño y prestación de servicios, que implican la manipulación de objetos técnicos, es una de las principales actividades de la ingeniería profesional, el diseño de una actividad sintética en lugar de una analítica, además de enseñar las competencias de investigación. Con el fin de seguir siendo ingenieros de diseño competitivos, tendrán que asegurarse de que están bien informados en las Ciencias de la ingeniería. Tendrán que ser capaces de llevar a cabo la investigación en un entorno que es la práctica orientada a la misión, lo que significa que tendrán que ser capaces de analizar las propiedades de los procesos y las cosas que se están tratando. Es por eso que, en los currículos de ingeniería, una gran cantidad de tiempo se dedica a la enseñanza de las Ciencias de la ingeniería. Sin embargo, con el fin de convertirse en un buen ingeniero de diseño, no es suficiente poseer sólo habilidades de investigación analítica. Además de tener estas habilidades, los ingenieros necesitan tener habilidades de diseño sintético: al diseñar nuevos artefactos técnicos, deben ser capaces de combinar elementos (componentes o procesos) de formas creativas, para que puedan satisfacer requisitos de medios o funcionales prácticos. El diseño de artefactos técnicos se considera principalmente, esta opinión prima facie, atractiva, de diseñar como actividad sintética, en contraposición a la investigación como actividad analítica, requiere una mayor elucidación, si va a ser de cualquier uso en la comprensión de la naturaleza del diseño en ingeniería. Después de todo, los investigadores también tienen que ser diseñadores hábiles, no de artefactos técnicos o servicios, sino de teorías, experimentos y el equipo necesario para realizar tales experimentos. Para estos fines, también necesitan tener habilidades sintéticas; teorías, experimentos, así como equipos experimentales que se componen de diferentes elementos (como, por ejemplo, leyes, acciones y componentes físicos) y el fin de los investigadores es poner estos elementos juntos en formas específicas para satisfacer los requisitos, cognitivo y de otra manera. Además, los métodos analíticos y sintéticos siempre han sido parte integral de la investigación, desde los primeros días de la investigación científica. La distinción entre formas analíticas de razonamiento, en las que se procede de efectos a causas y formas sintéticas, en las que se procede en sentido opuesto de causas a efectos, puede remontarse a la antigüedad griega. Las explicaciones causales, por ejemplo, implican típicamente la composición (síntesis)

de cadenas de relaciones causa-efecto que conducen al fenómeno que se explicará. Dentro de las matemáticas, la distinción entre los métodos analíticos y sintéticos, ya definidos por Euclides, recibió su forma canónica en la distinción entre geometría analítica y sintética; el enfoque analítico presupone qué solución se debe dar y cuáles son las razones para llegar a las proposiciones que pueden tomarse para ser verdaderas, mientras que el enfoque sintético ofrece las proposiciones verdaderas a la solución buscada. Por lo tanto, la caracterización del diseño en ingeniería como una actividad sintética no ayuda mucho cuando se aclara qué tipo de actividad es. Muchas actividades para la resolución de problemas, incluyendo el diseño de ingeniería y la investigación científica, pueden ser consideradas de naturaleza analítica y sintética, ya que emplean métodos analíticos así como sintéticos. ¿Significa esto que la distinción analítico-sintética es irrelevante para entender la naturaleza del diseño de la ingeniería, especialmente en comparación con la naturaleza de la investigación científica? Es un asunto que queda por ver. A pesar de que en un nivel muy general de diseño de abstracción y la investigación, puede ser caracterizado como formas de resolución de problemas que implican métodos analíticos y sintéticos, puede haber diferencias entre los tipos de problemas involucrados en los dos campos que conducen a diferentes funciones de los métodos analíticos y sintéticos utilizados para resolver estos diferentes tipos de problemas. Considere un problema típico de la investigación en ingeniería, como la cuestión de determinar si una construcción dada será capaz de soportar una cierta carga con la ayuda de la mecánica y comparar eso con un problema de diseño de ingeniería típico, como el de encontrar una construcción que satisface una lista de requisitos, uno de los cuales es que debe ser capaz de soportar una carga determinada. No es obvio en absoluto que este tipo de problemas, requieran el mismo tipo de habilidades analíticas y sintéticas. Del mismo modo, no está claro si lo que Hacking [1983] ha llamado la creación de fenómenos en la investigación científica, es comparable como una actividad sintética, a la creación de artefactos técnicos. No es difícil señalar las diferencias entre estos dos tipos de actividades creativas que podrían hacerlos diferentes como actividades sintéticas. La creación de fenómenos en la ciencia puede ser analizada como la síntesis de cadenas de causa-efecto con las condiciones iniciales y límites que son tales que el todo sintetizado exhibe un cierto fenómeno. La creación de artefactos técnicos, sin embargo, implica la síntesis de componentes funcionales que juntos se dan cuenta de la función general de un artefacto técnico. Además, en el caso de la creación de artefactos técnicos, el objeto creado o sintetizado puede funcionar mal; sin

embargo, la noción de mal funcionamiento, no tiene sentido para un fenómeno creado en la investigación científica. Ambos tipos de actividades sintéticas resultan en la creación de diferentes tipos de entidades. Por lo tanto, el diseño de artefactos técnicos parece ser una actividad sintética con características distintivas propias. Desde un punto de vista filosófico, poco se sabe acerca de lo que son estas características sintéticas distintivas de diseño en ingeniería. Esto se debe a que el diseño en ingeniería o diseño en general no ha recibido mucha atención dentro del campo de la filosofía. Cada vez que se discute, es generalmente dentro del contexto del argumento del diseño, un contexto que está solamente oblicuamente relacionado con la práctica de la ingeniería. Falta un análisis filosófico sistemático del diseño en ingeniería, lo cual no es sorprendente, dado que la filosofía de fabricación y la filosofía de artefactos técnicos, a los que está estrechamente relacionado, son campos marginales dentro de la filosofía convencional. La noción de diseño está en urgente necesidad de una explicación filosófica adicional. Las breves observaciones anteriores indican que esa explicación filosófica vinculará esta noción con los problemas tradicionales de la filosofía. Aunque la caracterización intuitiva del diseño como actividad sintética, a diferencia de la investigación como actividad analítica, puede ser muy atractiva, esta concepción específica de la distinción de análisis sintético necesita más aclaraciones. Bien puede ser que, al igual que la distinción entre declaraciones analíticas y sintéticas ha sido atacada [Quine, 1951], por lo que la distinción entre métodos analíticos y sintéticos tendrá que ser reconsiderada (para un debate sobre esta distinción ver, por ejemplo, [Beaney, 2007]). Otro tema filosófico tradicional al que se relaciona la noción de diseño es la distinción entre objetos artificiales y naturales, ya que los objetos artificiales se caracterizan a menudo como la realización material, la ' Encarnación ' de diseños humanos (o más en general, las ideas humanas). Aquí nos encontramos con la noción de diseño como se entiende en forma de sustantivo, como algo que es el resultado del diseño en un sentido verbal, una noción que, aunque familiar para cualquier Ingeniero, también requiere más contextualización. En vista de este estado de cosas, esta parte del informe no presenta una visión ordenada, sistematizada y exhaustiva de los temas más importantes que caen bajo la filosofía del diseño y cómo esos temas han sido tratados hasta ahora por los filósofos. Es mucho más un intento de explorar el dominio inexplorado de la filosofía de diseño en ingeniería, mediante la discusión de varios temas en este campo. Comienza con una visión histórica del desarrollo del pensamiento de diseño de Richard Buchanan. Este Resumen presenta un trasfondo general para la discusión de una serie de más temas

específicos. El primero de estos, analizado por Kees Dorst y Kees van Overveld, se refiere al problema de cómo clasificar diversas prácticas de diseño en diferentes tipos. A esto le sigue una discusión de Marc de Vries, sobre un problema encontrado en cualquier tipo de práctica de diseño en ingeniería, a saber, cómo pasar de los requisitos del cliente a las especificaciones técnicas. A continuación viene un análisis de Peter Kroes de una serie de problemas conceptuales relativos a la noción de diseño visto como un verbo y como un sustantivo. También se incluye una contribución de William Wood, sobre un problema que es de creciente importancia para la práctica de diseño en ingeniería, a saber, cómo representar las funciones (es decir, las propiedades funcionales) de artefactos técnicos en los ajustes formales o computacionales. Le sigue un análisis del papel y los límites de la racionalidad en el diseño de ingeniería por Peter Kroes, Maarten Franssen y Louis Bucciarelli. Una discusión sobre el diseño de los sistemas socio técnicos por Johannes Bauer y Pauline Herder cierra esta parte del informe. La mayoría de las contribuciones son exploratorias y los temas discutidos plantean desafíos interesantes para los ingenieros, así como para los filósofos. Esa es la razón por la que nos hemos acercado tanto a los ingenieros como a los filósofos para contribuir a esta parte. Nuestra firme convicción de que la filosofía del diseño en ingeniería es un campo que debe desarrollarse a través de una estrecha colaboración entre ingenieros y filósofos. Por último, hay algunos temas que están visiblemente ausentes, a pesar de nuestros esfuerzos por incluirlos. Uno de los más importantes es la noción de compensaciones. Desempeña un papel central en el pensamiento de diseño en ingeniería y plantea cuestiones metodológicas fundamentales (algunos aspectos de las compensaciones se discuten brevemente en la parte V de este volumen). Otra omisión es una visión general de los resultados más importantes de la metodología de diseño. Los ingenieros de diseño y los metodólogos han desarrollado una gran cantidad de métodos y técnicas que pretenden apoyar la solución de los problemas de diseño. Una encuesta sistemática de la filosofía del diseño, sin duda, debería incluir estos temas. Otros temas de interés para una filosofía de diseño, tales como el método de descomposición funcional o razonamiento de fin de medios no se abordan en esta parte.

#### PENSANDO EN EL DISEÑO: UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA (Richard Buchanan)

Los logros de la metodología de diseño en el siglo XX reflejan una investigación práctica, coherente sobre la naturaleza del mundo hecho por los humanos. Este hecho se basa en un pluralismo filosófico que relaciona los temas, los

métodos de pensamiento y acción, y los principios rectores del diseño. La investigación sigue tres estrategias principales de investigación: dialéctica, investigación retórica y ciencia productiva, y la ciencia del diseño. El origen de estas estrategias puede ser rastreado hacia el mundo antiguo, pero el desarrollo de estas estrategias desde el Renacimiento hasta el siglo XIX son una influencia condicionante en las discusiones del siglo XX. En el siglo XX, los métodos tradicionales de diseño de la artesanía y el dibujo fueron elevados a través de la práctica, la educación y la reflexión filosófica para abordar muchos de los complejos problemas de producción que surgieron con las nuevas circunstancias tecnológicas y las nuevas redes sociales. Los problemas del diseño en ingeniería, paralelos a los problemas en áreas como el diseño industrial, la planificación urbana y la arquitectura. Las investigaciones metodológicas se centraron en la secuencia o fases del diseño, como el análisis, la síntesis y la evaluación, así como en los principios y objetivos del diseño. El resultado no fue una sola teoría o sistema de diseño, sino un pluralismo de enfoques que representan la ecología de la cultura del diseño.

#### A.1.- INTRODUCCION

Cada arte y cada ciencia de la investigación teórica, práctica o productiva, puede distinguirse por su tema, los métodos característicos de pensamiento y acción, y los objetivos o principios rectores. El objeto común del diseño se describe variadamente como el artificial o el hecho por el hombre, o productos que apoyan a los seres humanos en todas sus actividades individuales y colectivas. Desde esta perspectiva, la historia del diseño en el siglo XX, representa un pensamiento práctico coherente en el tema del mundo hecho por el hombre, desplegando en una secuencia que se forma por los problemas fundamentales de pensar y de hacer, cuya continua exploración sigue influyendo virtualmente en todos los aspectos de la vida cotidiana. Esto se refleja en el concepto en expansión de "producto." A principios del siglo XX, el "producto" significaba típicamente un artefacto físico, el resultado del diseño industrial, la ingeniería o la arquitectura. A finales de siglo, el concepto de "producto" se había ampliado para significar cualquier resultado del trabajo creativo de los diseñadores, y el concepto de "diseñador" se había ampliado correspondientemente para incluir a cualquier individuo cuyo trabajo implicó pre-pensamiento en la concepción y planificación de cualquier aspecto del mundo humanamente hecho. Los productos se dividieron generalmente en cuatro clases generales, a veces conocidas como las cuatro órdenes de diseño, reflejando los problemas fundamentales que los diseñadores fueron llamados a abordar en su

trabajo: la comunicación a través de signos y símbolos; construcción y fabricación de artefactos de cualquier escala; deliberación en acciones, actividades, servicios y procesos de planificación; y la integración o sistematización en la que se englobe a las organizaciones sociales, los ambientes físicos, humanos y simbólicos, y las culturas. La exploración de estos problemas condujo a otros temas particulares o apropiados de diseño, manifestados en una variedad de profesiones proliferantes asociadas al diseño, cada una guiada por sus propios métodos característicos de práctica. Sin embargo, hay una dificultad incrustada en una cuenta que complica nuestra comprensión del diseño. Las materias no vienen preparadas, aunque los problemas en los que se basan puedan sugerir que este es el caso. Los temas son hechos por métodos de investigación, si la investigación es formal y teórica o pragmática y práctica. Desde esta perspectiva, la historia del diseño representa no sólo un pluralismo de materias y productos, sino también un pluralismo de las artes, los métodos y las técnicas empleadas por los diseñadores y los que investigan el diseño. La relación de la materia y el método, hace cualquier esfuerzo para evaluar los logros de la metodología del diseño un problema filosófico, así como un problema práctico o histórico, porque el "método" está abierto a interpretaciones bruscamente diferentes basadas en suposiciones filosóficas, si esas suposiciones son abiertamente reconocidas o tácitamente mantenidas. Por lo tanto, en lugar de estudiar los temas de diseño y cómo condujeron al establecimiento de métodos de práctica, también es razonable estudiar los métodos de pensamiento y acción en el diseño, porque es la función del método para descubrir problemas de investigación, identificar los temas potenciales para la exploración, investigar esos temas en el pensamiento y la acción, y establecer los principios que explican los diferentes temas, dándoles forma y propósito en la comunidad humana. El concepto de "método" en la cultura occidental tiene su origen en la filosofía griega [McKeon, 1998, p. 166] (véase también [Mitcham, 1994]). Platón fue el primer filósofo en usar el término método o "camino después." Junto con una variedad de términos relacionados como "camino", "razón", "modo", "tratamiento" y "arte" utilizado por filósofos anteriores, empleó métodos en el contexto de la dialéctica, el arte por el cual exploró opiniones e ideas sobre todos los temas, incluyendo los hechos por el ser humano (Productos). A su vez, Aristóteles también utilizó la variedad de términos anteriores, pero empleó métodos como un término técnico en su filosofía, utilizarlo para tratar tanto las artes del intelectual (retórica, dialéctica, y la lógica) y las Ciencias (teórico, práctico, y productivo). Según Aristóteles, había un tercer método o forma en la filosofía griega, atribuido a Demócrito como la forma "física",

donde las ideas se derivan de sensaciones y donde las simples atómicas se combinan en composiciones y síntesis más grandes en una realidad materialista. Platón es generalmente silencioso en este método, pero Aristóteles comenta que su propio método está a medio camino entre la forma dialéctica de Platón y la forma física de Demócrito. Aparte de la discusión filosófica de los productos hechos por el hombre en el mundo antiguo, los tratados técnicos supervivientes sobre la arquitectura, la construcción, la ingeniería y otros productos hechos por el hombre fueron típicamente guiados por una combinación de retórica y ciencia productiva en lugar de por dialéctica o por el método físico de los atomizadores. La retórica se centró en el carácter ético e inventivo del artista o diseñador; la ciencia productiva se centró en la disciplina y los métodos de fabricación y las propiedades de la cosa hecha. Un buen ejemplo es uno de los diez libros sobre arquitectura de Vitruvius, que es considerado el Tratado más antiguo sobreviviente de la ingeniería, así como la arquitectura en la cultura occidental. Este Tratado se basa en la concepción de la retórica de Cicerón y, a su vez, se centra en la arquitectura como una disciplina para hacer edificios, instrumentos para medir el tiempo y armas de guerra. En China, sin embargo, los tratados técnicos tendían a combinar la dialéctica y la retórica, colocando artefactos y otros productos hechos por el hombre en un contexto de vida práctica organizada en jerarquía social y guiados por deberes y obligaciones para una autoridad superior. Todos los términos y distinciones empleados en la discusión de la metodología de diseño y diseño en el siglo XX ya se inventaron y el tema de debate en el mundo antiguo con respecto a una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo productos hechos por el hombre. La exploración continua de estos términos a lo largo de la historia de la cultura occidental, sirve como un trasfondo y una influencia condicionante para entender su aplicación al diseño. Estos términos incluyen el análisis y la síntesis, la invención y el juicio, la división y la composición, la forma y la materia, el elemento y la estructura, común y adecuado, la probabilidad y la certeza a priori, teórica y práctica, demostración y prueba, inducción y deducción, la tecnología, los modales lógicos (necesidad, contingencia, posibilidad e imposibilidad), y la visualización a través del "esquemático". La exploración de los métodos de diseño en el siglo XX coloca estos términos y distinciones en el contexto de tres grandes estrategias de investigación que resuenan los tres métodos o "maneras" del mundo antiguo: dialéctica, investigación, y la ciencia del diseño. Para todas las variedades de dialéctica que han ocurrido a lo largo de la historia, que van desde el idealista al materialista a la dialéctica escéptica y pragmática, la estrategia común de dialéctica es superar los conflictos, las

contradicciones y las oposiciones encontradas en vida cotidiana trayéndolos dentro de un sistema u ordenados enteros, considerados variamente como ser, determinismo material e histórico, conciencia fenomenológica o experiencia. Como dice Jaspers, "la verdad comienza con dos" [Jaspers, 1951, p. 124]. La estrategia dialéctica en el diseño es identificar y superar opiniones y oposiciones contradictorias sobre cuestiones como la forma y la materia, los valores que poseen los productores y los valores que poseen los consumidores, o los diversos requisitos conflictivos que afectan a los productos creados por diseñadores. En cambio, la estrategia de investigación es buscar la resolución de problemas teóricos, prácticos o productivos y avanzar hacia el avance del conocimiento en las diversas ramas del aprendizaje y la actividad humanas. Puede tomar la forma de investigación retórica sobre el poder inventivo y creativo del diseñador y su capacidad para efectuar el cambio social a través de la discusión y la comunicación. O, puede tomar la forma de una poética o ciencia productiva del mundo humano, centrándose en el análisis de los elementos esenciales de los productos (por ejemplo, la forma, la función, los materiales y la forma de producción) y la síntesis creativa de estos elementos en las diversas ramas de diseño, teniendo debidamente en cuenta cómo se diseñan, producen y distribuyen los productos, así cómo evolucionan los productos en uso para apoyar a la comunidad humana. Por último, en contraste con las estrategias de la dialéctica y la investigación, la estrategia de la ciencia de diseño es buscar elementos básicos que subyacen a las complejidades del mundo material y el funcionamiento de la mente y, a continuación, a investigar los procesos y mecanismos por los que se combinan esos elementos para producir el mundo de la experiencia y los procesos cognitivos de diseño.



Figura 1.

La interacción de estas estrategias ayuda a explicar la diversidad desconcertante de la práctica de diseño y la investigación de diseño en el siglo XX, así como la tendencia común a fusionar los problemas del método de diseño con los problemas de la tecnología. Proporciona un marco para evaluar los logros de los métodos de diseño y la metodología entre las muchas ramas aliadas del diseño. Sin embargo, si bien estas amplias estrategias proporcionan los fundamentos de los métodos de diseño y la metodología en el siglo XX, es importante señalar que su persecución en la mayoría de los casos no fue informada con ninguna conciencia significativa de la historia, la filosofía y recursos intelectuales que, de otro modo podrían haber contribuido al desarrollo del pensamiento de diseño y la práctica del diseño. Por lo tanto, presenciamos tanto exploraciones originales como el redescubrimiento gradual de las tradiciones intelectuales en el establecimiento de los fundamentos del diseño. Contendida dentro de la relación de la materia y el método en el diseño, es el problema adicional de las diversas tradiciones, dentro de las cuales el diseño se ha practicado en el pasado y en el que el diseño y sus productos han recibido atención. Estas tradiciones afectaban seriamente los métodos empleados por los diseñadores, y también apuntan hacia dos de los problemas filosóficos que son cuestiones significativas en la práctica del diseño: el problema de las partes y los "todo" y el problema de los medios y de los fines (también denominados el problema de lo útil (utilia) y el bueno (honesta) o el problema de uso y disfrute). Hay una larga tradición de asociar el diseño con las Bellas Artes, ya que la creación de productos prácticos es similar a la creación de obras de arte como pinturas o esculturas, que son experimentadas, entendidas y valoradas en su totalidad. Por esta razón, el diseño era a menudo considerado como una forma de arte aplicada o comercial. Esta asociación continúa en todas las culturas, afectando la comprensión del método de diseño. Sin embargo, también existe una larga tradición de asociar el diseño con la tecnología, entendida en un sentido amplio y ambiguo como el "arte de la ciencia" o la "ciencia del arte", derivada de las antiguas raíces de la palabra ("TECHNE" y "Logos"). En esta tradición, el diseño y la ingeniería también están asociados con las ciencias naturales y las matemáticas, ya que la creación de artefactos, ya sean simples o complejos, requiere alguna forma de cálculo y previsión sobre los materiales, la energía y cómo las partes de un producto pueden ser fabricados, combinados y ensamblados para soportar cargas, distribuir el estrés y el calor, y así sucesivamente. Por esta razón, el diseño y la ingeniería se consideraron a menudo como una forma de "mecánica práctica" o ciencia aplicada, con énfasis en el análisis de piezas antes de su

composición o síntesis en “todo”. Ambas tradiciones son evidentes en el diseño a principios del siglo XX, representando un acercamiento de los “todo” a las partes o de las partes a los “todo”. Pero también se evidencian otras dos tradiciones, menos frecuentemente comentadas en las discusiones técnicas del diseño. Representan exploraciones alternativas del problema de los medios y de los fines, que a veces se refundan como el problema de lo útil y lo bueno. Una es la tradición de pensar en el diseño y los productos del diseño en el contexto de la ciencia política, la economía y el comportamiento social. La riqueza de las Naciones, la división de trabajo, las implicaciones sociales del trabajo y la distribución justa de bienes: estos y muchos temas relacionados proporcionaron un trasfondo y contexto para considerar las implicaciones de la industrialización en el mundo moderno. Condujeron a discusiones políticas sobre diseño y tecnología en el siglo XX, y también condujeron, eventualmente, a exploraciones de diseño y tecnología en el contexto de las ciencias sociales y conductuales, la gestión y la teoría de la organización. La otra tradición fue tal vez incluso menos comentada a principios del siglo XX, pero a finales del siglo se había incrementado al menos a la misma influencia en el desarrollo del diseño. Esta es la tradición de la filosofía, el humanismo y la reflexión espiritual sobre el lugar del diseño en la cultura humana y la vida espiritual. A mediados del siglo XX, esta tradición ya ejercía una considerable influencia en el desarrollo de métodos y metodologías de diseño. Aunque la influencia temprana de esta tradición era a veces sutil y fácilmente ignorada, uno puede argumentar que eventualmente, ejerció una influencia decisiva en la conformación de la investigación y el desarrollo de los métodos de diseño. La interacción de estas tradiciones proporciona una matriz teórica y práctica en la que el desarrollo de métodos y metodologías de diseño puede entenderse mejor sin reducir ese desarrollo a las condiciones materiales que se desarrollan, el poder creativo de individuos, o ideas y valores culturales amplios. La matriz apunta hacia una ecología de la cultura del diseño que proporciona un contexto rico para entender cómo el auge de las nuevas tecnologías influyó en los métodos de diseño; Cómo la educación y las escuelas ayudaron a avanzar en el estudio formal de los métodos de diseño; Cómo el concepto profundamente ambiguo de la "ciencia" se enredó en nuestros esfuerzos por entender el pensamiento de diseño; y cómo la práctica de diseño pragmática estaba cada vez más influenciada por la investigación de diseño. Además, la matriz ayuda a explicar la compleja relación entre los estudios de diseño y el trabajo práctico de los diseñadores que exploran el pensamiento de diseño a través de la acción y la producción. Los estudios de diseño — la historia, la crítica y la teoría del diseño, así

como la investigación sobre el diseño a través de la investigación empírica y la especulación filosófica — se desarrollaron gradualmente a lo largo del siglo XX, ejerciendo progresivamente una mayor influencia en el estudio de métodos y metodologías de diseño. Los logros del diseño y los logros de la metodología de diseño en el siglo XX están íntimamente relacionados. Entre estos logros, varios se destacan con el potencial de un significado duradero en el futuro. Uno es, de hecho, una conciencia más profunda de la naturaleza de lo artificial en nuestra vida y el alcance de lo que debe considerarse artificial o hecho por el hombre, con un sentido concomitante de responsabilidad humana en su creación. Otro es un legado de seria reflexión sobre las artes, métodos y técnicas de diseño, manifestándose en un pluralismo de enfoques a los problemas y procesos de pensamiento y acción en el diseño. Estrechamente relacionado con esto es el esfuerzo para reunir las artes de las palabras con las artes matemáticas de las cosas: para eliminar la separación entre la teoría y la práctica, trayendo una discusión filosófica sobre cómo debemos llevar nuestras vidas de nuevo en estrecha relación con las acciones prácticas y concretas que podemos tomar en la creación del mundo humano.

Por último, uno de los logros más importantes es un reconocimiento creciente de la dignidad del diseño en la cultura humana. Lo que una vez se consideró una actividad servil sin base intelectual o filosófica — una práctica menor en la sociedad — se ha transformado en un tema que es digno de investigación tanto en el pensamiento como en la acción, reconocido por su servicio a los seres humanos y el avance de la cultura.

#### A.2.- MÉTODOS DE DISEÑO TRADICIONAL Y EL AUGE DE LA EDUCACIÓN PARA EL DISEÑO

Aunque las raíces filosóficas del diseño pueden ser rastreadas hacia el renacimiento y el trabajo de individuos como Pico della Mirandola, Francis Bacon, y Galileo Galilei, el diseño surgió en el siglo XX con dos métodos de práctica. El primero fue el método artesanal, basado en las prácticas tradicionales de ensayo y error en la fabricación de artefactos y la evolución gradual de las formas de productos adaptadas a circunstancias particulares. Este fue un método experimental, primero incrustado en el trabajo artesanal en su conjunto y luego gradualmente separado de la fabricación de la máquina debido a la industrialización. Los prototipos de fabricación, con la anticipación de su eventual fabricación por métodos de máquina, proporcionan una manera de explorar las formas y materiales,

así como las partes y agujeros del producto. El segundo método de diseño se centró en el dibujo y la habilidad de dibujante. En este método, el diseñador esboza posibles formas de productos que satisfacen las necesidades de los fabricantes y el mercado y luego desarrolla dibujos detallados a escala que se pueden utilizar como instrucciones o especificaciones para guiar la fabricación y la construcción. La visualización a través del dibujo, tiene una larga historia en el diseño, desempeñando un papel importante en la arquitectura, la ingeniería, el diseño industrial y otras ramas del diseño. Los puntos fuertes y débiles de este método son bien descritos por John Christopher Jones en una de las obras más importantes sobre los métodos de diseño en el siglo XX [Jones, 1992]. En esencia, el dibujo eleva la tarea del pensamiento de diseño fuera de las manos del artesano, que se limita al trabajo físico de los materiales en un solo caso, y coloca el ensayo y error de la artesanía en un medio que permite la experimentación rápida y el cambio. Las ventajas son varias. Al especificar piezas y “todo”, el dibujo permite que la producción se divida entre una variedad de pasos o procesos. También permite al diseñador concebir productos que son demasiado grandes y complejos para ser fabricados en prototipos artesanales. Por último, como Jones señala, el dibujo permite la producción simultánea de diferentes partes antes del montaje, acelerando así la tasa de producción. Se podría añadir que el dibujo también permite una cuidadosa consideración de los diversos factores de ingeniería que se basan en la producción, incluyendo las leyes físicas, las propiedades del material, y, eventualmente, los problemas de potencia y electrónica. El método de dibujo apoyó la estandarización, sobre la cual la producción y fabricación en masa del siglo XX dependía de su eficiencia y ventaja económica. El dibujo también era esencial, junto con otras formas y procesos de las artes visuales, incluidos los avances tecnológicos en áreas como la fotografía, para el desarrollo de la tipografía, la impresión y, eventualmente, la comunicación masiva, ya que llegó a ser entendida en el siglo XX [Meggs, 1983]. Los dos métodos tradicionales de diseño siguieron siendo importantes a lo largo del siglo XX en muchas ramas del diseño, pero fueron gradualmente moldeadas, transformadas y desarrolladas por diferentes estrategias de investigación. Un ejemplo surgió incluso a finales del siglo XIX, y demostró ser un presagio de la crítica social del diseño y la tecnología en el siglo XX. Reaccionando contra el diseño inferior y la pérdida de calidad en los productos industriales — y, por extensión, la pérdida de calidad en la práctica del diseñador entrenado por la industria — William Morris criticó todo el sistema comercial capitalista que puso la codicia por encima de la calidad y responsabilidad social. La mala calidad, para

Morris, no era un problema técnico o artístico. Más bien, fue una consecuencia de "la gran máquina intangible de la tiranía comercial, que nos oprime a todos" [Morris, 1914, p. 352]. Esta visión condujo al movimiento de Artes y oficios, que impulsó el regreso a la tradición artesanal del pasado, basada en la intuición y la creación artística individual de productos integrales. No fue un retorno puro al pasado preindustrial, porque la industria era claramente parte de las nuevas circunstancias de la sociedad y la cultura. En cambio, la artesanía se convirtió en una voz opuesta a la industrialización. En este sentido, fue una expresión de una estrategia dialéctica de investigación inicialmente extraída de Marx y luego aplicada a través de ideas socialistas en una crítica dialéctica escéptica de los efectos de la industrialización y la producción masiva sobre el espíritu humano en general y La cultura británica en particular. La crítica del sistema comercial Iniciado por John Ruskin y William Morris y sostenida por el movimiento de Artes y oficios, condujo a nuevas formas de pensar en los métodos de diseño y diseño en el contexto de la cultura industrial. Condujo a la artesanía como una voz opuesta a la industrialización, pero también condujo a nuevos esfuerzos para incorporar el arte dentro de la industria, tanto en la práctica de diseño y en los programas educativos que dieron a los artistas formación práctica para el trabajo en la industria. Esta fue la respuesta de diseñadores como Henry van de Velde y Peter Behrens, y fue también la respuesta de los esfuerzos educativos como el Deutscher Werkbund, que fueron dirigidos hacia el cultivo del arte aplicado, con los diversos métodos idiosincrásicos y técnicas que los artistas pueden emplear en la creación. Esta forma de tratamiento persistió a lo largo del siglo XX en muchas escuelas de arte y academias de arte y eventualmente en los departamentos de "arte y diseño" de muchas universidades. Para otros, sin embargo, el sistema industrial y comercial no era, en sí mismo, la causa de la mala calidad en el diseño y la fabricación, y la respuesta a los problemas de la industrialización no era un retorno a la artesanía o revivir el diseño artístico. En cambio, la respuesta estaba en una mejor educación de diseño, informada con el humanismo de propósito ético y social. Y la clave para mejorar la educación yacía precisamente en el método. Walter Gropius, director fundador de la Bauhaus, apunta hacia un "método sintético" que busca combinar el conocimiento técnico con la visión artística: El mejor tipo de enseñanza práctica es el antiguo sistema de aprendizaje libre para un maestro artesano, que estaba desprovisto de cualquier mancha escolástica. Esos viejos maestros artesanos poseían una habilidad práctica y formal en igual medida. Pero como ya no existen es imposible revivir el aprendizaje voluntario. Todo lo que podemos sustituir es un método sintético de traer influencias prácticas y formales

para soportar al alumno simultáneamente combinando la enseñanza de técnicos de primera calidad con la de artistas de mérito sobresaliente. [Gropius, 1965, págs. 72 – 75]El método propuesto por Gropius, e implementado en la Bauhaus, está claramente destinado a ser de naturaleza estratégica, un "enfoque", a diferencia del método como habilidad o técnica. La enseñanza de un método de acercamiento es más importante que la enseñanza de las habilidades. Debe ser un proceso continuo que debe crecer concéntricamente como los anillos anuales de un árbol. En todas sus etapas, el alcance debe ser todo-envolvente en lugar de seccional, aumentando lentamente en intensidad y detalle en todos los campos de la disciplina al mismo tiempo. La integración de toda la gama de conocimientos y experiencia es de la mayor importancia desde el principio; sólo entonces la totalidad del aspecto tendrá sentido en la mente del estudiante. Absorberá fácilmente todos los detalles y los colocará donde pertenezcan si progresa de la totalidad a los detalles, y no viceversa. [Gropius, 1970, p. 49 – 50]Además, el método es un "arte arquitectónico" para el mundo moderno, donde el arte es "arquitectónico" en el sentido griego antiguo de la palabra, ya que es utilizado por Aristóteles: proporcionar principios organizativos para todos los aspectos de la actividad humana, ya sea en el pensamiento o en la acción. Así, la Bauhaus fue inaugurada en 1919 con el objeto específico de realizar un arte arquitectónico moderno, que al igual que la naturaleza humana estaba destinada a abarcar todo en su ámbito de aplicación. Se concentró deliberadamente, principalmente en lo que ahora se ha convertido en una obra de urgencia imperiosa: evitar la esclavitud de la humanidad por la máquina, salvando la producción en masa y el hogar, de la anarquía mecánica y restaurándolos a propósito, sentido y vida. Esto significa, evolucionar bienes y edificios diseñados específicamente para la producción industrial. Nuestro objetivo era eliminar los inconvenientes de la máquina sin sacrificar ninguna de sus ventajas reales... Experimentar una vez más se convirtió en el centro de la arquitectura, y que exige una mente amplia, coordinada, no el especialista estrecho... Nuestro principio rector era que el diseño no es ni un intelectual ni un asunto material, sino simplemente una parte integral de las cosas de la vida, necesarias para todos en una sociedad civilizada. [Ibid., págs. 19-20]Las características esenciales del método de Gropius son fáciles de discernir en el currículo de la Bauhaus. El famoso curso preliminar se centró en experimentos, en temas prácticos de materiales y forma o técnica, impartido por "técnicos" y formalmente sintetizados por "artistas de mérito sobresaliente." A medida que se desarrollaba el dominio práctico, el estudiante se movía hacia la creación de sus propios diseños en el contexto completo de un entorno comercial, combinando los

elementos de los materiales, la manera, la forma y la función en un trabajo sintético o creativo, adecuado para la producción. En Resumen, los aspectos intelectuales y materiales del diseño se reunieron en una estrategia pragmática de diseño como investigación, dirigida hacia un resultado práctico en un producto específico. Para apoyar esta estrategia, sin embargo, Gropius también señala una característica más que él consideraba como una de las contribuciones más importantes del nuevo método de la Bauhaus y su investigación. Esta fue una gramática del diseño, basada en el fenómeno de la vista humana y las experiencias psicológicas con la forma, el espacio y el color. El establecimiento de una gramática de este tipo era, para Gropius, un prerrequisito para el diseño, sirviendo como "el agente de control dentro del acto creativo" [Ibid., p. 43]. La gramática del diseño se centró en el lenguaje visual empleado por todos los diseñadores, y proporcionó un terreno común y la comprensión de los elementos que se sintetizan en forma y se centró en el propósito comunicativo y práctico por el diseñador. La expresión formal de este método vino en varios discursos de Gropius a lo largo de su carrera, en explicaciones del nuevo currículo de la Bauhaus, y, más tarde, en dos libros publicados en 1955 y 1956, después de que se trasladó a los Estados Unidos y se unió a la Facultad de la Universidad de Harvard. También se expresó en la visión en movimiento de Laszlo Moholy-Nagy (1947). Sin embargo, una de las expresiones más sucinta de "el método" es un artículo de Moholy-Nagy publicado en 1944 como "potencialidades de diseño" y más tarde incluido en visión de movimiento [Moholy-Nagy, 1947]. Este breve artículo es un documento importante para comprender el desarrollo de los métodos de diseño en el siglo XX, porque presenta una clara ilustración de la estrategia de investigación basada en la idea de diseño como poética o ciencia productiva. El artículo comienza con la declaración de un problema: el principio de "forma sigue la función" y su degradación en un eslogan barato. La hipótesis es que los avances en las ciencias naturales han proporcionado nuevos materiales y métodos de producción (tecnología) que han confundido y difuminado el significado del funcionalismo, requiriendo una nueva investigación sobre su significado en nuevas circunstancias. El resto del artículo se divide en dos partes: el análisis de los elementos de diseño en el contexto de nuevos conocimientos, centrándose en el cambio de materiales, la forma de producción, la forma y la función; y el problema de la síntesis, basado en el uso de la lógica del artista para entender los elementos separados y la intuición para captar sus relaciones en todo el producto como se encuentra en la sociedad. El artículo concluye con una revisión de las tareas del diseñador en las nuevas circunstancias de la sociedad y la cultura. La Bauhaus

posterior, reconstituida en medio de la salida de Gropius y Moholy-Nagy y el turbulento clima político en la Alemania nazi a finales de la década de 1920, se dirigió por un corto tiempo bajo la dirección de Hans Meyer hacia un enfoque dialéctico marxista que comenzó a enfatizar la sociología, la teoría política, y el servicio del diseño a la producción masiva mientras que digieren el papel del arte arquitectónico en el sentido desarrollado por Gropius y Moholy-Nagy. La idea del diseño como poética o ciencia productiva se puso a un lado en la Bauhaus de finales, a favor del diseño como parte de una ciencia materialista dialéctica. Muchas de las ideas sobre el método de diseño desarrollado por Gropius y otros en la Bauhaus temprano, encontraron terreno fértil en los Estados Unidos, pero había pocos desarrollos formales nuevos en la teoría de los métodos de diseño. Una de las razones de esto fue la tendencia de los diseñadores y educadores de diseño en las escuelas americanas a evitar la teoría en favor de enfoques altamente prácticos, operacionales y pragmáticos para la práctica. Las ideas de diseño como ' arte aplicado ' o diseño como ' ciencia aplicada ' comúnmente proporcionaron un marco teórico débil para la educación de diseño y pocas oportunidades para el desarrollo. De hecho, la creciente influencia de la idea de la ciencia aplicada, argumentó Herbert Simon, casi condujo el diseño del currículo de las escuelas de ingeniería [Simon, 1976, PP. 354 – 355]. Sin embargo, se establecieron importantes escuelas de diseño en los Estados Unidos en los años 1930 y 1940, incluyendo programas en el Instituto Tecnológico Carnegie y la nueva Bauhaus. Además, se estaban llevando a cabo dos nuevas investigaciones filosóficas y teóricas que tendrían un impacto significativo en la investigación de los métodos de diseño.

### A.3.- LAS ESTRATEGIAS DE INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DEL DISEÑO

Entre las nuevas investigaciones filosóficas que afectarían al diseño se encontraba la obra de John Dewey, considerada como una de las principales figuras del movimiento filosófico estadounidense conocido como pragmatismo. Publicó arte como experiencia en 1934 y lógica: la teoría de la investigación en 1938. El antiguo libro pronto encontró uso en las escuelas de arte y diseño, incluyendo la nueva escuela Bauhaus de Laszlo Moholy-Nagy en Chicago. El capítulo "tener una experiencia" más tarde se convirtió en uno de los marcos fundacionales para el desarrollo de la nueva práctica de "diseño de interacción" cuando se aplicó el pensamiento de diseño a la interfaz y la interacción entre humanos y computadoras en el centro de investigación Palo Alto de Xerox (PARC), establecido en 1970 para crear "la arquitectura de la información." Arte como Experiencia empleó la

estrategia de investigación para investigar el mundo hecho por los humanos, produciendo una nueva forma de poética o ciencia productiva. En lugar de analizar los factores involucrados en las obras de arte y otros productos, como tal, Dewey analizó los factores involucrados en la experiencia de tales obras. De nuevo, los factores fueron la forma, la materia, la función y la manera, pero se aplicaron a la experiencia. La manera, para Dewey, es tanto el pensamiento creativo del artista, como el "hacer reconstructiva" de aquellos que experimentan productos en uso y disfrute. La forma es el patrón de inicio, desarrollo y cumplimiento en cualquier experiencia; y los materiales de la forma son signos y símbolos, acciones en exceso y cualidades emocionales. Por último, la emoción proporciona la cualidad unificadora que distingue una experiencia estética de una experiencia práctica o intelectual, aunque todas las experiencias implican signos y símbolos intelectuales y acciones en exceso, así como cualidades emocionales [Dewey, 1958, págs. 54 – 55]. En la lógica: la teoría de la investigación, Dewey investigó el método lógico en general. Sin embargo, el trabajo proporcionó una visión de la estructura más profunda del método detrás de arte como experiencia y estableció una base filosófica para el pensamiento de diseño y el diseño como investigación en las últimas décadas del siglo XX, evidente en el trabajo de autores como Donald A. Schon. En la lógica distinguió entre las investigaciones de sentido común y las investigaciones formales o científicas. Designaré el entorno en el que los seres humanos están directamente involucrados en el ambiente de sentido común o "mundo", y las investigaciones que tienen lugar en la realización de los ajustes requeridos en las investigaciones de sentido común de comportamiento.... los problemas que surgen en tales situaciones de interacción pueden reducirse a los problemas de uso y disfrute de los objetos, actividades y productos, materiales e ideológicos... del mundo en el que viven los individuos. Estas investigaciones son, en consecuencia, diferentes de las que tienen el conocimiento como su objetivo. El logro del conocimiento de algunas cosas está necesariamente implicado en las investigaciones de sentido común, pero se produce por el bien de la solución de alguna cuestión de uso y disfrute, y no, como en la investigación científica, por su propio bien. [Dewey, 1964, págs. 60-61].

La diferencia entre las investigaciones de sentido común y las investigaciones científicas formales, Dewey argumentó, "reside en sus respectivos temas, no en sus formas lógicas básicas y relaciones; que la diferencia en aspectos de materia, se debe a la diferencia entre los problemas que intervienen respectivamente; y, por último, que se establece una diferencia en los fines u

consecuencias objetivas que se preocupan por lograr "[Ibid., págs. 114 – 115]. Sin embargo, ambos tipos de investigación siguen un patrón común y se caracterizan por una única definición: "la investigación es la transformación controlada o dirigida de una situación indeterminada en una que es tan determinada en sus distinciones y relaciones constituyentes, convertir los elementos de la situación original en un todo unificado "[Ibid., págs. 104 – 115]. La investigación procede identificando una situación indeterminada o problemática, determinando un problema y una posible solución, desarrollando una hipótesis a través del razonamiento y la experimentación, y alcanzando el objetivo u objeto de investigación, que es transformar la situación indeterminada y sus elementos y relaciones en un todo unificado [Ibid., págs. 105 – 119]. La caracterización de un problema por parte de Dewey es significativa para discusiones posteriores del método de diseño, porque apunta hacia la importancia de la búsqueda de problemas, así como la resolución de problemas. Un problema no es una tarea que se debe realizar, que una persona se pone sobre sí mismo o que es colocada sobre él por otros, como un llamado "problema" aritmético en el trabajo escolar. Un problema representa la transformación parcial mediante la indagación de una situación problemática en una situación determinada. Es un decir familiar y significativo que un problema bien puesto está a medio resolver. Para averiguar cuál es el problema y los problemas que una situación problemática presenta para ser indagadas, es estar bien a lo largo de la investigación. Confundir el problema involucrado es hacer que la investigación subsiguiente sea irrelevante o se extravíe. Sin un problema, hay un caminar a tientas en la oscuridad. La forma en que se concibe un problema decide qué sugerencias específicas se entretienen y cuáles son rechazadas; Qué datos se seleccionan y cuáles se rechazan; es el criterio para la relevancia y la irrelevancia de hipótesis y estructuras conceptuales. Por otro lado, para establecer un problema que no crezca de una situación real es comenzar en un curso de trabajo muerto, sin embargo muerto, porque el trabajo es "trabajo ocupado." Los problemas que se auto configuran son meras excusas para parecer hacer algo intelectual, algo que tiene la apariencia, pero no la sustancia de la actividad científica [Ibid., p. 108]. Para Dewey, el sentido común y las investigaciones científicas emplean símbolos, pero los símbolos de las investigaciones de sentido común son parte de un sistema práctico que está constituido por "las tradiciones, ocupaciones, técnicas, intereses e instituciones establecidas del grupo" [Ibid., p. 115]. Esto se puede aplicar, por ejemplo, a las diversas ramas de la práctica del diseño, cada una con su propio sistema de símbolos para la visualización del diseño, la artesanía, y así

sucesivamente. Sin embargo, las investigaciones científicas surgieron sólo cuando los significados de los símbolos se liberaron de las inquietudes de un grupo limitado y cuando los problemas de sentido común requerían una investigación desinteresada. Entonces, el interés intelectual condujo a la investigación de significados y sus relaciones en sistemas de carácter general o abstracto, comunes a muchas o todas las comunidades de práctica y uso, e independientes de momentos y lugares particulares, aunque, por supuesto, a menudo con gran potencial de referencia y uso en situaciones existenciales reales.

A diferencia de la estrategia de investigación de Dewey, Herbert A. Simon siguió una estrategia positivista que se convirtió en una de las expresiones más claras de la estrategia de la ciencia del diseño en el siglo XX. En lugar de la distinción de Dewey entre los problemas de las investigaciones de sentido común y los problemas de las investigaciones científicas formales, una distinción, por ejemplo, entre las investigaciones de la práctica de diseño y la investigación formal de la poética y la ciencia productiva o cualquiera de las otras ciencias naturales, sociales o conductuales, Simon argumentó que los métodos están organizados en una jerarquía que desciende del tratamiento de los fenómenos más complejos a los más simples. En el nivel más alto están las prácticas comunes de la vida cotidiana, moldeadas alrededor de deseos, valores, preferencias e intenciones. Este es el área de rendimiento humano complejo, que implica la resolución de problemas, el logro de conceptos y una variedad de otros comportamientos inteligentes, incluyendo y a menudo idénticos a las prácticas de diseño. Si bien estos comportamientos pueden ser inteligentes, por lo general se guían más por las "reglas del pulgar" y los "métodos del libro de recetas" que por el análisis lógico y los métodos probados de razonamiento. Por debajo de los métodos de comportamiento diario complejo son los niveles sucesivos de ciencias sociales, conductuales y naturales, con los sistemas de símbolos de las matemáticas y la lógica como la base del pensamiento. La contribución distintiva de Simon a la metodología de diseño radica en la identificación de métodos que están a medio camino entre las prácticas de alto nivel de la vida cotidiana y los métodos de nivel inferior que constituyen las ciencias naturales. Llamó a la zona media, el dominio de las "Ciencias de lo artificial", preocupada por la teoría del diseño, la lógica del pensamiento de diseño, y la variedad de métodos o herramientas que los diseñadores emplean o pueden emplear en su trabajo diario. En esencia, las Ciencias de la búsqueda artificial para explicar los comportamientos complejos y el razonamiento de los diseñadores, sin

reducirlos por completo a las leyes de la ciencia natural. La diferencia entre las Ciencias artificiales y naturales implica la modalidad de su razonamiento. Las ciencias naturales se basan en la temalidad de la necesidad, pero las Ciencias de lo artificial se basan en la contingencia y la posibilidad, así como la necesidad. La contingencia proviene precisamente de las motivaciones de los seres humanos que deben ser consideradas en la transformación de las situaciones existentes en situaciones preferidas. Las ciencias naturales no explican y no pueden explicar adecuadamente el dominio de lo artificial, que es una combinación de leyes naturales y preferencias y motivaciones humanas. El interés de Simon en el diseño no vino directamente de un interés en la ingeniería, aunque eventualmente reveló nuevos métodos que podrían aplicarse particularmente bien al diseño de ingeniería. En cambio, surgió de un interés en las ciencias sociales, las matemáticas y el comportamiento organizacional, comenzando con sus estudios en la Universidad de Chicago, donde la influencia de Dewey se mantuvo fuerte en muchos departamentos. Mientras estaba en Chicago, su mentor fue Henry Schultz, el Econometrista y economista matemático, pero también estudió lógica con el filósofo Rudolf Carnap, un destacado proponente del positivismo lógico. Durante sus estudios de pregrado, Simon formó un interés en la toma de decisiones en las organizaciones, y esto maduró en su tesis doctoral, más tarde publicado como comportamiento administrativo: un estudio de los procesos de toma de decisiones en la organización administrativa (1947). Este trabajo es significativo en el desarrollo de métodos de diseño y diseño por dos razones. En primer lugar, centró la atención explícita en las organizaciones como productos de pensamiento de diseño, ofreciendo una alternativa a los clásicos de la teoría de la organización y los métodos de diseño de la organización desarrollados en la primera parte del siglo XX. El diseño de la organización no es diferente al diseño arquitectónico. Implica la creación de sistemas grandes y complejos que tienen múltiples objetivos. Es ilusorio suponer que los buenos diseños se pueden crear mediante el uso de los llamados "principios" de la teoría de la organización clásica.

Para diseñar una organización requiere equilibrar las consideraciones de competencia, conflicto y Desiderata. No se puede aplicar ningún principio de diseño único sin tener en cuenta las consecuencias de los numerosos principios alternativos que también son aplicables. Los ejemplos que se proporcionan en este libro, muestran cómo la atención a los procesos de toma de decisiones y comunicación proporciona un enfoque alternativo viable para el diseño de la organización, que

dispensa con los "principios clásicos." [Simon, 1945, p. XXII] En esencia, una nueva área problemática y un nuevo tema para el pensamiento de diseño surgieron del libro, abriendo el camino para una variedad de nuevos métodos de diseño que, a lo largo del resto del siglo XX, tienen una influencia significativa en las prácticas de gestión — Aunque los métodos de diseño no siempre fueron los avanzados por Simon y sus seguidores. En segundo lugar, el libro proporcionó el Génesis del enfoque de Simon para el diseño y las Ciencias de lo artificial. Como él comenta, el problema original planteado en el libro, lo llevó en pasos hacia preguntas más profundas y más básicas, que recuerdan el relato de Dewey sobre el surgimiento de investigaciones científicas a partir de los problemas de las investigaciones de sentido común. Cuando lo intenté, comenzando hace 40 años, para encontrar respuestas a algunas preguntas de la organización municipal... Descubrí que ninguna teoría existente podría proporcionar las respuestas, y me obligaron a analizar las formas en que la organización afecta a la elección humana. Al no encontrar mejores respuestas a este nuevo estrato de preguntas, comencé a reexaminar la teoría de la toma de decisiones racional. Esta última tarea me requería, a su vez, asentarme en mi mente, algunos problemas básicos de la lógica. [Ibid., p. XV] A partir de esta obra, Simon se volvió hacia la cognición humana, la toma de decisiones, la resolución de problemas, la inteligencia artificial y la simulación por computadora, dando paso gradualmente a un nuevo enfoque para entender el diseño y las Ciencias de lo artificial. El trabajo más importante de Simon en el diseño es las Ciencias de lo artificial (1969). En cierto sentido, este libro podría ser considerado como una variación moderna de la poética de Aristóteles. De hecho, "las Ciencias de lo artificial" es una traducción inusual pero no errónea de "poética" en el significado de Aristóteles de la ciencia productiva o la ciencia de las cosas hechas. Al igual que los poéticos, el libro de Simon comienza con la identificación del dominio de lo artificial, cuyos límites están fijados por cuatro indicios, haciéndose eco de las cuatro causas que son empleadas por Aristóteles en la poética para analizar hechos-cosas [Simon, 2001, PP. 3 – 5].

- Las cosas artificiales son sintetizadas por los seres humanos (la causa eficiente o Génesis de hechos-cosas)
- Las cosas artificiales imitan la apariencia de las cosas naturales a través de sistemas de símbolos físicos mientras carecen de la realidad de las cosas naturales (la causa material o los medios de hechos-cosas)

- Las cosas artificiales implican la síntesis y la adaptación (la causa formal o el objeto de la imitación en las cosas hechas);

- Las cosas artificiales implican imperativos (la causa o función final y el propósito de las cosas hechas). Estos indicios y sus interrelaciones proporcionan la organización o el "método" del libro. El primer capítulo aborda la génesis de lo artificial en los esfuerzos de los seres humanos para adaptarse, sobrevivir y lograr en un entorno exterior complejo que se rige por las leyes naturales. Los siguientes tres capítulos abordan los medios: el uso de sistemas de símbolos en la economía y la psicología, descansando "directamente en la hipótesis de que la inteligencia es el trabajo de los sistemas de símbolos." El siguiente capítulo aborda la ciencia del diseño y la relación del hombre con su complejo entorno exterior, centrado en el problema de la forma y la síntesis. Simon explica que este capítulo también podría interpretarse como una extensión de la discusión de la psicología, pero en su detalle es una encuesta de herramientas de diseño modernas empleadas para la síntesis y adaptación a través de la creación de formas funcionales en el mundo artificial. Los capítulos finales abordan la Ampliación de las herramientas de diseño a nuevos problemas de complejidad: la planificación social y el diseño de sistemas en evolución, el problema general de la complejidad y la arquitectura de sistemas jerárquicos complejos. Si el amplio marco de las Ciencias artificiales resuena el acercamiento de Aristóteles a las cosas hechas en la poética, la estrategia de investigación y los detalles parten radicalmente de Aristóteles — y de Dewey — y se vuelven hacia la idea positivista de las Ciencias y el método reduccionista que Simon caracteriza como ciencia. Para Simon, la ciencia del diseño es un complemento a las ciencias naturales, pero su investigación es propiamente una investigación de la psicología y cómo los seres humanos se relacionan y se adaptan al complejo entorno exterior del mundo natural en el que buscan sobrevivir y alcanzar [Ibid., PP. 135-136]. La principal función de la invención y el diseño es describir un artificio en términos de su organización y funcionamiento, y la mejor descripción de la síntesis funcional creada por el diseñador proviene de "imitación." La imitación es el principio central de la poética de Aristóteles, porque proporciona la base para la investigación científica metódica en la naturaleza de las cosas hechas. Sin embargo, mientras que Simón considera la imitación como la base de la comprensión de lo artificial, señala que la imitación es mejor llamada simulación en el mundo moderno. Una vez más, el principio y el método de investigación parten radicalmente de Aristóteles, porque se convierte en un análisis funcional de los elementos de las

cosas hechas hacia un análisis reduccionista del acto de simulación en los sistemas de símbolos físicos y psicológicos de procesos y mecanismos. Si la interfaz entre el entorno interno y externo de una entidad compleja puede ser simulada, entonces uno puede afirmar que la interfaz se entiende, al menos en su comportamiento de las facciones, independiente de los materiales en los cuales se lleva a cabo la simulación. En este sentido, la elaboración del diseñador de prototipos y esfuerzos en la visualización son todas simulaciones que prueban la comprensión del diseñador de un artefacto y la capacidad del artefacto para adaptar el entorno natural interior al entorno natural exterior. Sin embargo, Simon argumentó que las computadoras y los programas de computadora ofrecen una herramienta nueva y fundamentalmente importante para la simulación, debido a su capacidad para manipular rápidamente símbolos y rastrear las consecuencias dinámicas de los diferentes sistemas de artefactos. De hecho, para Simon, el desarrollo de computadoras e inteligencia artificial es una característica central de la teoría del diseño y la base de su esperanza para una ciencia de diseño que es analítica, parcialmente formalizable, en parte empírica, y ofrece doctrina enseñable sobre el proceso de diseño [Ibid., p. 113]. En parte sustancial, la teoría del diseño está destinada a ampliar las capacidades de las computadoras para ayudar al diseño, aprovechando las herramientas de la inteligencia artificial y la investigación de operaciones. La necesidad de hacer que la teoría del diseño sea explícita y precisa con el fin de introducir computadoras en el proceso, ha sido la clave para establecer su aceptabilidad académica, su idoneidad para una Universidad. [Ibid., p. 114] Las computadoras no sólo permiten la simulación de sistemas artificiales, sino también la simulación de los procesos de pensamiento que intervienen en la creación de sistemas artificiales. La conexión entre el método de diseño y el comportamiento cognitivo de los seres humanos radica en el uso y la manipulación de símbolos y sistemas de símbolo en el procesamiento de la información. El equipo es miembro de una importante familia de artefactos denominados sistemas de símbolos, o más explícitamente, sistemas de símbolos físicos. Otro miembro importante de la familia, es la mente y el cerebro humanos. Es con esta familia de artefactos, y en particular la versión humana, que nos preocuparemos principalmente en este libro. Los sistemas de símbolos son casi los artefactos de la quintaesencia, para la adaptabilidad a un entorno es toda su razón de ser. Son la búsqueda de meta, sistemas de procesamiento de información, generalmente alistados en el servicio de los sistemas más grandes en los que se incorporan. [Ibid., p. 22].

Esto conduce al análisis del comportamiento cognitivo y el sistema de procesamiento de la información que se encuentra en el núcleo del comportamiento inteligente. Simon descompuso el procesamiento de información en componentes y mecanismos más simples que podrían ser modelados en programas de computadora, y luego trató de mostrar cómo los componentes podrían ser unificados gradualmente para dar coherencia al hombre pensante y su trabajo de diseño. En contraste con las técnicas analíticas del científico, que explica los fenómenos diseccionándolos y separándolos en elementos más simples, el problema fundamental del método de diseño es la síntesis. "Las técnicas del practicante se llaman generalmente " sintéticas". Diseña mediante la organización de principios y dispositivos conocidos en sistemas más grandes "[Simon, 1945, p. 353]. Por lo tanto, para transformar el diseño de un arte en una ciencia, la tarea es desarrollar "una teoría explícita, abstracta, intelectual de los procesos de síntesis y diseño, una teoría que puede ser analizada y enseñada de la misma manera que las leyes de la química, fisiología, y economía, se puede analizar y enseñar "[Ibid., p. 354]. A lo largo de este camino, Simon identifica siete temas iniciales para un currículo de diseño y una teoría del diseño, aplicable en primera instancia al diseño en ingeniería, pero en última instancia, creyó, aplicable a todas las áreas de diseño y todos los problemas de diseño. Los temas son métodos o herramientas de análisis y síntesis. Consisten en heurística, algoritmos y procedimientos de diseño que descomponen el proceso de diseño general en pasos o mecanismos más simples, lo que permite al diseñador tomar decisiones y llegar a una solución sintética coherente a un problema de diseño. Los temas incluyen métodos para evaluar diseños (soluciones óptimas o satisfactorias), buscando soluciones alternativas, estructurando artefactos y el proceso de diseño, en sí, en jerarquías de sistemas y sub-sistemas, y representando problemas de diseño. Tomados en conjunto, los temas proporcionan una teoría formal del diseño o, donde se necesita más investigación para desarrollar la teoría formal, simplemente proporcionan para el tratamiento que es más pragmático y más empírico que los métodos vagos típicamente empleados por los diseñadores. Para Simon, estos métodos reemplazan la comprensión común de la síntesis de diseño como intuitivo, crítico y no totalmente explícito. Pero en ninguna parte necesitamos regresar o retroceder a los métodos del libro de recetas que originalmente pusieron el diseño en desprestigio y lo expulsaron del currículo de ingeniería. Porque existe hoy un número considerable de ejemplos de procesos de diseño reales, de muchos tipos diferentes, que se han definido completamente y se han fundido en metal, por así decirlo, en la forma de ejecutar programas

informáticos: optimización de algoritmos, procedimientos de búsqueda y programas especiales para el diseño de motores, equilibrio de líneas de montaje, selección de carteras de inversión, localización de almacenes, diseño de autopistas, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, etc. Debido a que estos programas informáticos describen procesos de diseño complejos en completo detalle minucioso, que están abiertos a la inspección completa y el análisis, o a prueba por simulación... Los programas son el registro tangible de la variedad de esquemas que el hombre ha ideado para explorar su entorno exterior complejo y para descubrir en ese entorno los caminos hacia sus objetivos. [Simon, 2001, p. 135]La ambigüedad de la "ciencia" es evidente en la relación entre la obra de Dewey y Simon. Para Dewey, la ciencia es una investigación formal sobre los símbolos, significados y sus relaciones, produciendo una comprensión unificada de los fenómenos que son objeto de investigación. El análisis proporciona los elementos funcionales de una situación problemática y la síntesis proporciona las relaciones y conexiones esenciales que conducen a la comprensión unificada. Para Simon, también, la ciencia implica la formalización a través del análisis y la síntesis, pero estos términos tienen un significado distintivamente diferente de los de Dewey. El análisis de los elementos para Simon conduce a las partes y mecanismos más simples de los fenómenos, no a los elementos funcionales de Dewey. Síntesis, entonces, es la agregación de las partes derivadas de análisis, ya que se combinan gradualmente y unificado en sistemas más grandes y más grandes, dando coherencia a la comprensión de los fenómenos. Para Dewey, la ciencia resuelve un problema de investigación, contribuyendo al avance de comprensión teórica y la acción práctica. Para Simon, la ciencia gradualmente construye explicaciones de los fenómenos más simples a los más complejos, haciendo que lo maravilloso y complejo sea comprensible para la mente y mostrando "cómo la complejidad se tejía de la simplicidad" [Ibid., pág. 2].Las implicaciones para el método de diseño son distintivamente diferentes. Dewey proporciona una base filosófica para la ciencia productiva, así como las "investigaciones de sentido común" de individuos como Gropius y Moholy-Nagy y muchos otros que persiguen una estrategia de investigación en la exploración del diseño en la teoría y la práctica. La ciencia, por ejemplo, la "ciencia productiva" o cualquiera de las otras ciencias naturales y sociales-conductuales, es relevante para la práctica, pero los problemas de la ciencia y los problemas de la práctica del diseño son diferentes; el diseñador que practica, utiliza los resultados de las diversas investigaciones científicas para entender los factores en la situación problemática, preliminar al uso del método de diseño en la creación de soluciones a problemas

prácticos. Por el contrario, Simon proporciona una base teórica para aquellos que persiguen la estrategia de la ciencia del diseño y la aplicación de la psicología cognitiva y la inteligencia artificial para la formación de una teoría del diseño que puede reducir las complejidades de la práctica del diseño y poner el pensamiento de diseño en un camino intelectual y racional hacia la gestión de las motivaciones e intenciones no racionales y contingentes de los seres humanos. Ambas estrategias pronto se manifestarán en el movimiento de métodos de diseño en los Estados Unidos y Europa, pero también en desarrollos posteriores de la metodología de diseño.

#### A.4.- METODOLOGÍA DE DISEÑO Y CONCIENCIA CRÍTICA

La idea de la Bauhaus de un arte arquitectónico moderno, sirvió como propósito más profundo, que proporciona una respuesta práctica a los problemas de industrialización a principios del siglo XX. Sirvió a un propósito moral y ético que tomó forma en la conciencia de las contradicciones y el horror de la primera guerra mundial. Gropius escribe, "la conciencia plena de mi responsabilidad como arquitecto, basada en mis propias reflexiones, vino a mí como resultado de la primera guerra mundial, durante la cual mis premisas teóricas primero tomaron forma... Después de esa violenta erupción, todo hombre pensante sintió la necesidad de un cambio intelectual del frente. Cada uno en su particular esfera de actividad aspiraba a ayudar a salvar el desastroso abismo entre la realidad y el idealismo. Fue entonces cuando se me ocurrió por primera vez, la inmensidad de la misión del arquitecto de mi propia generación". [Gropius, 1970, pág. 19] Una conciencia similar surgió entre muchos diseñadores después de la segunda guerra mundial, durante la reconstrucción de Europa y la reintegración de la industria en una economía de tiempo de paz en los Estados Unidos y otros países alrededor del mundo. Los nuevos avances en ciencia, tecnología e ingeniería que se habían utilizado en la guerra ya estaban disponibles para la industria de la paz, pero la cuestión era, cómo podían ser orientados hacia nuevos propósitos sociales y culturales en el diseño y la construcción del ambiente humano. En ningún otro lugar, esta pregunta más centrada entre los diseñadores que en la Hochschule f'su Gestaltung Ulm, formalmente fundada en 1953 pero en la planificación desde 1947, en medio de una escena de "devastación total", pero con "curiosidad ilimitada" sobre todas las nuevas disciplinas de la ciencia y nuevas ideas en la filosofía de la ciencia y las matemáticas [Maldonado, 1991, p. 222]. Al igual que en la Bauhaus, el tema central era el método. Tomas Maldonado, uno de los líderes de la nueva

escuela, escribe: "el manantial principal de toda nuestra curiosidad, nuestra lectura y nuestro trabajo teórico fue nuestra determinación de encontrar una base metodológica sólida para el trabajo de diseño "[Ibid., p. 222]. Sin embargo, el enfoque estratégico que formó HfG Ulm no reflejó la estrategia de investigación que informó la idea de la Bauhaus de un "arte arquitectónico" y la idea de Dewey de sentido común y de investigaciones científicas formales, ni la estrategia de la ciencia del diseño avanzada por Simon en su idea de las "Ciencias de lo artificial."

En cambio, se trataba de una estrategia de dialéctica, en forma de una dialéctica pragmática y escéptica que era distintivamente diferente de la idealista o materialista dialéctica. Los elementos de las dos últimas formas de dialéctica, estuvieron presentes de vez en cuando en las discusiones y controversias que son una de las señas de identidad de la escuela, pero la dialéctica escéptica de HfG Ulm fue practicada sin compromiso previo con cualquier ideología en particular. Sin embargo, se basa en un concepto compartido que sirvió como el principio unificador para la comunidad de otra manera excepcionalmente diversa de la escuela. Fue la idea "que todos compartimos a pesar de no estar de acuerdo en absolutamente todo lo demás: la idea de que la industria es la cultura, y que existe la posibilidad (y también la necesidad) de una cultura industrial" [Ibid., p. 223]. En HfG Ulm, la industria era el principio activo de la cultura, y el desafío estratégico era convertir el poder activo de ese principio en una nueva dirección. El objetivo de la dialéctica de Ulm no era fusionar la teoría y la práctica en un solo sistema, todo lo que abarca, como uno encuentra en la dialéctica idealista y materialista. Más bien, el objetivo era superar la dicotomía entre la teoría y la práctica que se hizo evidente después de la segunda guerra mundial y fue la fuente de muchas contradicciones y divisiones en la vida social y cultural antes de la guerra. Los diseñadores y teóricos del diseño de HfG Ulm querían llevar la teoría a la práctica para influir en las acciones de los demás, reduciendo la teoría de la rigidez ideológica y las síntesis erróneas a nuevas formas de práctica para que el conocimiento científico y la crítica conciencia podría informar el trabajo del diseño para abordar los problemas de acción en la cultura industrial. En Resumen, el objetivo era convertir las ideas en acciones prácticas. La mera enunciación de nuevas ideas — o supuestas nuevas ideas — no es suficiente. Cuando hablamos de definir nuestra tarea en la era de la lucha contra la miseria de la alimentación y la vivienda, debe ser claro que el hecho importante no es encontrar una definición abstracta (o literaria) sino operativa: es decir, una definición que es adecuada a las exigencias de realidad y que puede ayudar a guiar

nuestra acción con éxito. No obstante, una definición operativa no sólo debe determinar claramente nuestros objetivos; también debe señalar a los métodos para alcanzarlos. Y esto aún no es todo. Tanto los objetivos como los métodos, incluso cuando se definen con el máximo rigor empírico, se convierten en trans-empíricos, si desde el principio no cuestionamos nuestra capacidad técnica, científica o meramente profesional para percibir esos objetivos y aplicar esos métodos. [Maldonado, 1989, p. 43] Una dialéctica tan escéptica y cuestionante, requería un nuevo enfoque en la educación de diseño. Sintetizaría la ciencia y el diseño en un nuevo humanismo científico que reconocía el pluralismo de los métodos y las perspectivas metodológicas que el diseñador necesitaba para abordar los nuevos problemas de la cultura industrial.

En la práctica, la dialéctica escéptica de HfG Ulm funcionó en dos niveles. En un nivel teórico, el debate intentó utilizar el equilibrio de las doctrinas alternativas sobre el diseño y el método de diseño para superar las creencias convencionales sobre el diseño, la industria, la sociedad y la cultura que se habían convertido en obstáculos para la innovación y la acción. Este fue el trabajo de "conciencia crítica" para elevar la conciencia del diseñador de la responsabilidad social y cultural, los valores y los nuevos objetivos. Una serie de posiciones teóricas se mezclaron en la atmósfera turbulenta de la escuela, pero no surgió ninguna visión teórica o sistema de metodología de diseño unificador. Sin embargo, lo que surgió fue el comienzo de una visión operativa de la ciencia del diseño, lo que a veces Maldonado llamaba un "operacionalismo científico", basándose en métodos particulares de muchas disciplinas, reunidos en un conjunto ecléctico. La prueba final de un método en particular no fue su coherencia filosófica o la fuerza de sus premisas teóricas en la ciencia básica, sino su efectividad en ofrecer formas innovadoras de analizar los problemas de diseño, liderando a su vez a síntesis innovadoras en los productos. Esta prueba fue la tarea del nivel práctico de la dialéctica de Ulm, donde la discusión curricular y la experimentación de estudio intentaron introducir nuevos métodos y técnicas en el estudio y en el aula. Este fue el trabajo de diseño operacional, orientado a la acción, informado con conocimientos científicos y métodos que podrían aplicarse de diferentes maneras a la solución de problemas de diseño en el entorno humano. De hecho, la dialéctica escéptica dio forma natural a una estrategia de investigación retórica, basada en la capacidad práctica de los diseñadores para crear un nuevo ambiente humano e influir en las actitudes y el comportamiento de los seres humanos. Los problemas de diseño se repositionaron

como problemas de diseño industrial, ofreciendo una de las definiciones más amplias de diseño industrial en el siglo XX. En términos dialécticos, el diseño industrial comprendía dos categorías en HfG Ulm: objetos (los medios de producción masiva, evidentes en los departamentos de diseño y construcción de productos) y signos visuales y lingüísticos (los medios de comunicación masiva, evidentes en el departamento de comunicación visual e información). Sin embargo, también en términos dialécticos, ambos medios eran medios de comunicación, ampliamente comprendidos. El diseñador que ordenó estos medios y los métodos o técnicas de su formación tendría el poder de influir en el comportamiento, las actitudes y las opiniones en la cultura industrial, siempre que entendiera las condiciones de poder y gestión en la organización industria [Gugelot, 1989, p. 16].

La HfG que estamos construyendo en Ulm, tiene la intención de redefinir los términos de la nueva cultura. A diferencia de Moholy-Nagy en Chicago, no sólo quiere formar hombres que puedan crear y expresarse. La escuela de Ulm... quiere indicar cuál debe ser el objetivo social de esta creatividad; en otras palabras, qué formas merecen ser creadas y cuáles no. Es decir, la modernidad y la creatividad genéricas no tienen lugar en su programa... Es una creencia generalizada, al menos, en ciertos círculos, que el diseñador industrial, el planificador que trabaja para la producción en masa, tiene una sola función: la de atender al programa de ventas de la industria a gran escala, al tiempo que estimula el mecanismo de Competencia. En contraste con este punto de vista, el HfG propone que el diseñador, aunque trabaje para la industria, deba seguir abusando de sus responsabilidades con respecto a la sociedad. (Maldonado, citado en [Frampton, 1973, p. 35]) Los métodos de las ciencias naturales y conductuales, la ingeniería y las matemáticas se combinaron con conceptos y métodos extraídos de la retórica y la semiótica, y todos ellos se complementaron con ideas de la ciencia política y la filosofía, particularmente positivismo, pero también diversas formas de filosofía social, incluyendo ideas de la escuela de Frankfurt de teoría crítica y pensamiento marxista. En cierto sentido, HfG Ulm trató de convertirse en una "Universidad de métodos", en la frase de Maldonado, prestada del filósofo estadounidense del pragmatismo, C.Ss. Pierce [Maldonado, 1989, p. 55]. De hecho, sin embargo, la ampliación del currículo de diseño en HfG Ulm, siguió la ampliación anterior del aspecto teórico y científico del currículo de diseño intentado por Moholy-Nagy en la nueva Bauhaus y apoyado por científicos distinguidos y filósofos de la Universidad de Chicago, un intento cortado por dificultades financieras y, posteriormente, la muerte prematura de Moholy-Nagy

[Buchanan, 1995, p. 39] (véase también [Findeli, 1991]). El legado de HfG Ulm para el desarrollo de métodos de diseño tiene varias características. La escuela proporcionó un terreno de reunión para personas con perspectivas teóricas y prácticas muy diferentes, donde las nuevas ideas podrían ser discutidas, probadas y desarrolladas en el aula o en la investigación. Individuos como Bruce Archer y Horst Rittel, ambas figuras centrales en el emergente movimiento de métodos de diseño, participaron en la escuela, al igual que muchos otros — estudiantes, maestros, teóricos del diseño y otros — que llevarían el espíritu de la investigación a otros Entornos. Además, la escuela trajo a un contexto de diseño práctico muchos conceptos y métodos desarrollados en otras disciplinas, estimulando a los diseñadores a experimentar y considerar su relevancia para las nuevas prácticas de diseño. En su mayor parte, estos fueron métodos de análisis, pero proporcionaron los elementos para nuevas síntesis operativas en proyectos de estudio. Las nuevas disciplinas introducidas en HfG Ulm incluyeron la cibernética, la teoría de la información, la teoría de sistemas, la teoría de la comunicación, la semiótica y la ergonomía. También fueron importantes los métodos de planificación en general y Urbanismo en particular, el modelado matemático y la investigación de operaciones, con un creciente reconocimiento del potencial de la computadora para informar la planificación y la toma de decisiones. Con la introducción de todas estas ideas y métodos, la escuela también dio protagonismo a la idea de la investigación de diseño como parte de la cultura del pensamiento de diseño. A diferencia de la investigación básica de Simon en el comportamiento cognitivo, la investigación en HfG Ulm tendía a ser muy práctica y relacionada con la financiación industrial. Sin embargo, la escuela dio una justificación para un tipo particular de investigación en el diseño que creció en otras partes de las décadas posteriores del siglo XX. Tal vez lo más importante, la escuela planteó una posibilidad alternativa para una ciencia del diseño. La idea de tal ciencia en HfG Ulm, no se basó en las Ciencias positivistas de Simon de lo artificial, aunque las ideas positivistas surgieron de varias maneras. Del mismo modo, no tenía ninguna conexión directa con la comprensión de Dewey de la relación entre las consultas de sentido común y la investigación científica formal, aunque sí tenía un eco de la filosofía estadounidense del pragmatismo, principalmente en referencia al tratamiento de C.S. Pierce de metodología y semiótica. En lugar de ello, señaló hacia el operacionalismo científico y una estrategia pragmática de investigación retórica, informada con la conciencia escéptica o crítica de propósito social y cultural. Sin embargo, el "operacionalismo científico" de HfG Ulm no era exclusivo de esa institución. Un método operacional

pragmático — la prueba de ideas por lo que podrían lograr en la práctica — fue evidente en el diseño de ingeniería desde su establecimiento más antiguo y continuó en los Estados Unidos y otras partes del mundo a lo largo del siglo XX. A pesar del argumento de Herbert Simon de que la teoría científica y las ciencias naturales habían casi impulsado el diseño del currículo de ingeniería en el siglo XX, todavía se podría argumentar que el diseño en ingeniería se practicaba típicamente a través del funcionamiento y aplicación de los conocimientos científicos y las matemáticas. De hecho, un método operativo era común en toda la comunidad de diseño y sus muchas ramas en el siglo XX, explicando en parte el desprecio por la teoría y el énfasis en el estilo que muchos diseñadores expresaron. Sin embargo, la actitud escéptica en HfG Ulm permitió un cuestionamiento del diseño y sus teorías y métodos de una manera que vigorizaba el campo; fomentó la innovación y la investigación en un momento en que el diseño enfrentó desafíos importantes en cada una de sus principales áreas problemáticas.

#### A.5.- EL MOVIMIENTO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO

La escuela de diseño de Ulm proporcionó un entorno institucional para ideas que, de hecho, estaban surgiendo en muchos lugares y entre muchas personas en Europa y los Estados Unidos en el período de posguerra. En este sentido, HfG Ulm fue sólo parte de un movimiento más amplio para entender la metodología de diseño, motivado por nuevos problemas y circunstancias en la práctica del diseño. El movimiento continuó a lo largo de las décadas restantes del siglo XX, expandiéndose gradualmente de la estrecha investigación de métodos de diseño y metodología de diseño sistemático en la empresa más amplia de estudios de diseño e investigación de diseño. Sin embargo, si HfG Ulm proporcionó un entorno institucional para estas ideas, un escenario más importante fue proporcionado por una serie de conferencias que comenzaron en 1962, marcando el comienzo de lo que llegó a ser conocido como el movimiento de métodos de diseño. Las conferencias representan un método diferente de investigación colectiva a los programas institucionales. Los programas institucionales se guían típicamente por una visión sostenida como la de la Bauhaus, la nueva Bauhaus o HfG Ulm. Por el contrario, las conferencias suelen tomar forma en torno a un tema o tema que proporciona un terreno común para la reunión y el debate. El patrón de la Conferencia sigue el patrón de un debate retórico idealizado, donde los individuos presentan sus ideas y luego discuten sobre las diferentes perspectivas representadas entre los participantes, contribuyen al avance del entendimiento común, aunque raramente a una sola visión o sistema

compartido. Las discusiones institucionales pueden ser pluralistas hasta cierto punto, pero las conferencias son pluralistas en esencia porque incluyen diferentes perspectivas sin la obligación de dar forma a un único sistema dialéctico o monístico. Las conferencias pueden ser un paso hacia un sistema, pero por lo general no lo son. Más bien, intentan estimular el pensamiento innovador que avanza la investigación de la comunidad. Las conferencias sobre los métodos de diseño que comenzaron en 1962 eran de este tipo. El motivo común de estas conferencias fue el acuerdo general entre los numerosos participantes, de que la labor práctica de los diseñadores debía explicitarse para hacer frente a los nuevos problemas y circunstancias del diseño, en particular en las esferas del diseño industrial, arquitectura y Urbanismo. Ya no era adecuado que el diseño se practicara aisladamente por la intuición y la imaginación, sin el apoyo de los recursos de la nueva tecnología y el conocimiento científico. Con este fin, también pensaron que era importante encontrar una nueva base "científica" para el diseño que conduciría a métodos sistemáticos y, por lo tanto, a una metodología de diseño. Por último, todos ellos expresaron, de diferentes maneras, una preocupación por el contexto del pensamiento de diseño, ya sea que ese contexto fuera la gestión y las prácticas organizativas, los nuevos desarrollos tecnológicos y de las Ciencias, o la vida individual y social de las personas para ser servido por el diseño. Sin embargo, el fundamento común de las conferencias ocultaba las diferencias en la estrategia y el principio que posteriormente conducirían a una reconsideración del movimiento y su valor. Estas diferencias no fueron completamente evidentes al principio, pero surgieron gradualmente, reflejando el pluralismo del campo de los estudios de diseño y diseño. Esto está bien ilustrado en el trabajo de cuatro personas que fueron figuras centrales en lo que se conoció como el movimiento de métodos de diseño: John Christopher Jones, Bruce Archer, Horst w. j. Rittel, y Christopher Alexander. Mientras trabajaban desde el terreno común del movimiento y a menudo compartían terminología similar, también ofrecían opiniones distintivamente diferentes del método y la metodología del diseño. En "un método de diseño sistemático" (1963), el diseñador británico John Christopher Jones buscó un sistema unificado de diseño que integraría los dos enfoques que observó que estaban en conflicto en el diseño en el período de posguerra [Jones, 1984]. Uno era el método tradicional de la intuición y la experiencia, basado en la artesanía, el dibujo y la imaginación. La otra era la tendencia que surgió en la década de 1950, hacia rigurosos métodos lógicos y matemáticos. Su objetivo era desarrollar un método que redujera los errores y retrasara el diseño y condujera a diseños más

imaginativos y avanzados, particularmente en condiciones especiales donde había grandes cantidades de información, el equipo de diseño estaba libre de trabajo de diseño rutinario y podrían centrarse en el desarrollo, y se requerían importantes desviaciones de los diseños existentes. Con este fin, se centró en las operaciones conflictivas de la mente representadas por el pensamiento creativo, imaginativo y el análisis lógico. La imaginación, creyó, varió sobre todo el problema del diseño, mientras que la lógica procedió en un método paso a paso. El nuevo método, argumentaba, mantendría estas dos operaciones separadas por medios externos, permitiendo a cada uno trabajar en su propia manera natural hacia una solución de diseño. El método tenía dos elementos. El primer elemento implicaba dejar la mente sola para hacer su trabajo creativo. El segundo elemento implicaba un "sistema de notación" para registrar toda la información relevante fuera de la memoria, en esencia separando las soluciones de diseño de los requisitos de diseño. Potencialmente apoyado, al menos en parte, por la capacidad de memoria de la nueva tecnología informática, la grabación siguió tres etapas en el desarrollo de una solución de diseño: análisis, síntesis y evaluación. Cada etapa se dividió en sub-etapas, y el resto de su ensayo presentó los detalles para cada etapa, organizados por una variedad de temas, métodos y técnicas que pueden ser útiles en cada etapa. Este ensayo — así como su libro, más tarde importante sobre el tema, métodos de diseño (1970) — era una copia virtual de métodos y técnicas que podrían ayudar al diseñador en la práctica de descubrir y grabar ideas que podrían apoyar la imaginación en la solución de un problema de diseño. Al igual que una copia retórica renacentista, los temas o métodos proporcionaron los medios para la amplificación del pensamiento del diseñador; y como una copia retórica fue ampliamente leído por aquellos que buscan nuevas formas prácticas de explorar los problemas de diseño. Proporcionó herramientas y distinciones útiles que podrían emplearse en muchos contextos. Sin embargo, es importante recordar que para Jones, este fue un aspecto de descubrimiento y grabación de la metodología de diseño destinada a apoyar la imaginación creativa. Una vez más como una copia retórica, sirvió como fondo para el descubrimiento de argumentos de diseño y soluciones por la operación de la imaginación. En contraste con la estrategia de investigación retórica de Jones, el diseñador industrial británico Bruce Archer persiguió una estrategia de ciencia productiva que estaba fuertemente influenciada por su énfasis en los principios de las facciones creativas. Condujo a una variación de la ciencia productiva que fácilmente podría interpretarse como el tipo de ciencia operativa que Maldonado y otros en el HfG Ulm, trataron de explorar. De hecho, Archer

enseñó en HfG Ulm de 1960 a 1962, desarrollando y articulando la metodología de diseño práctico que se asoció comúnmente con la escuela hasta que cerró en 1968. El enfoque se publicó en "método sistemático para diseñadores" (1963 y 1964) y se convirtió en una de las piedras angulares del movimiento de métodos de diseño. En lugar de centrarse en las operaciones de la mente, como lo hizo Jones, Archer se centró en el acto de diseñar y la posibilidad de un método que organizaría sistemáticamente el acto, frente a las crecientes complicaciones encontradas en la diversidad de nuevos materiales y procesos de producción. En este sentido, el problema con el que Archer comienza es sorprendentemente similar al problema con el que Moholy-Nagy comenzó su artículo, "potencialidades de diseño", décadas antes: la creciente diversidad de nuevos materiales y nuevos procesos de producción. Sin embargo, el argumento se actualiza significativamente en las nuevas circunstancias. En el pasado, Archer argumenta, el arte del diseño estaba cerca del arte de la escultura, basado en una selección limitada de materiales y la conformación de esos materiales para satisfacer los requisitos de la estética y la función, así como métodos limitados de producción. En el período de posguerra, argumenta, el diseño ha cambiado su enfoque de lo escultórico a lo tecnológico. Además, de los nuevos materiales y los métodos de producción más flexibles, las nuevas circunstancias del diseño implican el conocimiento obtenido de nuevas disciplinas como la ergonomía, la cibernética, la comercialización y la ciencia de la gestión, disciplinas que habían evolucionado después de la guerra. Finalmente, observa una tendencia hacia un enfoque que es, él cree, característico de la mayoría de la tecnología: un "enfoque de sistemas" más bien en vez de "enfoque de artefacto." El método de investigación que entonces Archer emplea se estructura en torno a los cuatro elementos funcionales de la ciencia productiva, a saber, los elementos cuya síntesis creativa es el objetivo de la ciencia productiva. Es instructivo comparar los cuatro elementos de Archer con los cuatro elementos identificados en las "potencialidades de diseño" de Moholy-Nagy y los cuatro indicios de las cosas artificiales de Simon, y desde allí, por supuesto, a las cuatro causas de Aristóteles. Cada conjunto de cuatro es una variación de los elementos de la ciencia productiva. Sin embargo, es importante observar cómo el tratamiento de estos elementos en Archer se desplaza hacia el acto de diseño y las acciones del diseñador:

- Formulación de una prescripción o modelo adecuado para la realización eventual, esta es la génesis de una idea de diseño.

- Intención de encarnar el modelo en los medios o materiales llamados en la situación.

- Síntesis y la forma de la solución, que puede resultar de un "salto creativo" o simplemente de un proceso "no creativo" de cálculo.

- Definición de la necesidad o problema específico, basado en la naturaleza de las limitaciones de la situación, esto, por supuesto, es el objetivo o propósito del diseño. Combinados, estos elementos producen la definición formal de diseño de Archer. Así que encontramos que el diseño implica una prescripción o modelo, la intención de la encarnación como hardware, y la presencia de un paso creativo. Esta definición abarca las actividades centrales de la arquitectura, la mayoría de las formas de ingeniería (incluyendo algunos sistemas de ingeniería), ciertas ciencias, todo el diseño industrial, y la mayoría de arte y artesanía aplicada. Implica una búsqueda intencionada de soluciones en lugar de una exploración ociosa. [Archer, 1984a, p. 59] Esta definición formal proporciona la base, a su vez, para un análisis formal del método de diseño sistemático. El método se divide en tres fases de acción: analítica, creativa y ejecutiva. Para Archer, la fase analítica es inductiva, principalmente involucrando la recopilación de datos. Comienza con un "arte de reconciliación" que busca superar los conflictos entre los muchos factores que surgen de los tres aspectos principales del diseño industrial: la función, el marketing y la fabricación. La reconciliación también incluye la solución de todos los subproblemas en los que un problema de diseño puede ser descompuesto, a veces ayudado por el ordenador, como observa Archer, "la informática es un medio muy bueno para establecer un problema de una manera sistemática y lógica" [Ibid., p. 63]. Después de la fase analítica, Archer luego se dirige a las fases operativas y procesales del acto de diseñar: obtener el Resumen, examinar la evidencia, el salto creativo y el "trabajo de burro." La "fase creativa" en sí misma implica acciones de análisis, síntesis y desarrollo, descritas en un patrón que es sorprendentemente similar a la descripción de Dewey de la respuesta de una criatura viviente a los problemas encontrados a través de la interacción con el medio ambiente [Ibid., PP. 65-6]. Una característica clave de la fase creativa de Archer es el uso de métodos "heurísticos" para el descubrimiento. Heurístico, como señala Archer, "se ocupa de plausible en lugar de razonamiento exacto." Refiriéndose a la fuente de su idea de la heurística, Archer señala: "el profesor Polya subraya que, aunque el razonamiento plausible puede y produce soluciones a los problemas, no puede representarse como prueba. Si es necesaria la prueba, debe ser trabajada retrospectivamente

"[Ibid., p. 66]. Con el análisis hecho posible a través de la observación, métodos heurísticos de interrogatorio, evaluación, y el juicio, a continuación, se puede comenzar una síntesis. Síntesis, para Archer, implica formar un juicio que puede ser subjetivo o basado en el razonamiento deductivo, y produce una decisión que luego está sujeta al desarrollo a través de varios tipos de modelado: dibujo, elaboración de prototipos, y otros más abstractos tipos de modelos de fabricación por ordenador u otras herramientas. La fase final del método es ejecutiva, basada en la ejecución del diseño y la necesidad de comunicar la solución de diseño a la gerencia, especialistas en producción y la función de marketing de una organización. Muchos lectores del ensayo de Archer centran su atención en los procedimientos y fases del acto de diseño, el tratamiento de las listas de Archer como una especie de copia retórica o manual similar a la obra de J. Christopher Jones. Sin embargo, el propio Archer creía que la importancia de su trabajo no estaba en la identificación de procedimientos o una serie de métodos y técnicas para el diseño. Por el contrario, creía que la importancia era la forma en que el debate de la metodología demostraba y garantizó que las cuestiones cualitativas, la ética, la belleza y los valores humanos en general eran una parte defendible del acto de diseñar [Ibid., p. 75]. En Resumen, la exploración de la metodología de diseño para Archer, fue el desarrollo de un principio de acción creativa, de pie contra los principios mecanísticos e inalterable de la causalidad. De hecho, argumentó en contra de la idea de valores fijos e inalterables leyes de la naturaleza, prefiriendo en lugar de celebrar la trans-ciencia del diseño y la variedad de valores que poseen los diseñadores en todos sus usos de la metodología. Hoy, podemos sospechar que todas las leyes de la naturaleza son arbitrarias, o incluso que no hay leyes en absoluto.... Con los científicos tomando este tipo de visión de la ciencia, diseñadores no deben avergonzarse de aceptar la trans-ciencia del diseño. Los valores humanos, la moda y el gusto público bien pueden describirse en los mismos términos, si no en la misma escala de tiempo, como fenómenos probabilísticos en la física, Así como el mecanismo del salto creativo. [Ibid., p. 76] Al igual que Archer, Horst w. j. Rittel fue profesor en el HfG Ulm durante un período clave de transformación de la escuela, entre 1958 y 1963. Con un trasfondo en matemáticas, física y sociología, introdujo a estudiantes y colegas en una perspectiva algo diferente a través de la enseñanza en metodología, teoría de la ciencia e investigación de operaciones. No hay evidencia de ningún conflicto directo entre Archer y Rittel, pero hubo una diferencia significativa en sus estrategias de investigación y metodología de diseño. De hecho, Rittel explica que la génesis de su propio enfoque de la metodología de diseño llegó cuando intentó,

alrededor de 1960, aplicar los nuevos métodos de diseño en el área de planificación y descubrió que no arrojan resultados satisfactorios. Esto le llevó a reconsiderar los fundamentos de la metodología de diseño. El trabajo de Rittel enfatizó la fase temprana de planificación y preparación para el trabajo de diseño, basado en la investigación de operaciones, el pensamiento de sistemas, y el uso de información para apoyar la toma de decisiones cuando se trata de problemas complejos. Sin embargo, esto también implicó un énfasis significativo en la participación humana en el proceso social de toma de decisiones dentro de las organizaciones. Fue este último aspecto del diseño, la perspectiva humana y el proceso social, que gradualmente surgió para distinguir su enfoque de diseño y la metodología de diseño de la de Archer y otros. Para aclarar su posición, Rittel introdujo una distinción entre los métodos de diseño de primera y segunda generación en el análisis de sistemas y el diseño en general [Rittel, 1972]. Muchos en el movimiento de los métodos de diseño llegaron a abrazar esta distinción por sus propias razones, pero para Rittel, la distinción le permitió cambiar el terreno de la teoría y la metodología del diseño, cambiando los temas centrales para el debate. Le permitió, en primer lugar, cuestionar las suposiciones y los puntos de inicio de los diseñadores, y, segundo, incluir una gama más amplia de participantes en el proceso de diseño. Como hemos visto, otros no ignoraron estas cuestiones en el movimiento de los métodos de diseño. Jones y Archer, cada uno a su manera, reconocieron y abordaron la nueva complejidad de los problemas de diseño y la importancia de incluir diversos conocimientos y opiniones en la metodología del diseño. Sin embargo, desde la perspectiva de Rittel, los otros enfoques no consideraron estas cuestiones suficientemente profundas en el contexto social del diseño. Al principio, al menos, la visión de Rittel de la metodología del diseño parecía subrayar las dimensiones teóricas y filosóficas del pensamiento de diseño sobre la cuestión práctica de abordar problemas concretos. El objetivo principal de la metodología de diseño parece ser aclarar la naturaleza de la actividad de diseño y de la estructura de sus problemas. Este papel de la metodología del diseño me parece mucho más importante que su uso práctico para lidiar con problemas concretos. [Rittel, 1984, p. 317]. Esto fue acorde con la dialéctica escéptica de HfG Ulm, donde el objetivo era llevar la teoría a la práctica. Sin embargo, el enfoque de Rittel se volvió más operacional y orientado a la acción. Creía que la discusión de las diversas suposiciones y perspectivas de los involucrados en el proceso de diseño era, en sí misma, muy práctica. Argumentó que, al presentar una idea de las críticas organizadas a través del debate, y el debate tiende a asegurar que no se olviden las

consideraciones esenciales. Además, tiende a asegurar que cuando se acuerde una idea, aquellos que se verán afectados por la idea también lo apoyarán. Con el objetivo de mejorar tanto la comprensión como la práctica del diseño, Rittel persiguió lo que, en retrospectiva, era claramente una estrategia de investigación retórica. La estrategia tenía algunas similitudes con la estrategia retórica de Jones, pero también partió significativamente de su trabajo. Jones se centró en las operaciones de la mente y el conflicto entre la imaginación y la lógica. Rittel, también, se centró en las operaciones de la mente, pero no reconoció un conflicto inherente entre la imaginación y la lógica. Tenía un entendimiento retórico de la lógica en lugar de la idea común de inducción y deducción que tenían la mayoría de sus colegas. Para Rittel, la lógica "son las reglas para hacer preguntas, generar información y llegar a las sentencias" [Ibid., p. 323]. Se volvió hacia el diseño como argumentación, y quería entender cómo los diseñadores realmente razonan y forman juicios. En este contexto, la imaginación desempeña un papel central: la imaginación es el lugar del diseño, el lugar donde los argumentos son inventados y toman forma antes de la acción. Para que la metodología de diseño avanzara, Rittel creía que dos áreas requerían más trabajo. Uno de ellos fue el estudio de la lógica del razonamiento de diseño y el desarrollo de un modelo argumentativo del proceso de diseño. El otro fue el desarrollo de una versión instrumental del modelo, adecuada para implementar una versión práctica que los diseñadores pudieran utilizar. La mayor parte de su trabajo se centró en la primera área, desarrollando un modelo de argumentación de diseño, pero también tenía muchas sugerencias sobre los instrumentos necesarios para el trabajo de diseño práctico y desarrolló un método específico que se emplea en la planificación y algunas áreas de diseño. En lugar de identificar pasos o fases de la metodología de diseño a la manera de Jones o Archer, Rittel identificó cuatro cuestiones generales en torno a las cuales debería tomar forma un modelo argumentativo. La primera cuestión fue la determinación del problema que debía abordarse. La metodología anterior, argumentó, hizo suposiciones sobre la naturaleza de los problemas de diseño en lugar de investigarlos con más cuidado. En su propio trabajo, distinguió entre los problemas "domesticados" o benignos y los problemas "malvados" o malignos [Rittel y Webber, 1969, pág. 160]. Otros, como Herbert Simon, ya habían hecho una distinción similar entre problemas "bien estructurados" y "mal estructurados", pero el colorido nombre de Rittel de los problemas "malvados" atrajo la atención y ayudó a elevar el tema dentro de la comunidad de planificación y luego a la comunidad de diseño más amplia. Más importante, su discusión sobre los problemas malvados, apuntaba hacia

una indeterminación radical en este tipo de problema que no era evidente en el concepto de problemas "mal estructurados" tratados por Simon u otros. Los problemas malvados no son meramente sub-determinados; son esencialmente indeterminados, nunca ceder a la determinación que pertenece a los problemas "domesticados" o "bien estructurados". Esto se debe a que los problemas malvados se encuentran en las perspectivas, valores e intereses conflictivos de los seres humanos. A diferencia de los problemas domesticados, que ceden a soluciones únicas que pueden ser verdaderas o falsas, los problemas malvados no tienen una formulación y un rendimiento definitivos para las soluciones que sólo pueden ser juzgadas buenas o malas. Rittel y Webber identificaron diez características de problemas malvados y las discutieron detalladamente [Ibid., p. 161 – 7]. La segunda cuestión en el modelo argumentativo de diseño, siguió a la distinción entre los problemas domesticados y malvados. Los problemas domesticados, dice, son característicos de muchos de los problemas de las ciencias naturales, las matemáticas y la ingeniería, y se rinden a las soluciones a través de la experimentación clásica, la lógica y el cálculo, y para diseñar métodos de la primera generación. Sin embargo, los problemas domesticados, en la medida en que dependen de la perspectiva social y humana, se encuentran dentro de los problemas más profundos del interés humano, la intención, el propósito y la visión filosófica del mundo. Es decir, todos los problemas domesticados, cuando son empujados lo suficientemente lejos, revelan problemas más profundos y malvados. Los problemas malvados, aunque a menudo ignorados o no reconocidos, son comunes en el diseño, y requieren una estrategia diferente de razonamiento y una comprensión diferente de la lógica. Si hay una lógica de diseño, no es una lógica formal. Más bien, es "una cierta forma de razonamiento, una ' filosofía ' guiando una conducta de modo" [Rittel, 1988, p. 2]. El razonamiento pertenece a todas aquellas operaciones mentales que somos conscientes de, puede incluso comunicar a los demás. Consiste en trenes de pensamiento más o menos ordenados, que incluyen deliberar, meditar, argumentar, inferencias lógicas ocasionales. Imagina a un diseñador pensando en voz alta, discutiendo y negociando consigo mismo (o con otros), tratando de explicar o justificar lo que está proponiendo, especulando sobre las consecuencias futuras de su plan, decidiendo el curso de acción apropiado. [Ibid., p. 2] En este razonamiento, dice, no hay separación de fases como la definición del problema, la síntesis y la evaluación. Ocurren juntos todo el tiempo, y determinar cuál es el problema, es el problema. Desde el principio, el diseñador tiene una idea de la resolución "total" de su problema, que cambia con el aumento de la comprensión del problema, y la

imagen de su resolución se desarrolla de borrosa a aguda y de nuevo, con frecuencia revisada, alterada, detallada y modificada. [Ibid., p. 2]. El enfoque de la segunda cuestión del modelo argumentativo, entonces, es una investigación de los patrones recurrentes comunes de razonamiento de diseño, los problemas típicos recurrentes y las posiciones mantenidas por los participantes, y los típicos "meta-problemas" que acechan en el fondo de razonamiento de diseño [Ibid., p. 3]. Junto con esto, viene el estudio de la "estructura fina" del razonamiento sobre las cuestiones individuales, con especial énfasis en la invención de ideas y argumentos. Finalmente, hay una comprensión de la "libertad epistémica" de los diseñadores: no hay límites a lo imaginable, y rara vez hay una razón suficiente para dictar un curso de acción en particular. La tercera cuestión del modelo argumentativo es una investigación de las variedades de razonamiento que se encuentran detrás de la gran diversidad de estilos de diseño y productos en el mundo. El diseño, argumenta, depende de la visión del mundo del diseñador, y la visión del mundo está moldeada por muchos factores, todos los cuales deberían estar sujetos a una investigación adicional. Los factores incluyen creencias y valores, grado de poder, lo que se acepta como una restricción, lo que se considera una fuente confiable de conocimiento, formación profesional, personalidad, y el estilo cognitivo. Y detrás de todos estos factores radica el contexto social del diseño y de todos los actores involucrados en el proceso de diseño, cada uno de los cuales está influenciado por los mismos factores que el diseñador individual. La cuarta cuestión del modelo argumentativo es la posibilidad de una ciencia del diseño y las tareas de tal ciencia. Para Rittel, una ciencia del diseño es posible, y se basa en el desarrollo de nuevas teorías de diseño y una investigación más profunda del razonamiento de los diseñadores. Esto debería incluir, argumenta, investigaciones empíricas sobre cómo surgen los planes y cómo se pueden comparar los efectos de los planes con sus efectos previstos. Por último, la ciencia del diseño debe buscar métodos, herramientas e instrumentos que traigan las ideas de la argumentación en acción práctica, amplificando la capacidad humana y protegiendo el proceso de diseño de caer víctima de valores individuales encubiertos que pueden ser considerados como proyectos de diseño sin examinarlo a través del debate y discusión. Rittel identificó una variedad de principios que caracterizaron su metodología de diseño de "segunda generación" [Rittel, 1984, PP. 324 – 326; 1972]. Todos ellos son principios en el sentido de puntos de inicio y guías para la realización de la argumentación y la colaboración, similares a las pautas que uno encuentra en los libros sobre el método retórico y el proceso. Por ejemplo, son expertos distribuidos, niveles de cuestiones, transparencia de los argumentos,

objetivación, control del juicio delegado, modelo de planificación de la "conspiración" y duda sistemática. También desarrolló una instrumentalidad particular, llamada "sistemas de información basados en problemas" (IBIS), para proporcionar métodos para abordar los problemas malvados, en apoyo de los procesos de planificación y decisión política [Kunz y Rittel, 1970]. El método comienza con un área problemática no estructurada, identificada por un "tema" y "subtemas." Fuera del tema surge un discurso, y en el transcurso de las cuestiones de discusión se identifican, los argumentos se construyen para o en contra de las posiciones sobre las cuestiones, y las preguntas se plantean, proporcionando la atención para otras cuestiones. En general, Kunz y Rittel distinguen cuatro tipos de cuestiones, expresadas como preguntas. Hay problemas de hecho ("¿es X el caso?"), temas deontológicos ("¿se convertirá en el caso?"), cuestiones explicativas ("¿es esto la razón para eso?"), y las cuestiones instrumentales ("¿Cuáles son los apropiados significa lograr un objetivo en una situación particular? "). El argumento continúa hasta que los oponentes están convencidos de una solución o hasta que se activa un procedimiento de decisión formal. La metodología IBIS fue una versión más robusta del "sistema de notación" de Jones. "Proporcionó una forma de registrar o documentar la fase preliminar del diseño, cuando se alcanzaron decisiones cruciales. Sin embargo, más que Jones, Rittel vio la metodología de discusión y debate como una parte íntima del proceso de diseño, donde los temas y argumentos no se limitaron a registrar sino que también se inventaron en el contraste de las posiciones y las razones ofrecidas para explicar una propuesta de decisión. "Cuestiones" fueron los elementos del método, funcionando como los "átomos" del proceso de diseño para Rittel, en contraste con los elementos funcionales de Bruce Archer y aquellos que siguieron una estrategia de ciencia productiva. De hecho, Rittel bien podría haber argumentado que los elementos funcionales podrían ser descompuestos en los elementos más pequeños de las cuestiones-algo que era consistente y ya entendido por Archer y otros .El enfoque de IBIS se aplicó a la planificación y al proceso político, y ha tenido algún uso en ingeniería, arquitectura y desarrollo de software, particularmente para grandes proyectos con intereses conflictivos entre las partes interesadas, donde a menudo era deseable revisar las razones de las decisiones anteriores en lugar de reinventar el debate tardío en el proceso de diseño y desarrollo. Posteriormente influyó en la labor ulterior en el ámbito de la "justificación del diseño", la documentación de las razones de las decisiones de diseño. Sin embargo, IBIS fue un método intensivo de mano de obra que incluso Rittel reconoció que no tenía que ser empleado directamente en

muchos tipos de proyectos de diseño. Sin embargo, representaba un paso hacia la forma de una ciencia del diseño que tendría nuevos instrumentos y alentaría investigación empírica sobre la relación entre la intención del diseño y la realización del diseño. El trabajo de Jones, Archer y Rittel representan variaciones en la estrategia de investigación que desempeñó un papel importante en el movimiento de métodos de diseño. Jones siguió una estrategia retórica que enfatizaba la memoria y la invención; Archer siguió una estrategia de ciencia productiva que enfatizaba el acto de diseñar; y Rittel perseguía una estrategia retórica que enfatizaba el diseño como argumentación. Christopher Alexander, sin embargo, siguió una estrategia totalmente diferente, la estrategia de dialéctica. Esta fue una estrategia desafiante, en parte porque muchos de los términos que Alexander empleó eran comunes en la comunidad de diseño, pero se utilizan en el contexto de otras estrategias y métodos. Debido a esto, su uso de los términos fue fácilmente malinterpretado y mal aplicado. Alexander mismo pronto reaccionó contra la traducción equivocada de sus ideas y enfoque en otras formas de pensar en el diseño. Repudió la reducción de la idea central de su trabajo, un método simbólico y racional para comprender la relación entre la forma y el contexto, expresada en diagramas de patrones, en meros "métodos de diseño" para crear esos modelos. Sin embargo, la estrategia también fue desafiante porque pocos individuos estaban familiarizados con el uso de la dialéctica como un método de investigación y diseño. De hecho, poco ingenio se empleó en el período temprano del movimiento de métodos de diseño para entender la diferencia entre una estrategia de investigación, un arte intelectual que proporciona orientación estratégica en el pensamiento y la acción, y los métodos tácticos particulares y técnicas empleadas a lo largo del camino de una investigación. Sin tal comprensión, es fácil pasar por alto el desarrollo coherente de la obra de Alexander desde el período inicial de su investigación doctoral y la tesis, notas sobre la síntesis de la forma, a su obra posterior, como una forma atemporal de la construcción y un lenguaje de referencia. Alexander no comienza con las operaciones de la mente o el acto de diseñar pero con conflicto y contradicción. El conflicto fundamental se encuentra entre la forma y el contexto en la práctica del diseño. El enfoque del diseñador en la forma, como el objeto último de su trabajo, pero su comprensión del programa o la función prevista de los objetos es a menudo inadecuado, porque es meramente intuitiva o incluso arbitraria. Sin una adecuada puesta a tierra en el verdadero contexto de uso, los diseñadores crean productos que no son aptos para su uso, ya sea a corto plazo o a largo plazo. Para superar el conflicto, Alexander comienza con

los orígenes generales de la forma. No habría forma, argumenta, si el mundo fuera regular y homogéneo; pero puesto que no lo es, la forma surge como una compensación por irregularidad. "Un mundo irregular trata de compensar sus propias irregularidades al adaptarse a ellos, y así toma forma" [Alexander, 1964, p. 15]. Esto conduce a la caracterización de los problemas de diseño y el enfoque de la investigación en una búsqueda de patrones. El siguiente argumento se basa en la suposición de que la claridad física no se puede lograr en una forma, hasta que haya primero alguna claridad programática en la mente y las acciones del diseñador; y que para que esto sea posible, a su vez, el diseñador debe trazar primero su problema de diseño a sus primeros orígenes funcionales y ser capaz de encontrar algún tipo de patrón en ellos. Se basa en la idea de que cada problema de diseño comienza con un esfuerzo para lograr la aptitud entre dos entidades: la forma en cuestión y su contexto. El formulario es la solución al problema; el contexto define el problema. En otras palabras, cuando hablamos de diseño, el verdadero objeto de discusión no es la forma sola, sino el conjunto que comprende la forma y su contexto. Buen ajuste es una propiedad deseada de este conjunto que se relaciona con alguna división particular del conjunto en forma y contexto. [Ibid., p. 15 – 6]. Cuando los problemas son simples, los diseñadores confían en la intuición para captar el ajuste entre la forma y el contexto. Sin embargo, cuando los problemas son complejos, involucrando muchas necesidades, actividades y requisitos conflictivos, el problema no se puede captar intuitivamente. Se necesita un nuevo método de análisis y síntesis. El método que Alexander propuso tenía fuertes similitudes con la estrategia dialéctica de Platón para acercarse a los problemas. Esto es evidente incluso en el epígrafe que Alexander seleccionó para notas sobre la síntesis de la forma: una cita del Phaedrus que describe los dos procedimientos de división y colección que caracterizan el método dialéctico de Platón. Para Alexander, así como para Platón, el análisis y la síntesis tienen una identidad; son dos caras del mismo método, una ascendiendo de partes a la totalidad y la otra descendiendo de la totalidad a las partes. Lo que hace que el diseño sea un problema en los casos del mundo real, es que estamos tratando de hacer un diagrama para las fuerzas cuyo campo no entendemos. Entender el campo del contexto e inventar un formulario para ajustarlo son realmente dos aspectos del mismo proceso. [Ibid., p. 22]. Desde una perspectiva, entonces, el método de diseño se divide en tres etapas, siguiendo una estructura común de investigación dialéctica en ascenso de partes a la totalidad. La primera etapa es la búsqueda deliberada e inventiva de conflictos en un entorno. La segunda etapa es la definición de relaciones geométricas individuales o patrones

que impiden esos conflictos. La tercera etapa es la combinación de esas relaciones para formar un todo cohesivo. En este enfoque, el contexto es un campo de infinitas restricciones, demandas, necesidades y requisitos. Para estrechar el campo y hacerlo manejable para el diseño, Alexander usó estructuras matemáticas y lógicas para analizar y representar problemas de diseño, porque "no podemos seguir aceptando el método intuitivo inocentemente" [Ibid., pág. 8]. Sin embargo, proporcionó una interpretación de las matemáticas y la lógica que es distintivamente diferente de la comprensión popular. Por ejemplo, señaló que las matemáticas modernas, "se ocupa al menos tanto con las cuestiones de orden y relación como con las cuestiones de magnitud" [Ibid., p. 7]. Como tal, es una herramienta poderosa para explorar el orden conceptual y el patrón. A su vez, señaló que la lógica se refiere a más que la deducción y la inferencia, que son poca ayuda para los diseñadores cuando intentan determinar la forma física. Pero, al hablar de la lógica, no necesitamos preocuparnos por los procesos de inferencia en absoluto. Si bien es cierto que una gran parte de lo que generalmente se entiende que es lógica se refiere a la deducción, la lógica, en el sentido más amplio, hace referencia a algo mucho más general. Se trata de la forma de estructuras abstractas, y está involucrado en el momento en que hacemos fotos de la realidad y luego buscamos manipular estas imágenes de la lógica para inventar estructuras puramente artificiales de elementos y relaciones. A veces una de estas estructuras está lo suficientemente cerca de una situación real para poder representarla. Y entonces, debido a que la lógica está tan fuertemente dibujada, obtenemos una visión de la realidad que previamente se nos ocultó. [Ibid., p. 8] Para Alexander, la naturaleza de un objeto está determinada por sus componentes, no por una idea abstracta o trascendente de la forma. Los componentes que Alexander busca, sin embargo, no son los elementos funcionales que uno encuentra en la obra de Bruce Archer o en la estrategia de la ciencia productiva. Argumenta, por ejemplo, que los cuatro elementos funcionales de una ciudad identificada por el Congreso Internacional d'Architecture Moderne (CIAM) — trabajo, morada, recreación y transporte — no son componentes fundamentales en absoluto. Más bien, son "macro-componentes" compuestos de elementos aún más pequeños. El diseño que permanece en el nivel de elementos funcionales, dice, simplemente conduce a la disposición y reordenación de esos elementos, sin crear nuevas estructuras. Para encontrar los verdaderos elementos — los "átomos" de la estructura medioambiental — es necesario descomponer un sistema en las necesidades, fuerzas activas y tendencias de las personas para las que el sistema está diseñado. Para Alexander, "Necesidad"

es un concepto vago y pasivo. Prefirió interpretar la necesidad como una fuerza o tendencia activa, una versión operativa del concepto de necesidad; la idea de una necesidad es mejor reemplazado con la idea de "lo que la gente está tratando de hacer." Identificar estas tendencias es un trabajo laborioso, porque "no se puede señalar ninguna tendencia en cualquier forma absoluta o definitiva." En consonancia con el pensamiento dialéctico, la afirmación de una necesidad es siempre una hipótesis, sujeta al refinamiento durante un largo período de tiempo y a través del trabajo de muchos observadores independientes. Sin embargo, una vez que las tendencias activas se descubren en una situación o entorno, la siguiente tarea es identificar posibles conflictos entre ellos y luego encontrar patrones geométricos que caracterizan una "relación" física que evitará que ocurra un conflicto. Con este fin, Alexander emplea matemáticas no numéricas, gráficos y topología, produciendo el "lenguaje de patrones" y diagramas para los que se conoce su trabajo en arquitectura y Urbanismo. Sin embargo, en la práctica, las dos tareas de diseño — la identificación de tendencias y conflictos y el descubrimiento de patrones o relaciones geométricas que impiden tales conflictos — no se siguen en una secuencia lineal estricta. En la moda dialéctica, se desarrollan juntos, ascendiendo de partes conflictivas o de tendencias humanas, a través de patrones y combinaciones de patrones, a grandes y mayores, llevando finalmente a un conjunto dinámico que es racional, constructivo y Evolutivo. El concepto de la totalidad es fundamental para la dialéctica, y no es menos central para Alexander. Incluso en los primeros trabajos relacionados con el movimiento de los métodos de diseño, se esforzó por explicar la idea unificadora que se encontraba detrás de la descomposición de los sistemas y la búsqueda de los átomos de la estructura medioambiental. Creemos que todos los valores pueden ser reemplazados por un valor básico: todo lo deseable en la vida puede describirse en términos de la libertad de las tendencias subyacentes de la GENTE. Cualquier cosa indeseable en la vida — ya sea social, económica o psicológica — siempre puede describirse como un conflicto sin resolver entre las tendencias subyacentes. La vida puede satisfacerse solo cuando las tendencias de las personas están libres. El entorno debe dar rienda suelta a todas las tendencias; deben eliminarse los conflictos entre las tendencias de las personas. [Alexander y Poyner, 1984, p. 133]. El trabajo de descomposición y la integración gradual de los patrones individuales en estructuras más grandes, es la expresión física de la idea ética y científica que yacía en el corazón de la obra de Alexander. Las implicaciones de esta idea se vuelven aún más claras en el trabajo posterior de Alejandro, cuando la integración e interdependencia de los patrones

atómicos descubiertos o inventados por medio de la descomposición y el método ascendente de su dialéctica se coloca en el contexto del diseño Práctico. En Resumen, ningún patrón es una entidad aislada. Cada patrón puede existir en el mundo, sólo en la medida que sea soportado por otros patrones: los patrones más grandes en los que está incrustado, los patrones del mismo tamaño que lo rodean, y los patrones más pequeños que están incrustados en él. Esta es una visión fundamental del mundo. Dice que cuando construyes una cosa, no puedes simplemente construir esa cosa aisladamente, sino que también debe reparar el mundo a su alrededor, y dentro de él, para que el mundo más grande en ese lugar sea más coherente, y más completo; y lo que haces toma su lugar en la Web de la naturaleza, como lo haces. [Alexander et al., 1977, XIII]. A pesar de la explicación de Alexander, que los patrones son hipótesis para descubrir formas de resolver problemas físicos en la arquitectura y Urbanismo, fue fácil malinterpretar el lenguaje de patrones de Alexander como un sistema rígido de categorías fijas para Construcción. Esto es parte de lo que objetó en su repudio del movimiento de los métodos de diseño, cuando se quejó de que muchos de sus lectores se centraron en el método que conduce a los patrones o diagramas en lugar de en los propios diagramas. Lo que Alexander descubrió no eran las categorías lógicas o gramaticales, en el sentido literal que los lectores pueden haber asumido. Más bien, lo que descubrió fue un conjunto de problemas dialécticos y lugares dialécticos para lidiar con esos problemas. En la tradición intelectual del razonamiento dialéctico, uno diría que descubrió la dialéctica Topoi o "temas." Los diagramas de patrones son esencialmente lugares de descubrimiento e invención para la práctica del diseño creativo, abiertos a una variación ilimitada en situaciones prácticas. Los elementos de este lenguaje son entidades denominadas patrones. Cada patrón describe un problema que se produce una y otra vez en nuestro entorno, y luego describe el núcleo de la solución a ese problema, de tal manera que puede utilizar esta solución un millón de veces, sin hacerlo de la misma manera dos veces. [Ibid., p. x]. Los diagramas de patrones dialécticos de Alexander, los "temas" y "métodos" de su dialéctica, son claramente diferentes de la copia retórica de los temas y los métodos de diseño desarrollados por John Christopher Jones y los temas de Horst Rittel. Sin embargo, todos ellos están destinados a proporcionar al diseñador nuevas herramientas para la invención y el descubrimiento en la práctica. Sus diferencias representan, en la práctica, la diferencia tradicional — y a veces el conflicto — entre la dialéctica y la retórica en la cultura occidental. Para Jones, los temas de su copia ofrecen perspectivas innovadoras sobre los problemas de diseño, y su uso fortalece

la imaginación del diseñador individual y realiza su voz expresiva. Para Rittel, los temas ofrecen el enfoque de la argumentación del diseño. Para Alexander, los patrones o temas de su enfoque ofrecen hipótesis sobre problemas que están incrustados en el contexto en el que la forma del diseñador es una respuesta. Su uso y exploración eleva al diseñador de la opinión personal y subjetiva a un punto de vista objetivo que armoniza con "la Web de la naturaleza," convirtiéndose en "científico." El estudio y uso de temas, por lo tanto, conduce en diferentes direcciones. Para Jones, conduce a una diversa comunidad de diseño, con cada miembro persiguiendo diferentes líneas imaginativas de pensamiento y trabajo. Para Alexander, conduce a la participación colectiva de aquellos que se benefician del diseño, así como el cuerpo de diseñadores e investigadores de diseño que trabajan hacia la mejora del diseño. Por tanto, el cuerpo de las relaciones conocidas debe crecer y mejorarse. El diseño, si se entiende como la invención y el desarrollo de las relaciones, ya no es simplemente una colección de esfuerzos aislados y desconectados. Se convierte en un esfuerzo científico acumulativo. [Alexander, 1984, p. 133].

#### A.6.- MÉTODOS DE DISEÑO, METODOLOGÍA, PRINCIPIOS Y CAUSALIDAD.

A pesar del entusiasmo que animó la búsqueda de métodos de diseño y metodología sistemática en la década de 1960, en la década de 1970 cada una de las figuras centrales del movimiento de métodos de diseño, había encontrado razones para estar insatisfechos con el esfuerzo. Algunos citan la falta de impacto en la práctica del diseño; Otros citan la lejanía de las prácticas reales de los diseñadores. Muchos estaban angustiados por el énfasis que parecía ser colocado en los procedimientos y paso a paso, instrucciones mecánicas, como si el diseño pudiera ser practicado con una receta. Otros expresaron su preocupación de que los métodos identificados prestaron poca atención a los valores humanos y a la creatividad. Todas estas quejas tenían cierta legitimidad, pero eran signos de una consideración más profunda. Hay una paradoja en las diversas críticas del movimiento de los métodos de diseño, particularmente por aquellos que participaron en la etapa temprana del movimiento. Por un lado, los escritores parecen repudiar toda la empresa del movimiento, a veces en términos de mordaz. Por otro lado, las críticas son precisamente una continuación del movimiento y tal vez incluso una elevación del movimiento hacia su objetivo final. La razón de esta aparente contradicción radica en la naturaleza del método y la metodología. Muchos de los participantes y los que siguieron la evolución del movimiento

estuvieron motivados por un estrecho interés pragmático u operacional en lo que podría hacerse dentro de la práctica del diseño en lugar de motivado por un interés en los principios y objetivos del diseño. En Resumen, estaban más interesados en encontrar métodos y técnicas pragmáticas que en entender los temas más profundos de la metodología y el principio que orientaban el diseño en el pensamiento y la práctica. Los métodos y las técnicas son sobre el proceso y el procedimiento, y los métodos poseen un marco interpretativo o una dirección de propósito que proporciona orientación en el uso de técnicas. La metodología, sin embargo, es el estudio de conjuntos y sistemas de métodos y técnicas. Y más que esto, la metodología es el estudio y análisis de los principios que organizan un campo y dan propósito y valor a su exploración. Si bien los primeros trabajos del movimiento parecían centrarse en métodos y técnicas, se trataba de cuestiones de principio, propósito y valor que guiaban las críticas posteriores del movimiento. De hecho, es el descubrimiento y la articulación de principios que es uno de los logros importantes de la metodología de diseño en el movimiento de los métodos de diseño. Desde esta perspectiva, es importante repasar los principios buscados y establecidos por las figuras centrales del movimiento. La más amplia diferencia de principios fue entre Alexander y Archer, quienes mantuvieron posiciones sorprendentemente diferentes en la cuestión de si los principios son inalterables o cambiantes. Alexander, por ejemplo, utilizó la estrategia de la dialéctica y el método de descomposición para encontrar las necesidades o fuerzas activas y tendencias que pueden entrar en conflicto, requiriendo la intervención del diseñador con lenguaje de patrones para resolver conflictos, dando lugar a la actitud sana, constructiva y evolutiva que se requiere para apoyar a los seres humanos. Las fuerzas y tendencias activas son los principios en su visión del diseño, ya que su juego en desarrollo constituye la libertad humana. Argumenta que todos los valores pueden ser reemplazados por un valor básico: todo lo deseable en la vida puede describirse en términos de la libertad de las tendencias subyacentes de las personas — la vida puede cumplir solo cuando las tendencias de las personas están libres [Ibid., p. 133]. Para Alexander, las tendencias subyacentes son inalterable con el tiempo — por lo tanto, la posibilidad de una "forma atemporal de construcción." La naturaleza inmutable de los principios de Alexander contrasta fuertemente con los principios que Bruce Archer descubrió. Para Archer, el diseño puede comenzar con una necesidad, pero la creatividad humana es el principio de la vida, así como el diseño. La noción de principios inalterable es completamente ajena a Archer. Él escribe: "hoy, podemos sospechar que todas las leyes de la naturaleza son

arbitrarias, o incluso que no hay leyes en absoluto" [Archer, 1989a, p. 76]. Citando a Max Planck en el sentido de que no tenemos derecho a suponer que las leyes físicas existen o continuarán en su forma actual en el futuro, observa: "con los científicos que toman este tipo de visión de la ciencia, los diseñadores no deben avergonzarse de aceptar la trans-ciencia del diseño "[Ibid., p. 76]. El cambio continuo, nacido de la creatividad humana, e incrustado en el "salto creativo" del pensamiento de diseño, es el principio organizador de Archer. Teniendo en cuenta la trans-ciencia del diseño y la naturaleza probabilística de la creatividad, escribe: La técnica de la lluvia de ideas en el diseño se basa en el mismo principio. Aquí un grupo de personas, bien informados sobre diversos aspectos del problema en la mano, permiten que sus fantasías corran disturbios, desencadenando en la mente de los demás un torrente de ideas que ninguna cantidad de lógica podría haber producido.... Esto nos lleva de nuevo a nuestro punto original: establecer metas y criterios y detectar ideas brillantes son tareas que no pueden ser abdicadas. [Ibid., p. 76]. Teniendo en cuenta la implicación de la acción creativa, observa los dos tipos de creatividad que distinguen a las escuelas de arte de los colegios técnicos: "la fase creativa del diseño se ha desarrollado más sistemáticamente en Gran Bretaña en los departamentos de diseño de las escuelas de arte. La fase de desarrollo es la gran fuerza del Colegio Técnico "[Ibid., p. 78]. También comenta: "los ingenieros pueden ser débiles en la construcción sistemática de lo breve y en la búsqueda de ideas de diseño originales, pero son fuertes en las técnicas de desarrollo de los detalles" [Ibid., p. 79]. En el lapso de diferencia entre Alexander y Archer, otros dos tipos de principios surgieron del movimiento de los métodos de diseño. La característica distintiva de estos principios, en contraste con el primero, es la idea de la totalidad y el funcionamiento como la causa y la explicación de la actividad de diseño. Para Alexander y Archer, las causas del diseño se encuentran fuera del arte o la ciencia del diseño. Se encuentran en las tendencias subyacentes activas de las personas que requieren resolución de conflictos a través del diseño o se encuentran en la posibilidad de acciones creativas de los seres humanos que permiten a los seres humanos para responder a las situaciones de necesidad. En cada caso, las tendencias o los actos son partes que sirven como la causa y como la explicación de principios de la totalidad de una solución de diseño. Alternativamente, para Rittel y Jones, el correcto funcionamiento del diseño es el objetivo y la explicación del desarrollo de la metodología de diseño y diseño. Como veremos, sin embargo, hay una diferencia fundamental y de principios entre Rittel y Jones sobre la cuestión de lo que causa el buen funcionamiento del arte o la ciencia del diseño. ¿Funciona bien el diseño

cuando está completamente desarrollado en su totalidad como una disciplina o funciona bien cuando la disciplina del diseño se ve y se entiende en un todo que trasciende la disciplina del diseño, un todo que ordena toda la vida?

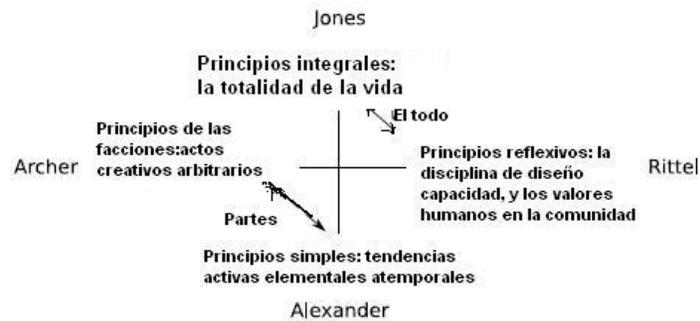


Figura 2. Tipos de principios

Rittel no ha encontrado que la empresa del movimiento de los métodos de diseño sea un fracaso porque para él formaba parte de la evolución orgánica de un campo, desarrollándose de la misma forma que el diseño de un producto se desarrolla. La fase inicial fue una prueba de ideas que caracterizaron la primera generación de esfuerzos para entender los métodos de diseño. Esas ideas eran débiles o ineficaces, pero sólo establecían el escenario para una fase posterior de métodos de diseño de segunda generación que se acercaba a la forma esencial de la metodología de diseño, una forma basada en "argumentación." Él escribe: "la segunda generación se ocupa de las dificultades subyacentes a lo que se tomó como insumo para los métodos de la primera generación. Por ejemplo, para establecer una medida de rendimiento o una función de efectividad es un foco en la segunda generación, mientras que en la primera generación que se consideró una tarea casi trivial "[Rittel, 1984, p. 322]. Este es el caso, también, con la cuestión de la participación. "La pesadilla de la primera generación, las dificultades de implementación, deben desaparecer o al menos reducirse en la segunda generación..." [Ibid., p. 322]. Rittel comparte con Archer un interés en descubrir la disciplina del diseño. Sin embargo, para Rittel esta disciplina es más que una disciplina de método basada en la acción creativa. Más bien, es una disciplina basada en la naturaleza humana y la capacidad humana — fundamentada, es decir,

no en fundamentos arbitrarios, sino en la capacidad natural de la mente humana para razonar y apoyar a la comunidad humana en su desarrollo continuo. La estrategia de investigación de Rittel no es organizar el acto de diseño. La estrategia es revelar cómo los diseñadores razonan y comparten su razonamiento con los demás a través de palabras, símbolos y artefactos. El enfoque para Rittel está en las actividades mentales y las operaciones involucradas en la argumentación, no en la acción misma. A su vez, el razonamiento del diseñador se basa en su visión del mundo, que a su vez se basa en el contexto social donde las visiones del mundo alternativas interactúan y compiten a través del proceso continuo de argumentación. En Resumen, hay para Rittel un principio de reflexividad en el círculo de la actividad mental a la discusión y el proceso social y de vuelta de nuevo. Es la totalidad del funcionamiento del diseño lo que constituye el principio. Y es sobre esta base que Rittel forma la idea de una ciencia del diseño.

La ciencia del diseño tiene tres tareas. En primer lugar, para seguir desarrollando las teorías del diseño, para aprender más sobre el razonamiento de los diseñadores. En segundo lugar, debería buscar investigaciones empíricas sobre cómo se presentan los planes y cuáles son los efectos de los planes en comparación con lo que pretendían. Por último, sobre esta base, debe buscar herramientas para apoyar a los diseñadores en su trabajo. La mente humana es falible. Los métodos deben ser buscados para amplificar sus habilidades, incluso si su [sic] sólo para evitar que nos caigan propensos a nuestras idiosincrasias [sic]. [Rittel, 1988, p. 7]. Mientras que el enfoque de Archer, estaba en el principio de la acción creativa, como la base para el desarrollo de una disciplina de diseño, el enfoque de la obra de Nigel Cross estaba en el principio natural de la "capacidad de diseño humano." Si bien emplearon diferentes estrategias de investigación en su trabajo — en lugar de una estrategia retórica de investigación, la estrategia de Cross fue la investigación cognitiva en el funcionamiento de la mente — tanto Cross como Rittel vieron un terreno natural para la capacidad de diseño. De hecho, para Cross, la capacidad de diseño es "una habilidad cognitiva multifacética, poseída en cierto grado por todos." A continuación, argumenta que la capacidad de diseño es, en cierto sentido, una forma natural de inteligencia. "Creo que hay maneras particulares, "diseñado del saber, pensar y actuar". De hecho, parece posible hacer una afirmación razonable de que la capacidad de diseño es una forma de inteligencia natural, del tipo que el psicólogo Howard Gardner ha identificado "[Cross, 1995, PP. 115 – 116]. Además de perseguir sus propios estudios de capacidad de diseño, Cross también trabajó para

estabilizar una disciplina de la ciencia del diseño a través de vehículos tales como la revista de estudios de diseño y el libro desarrollos en metodología de diseño, que reunió a muchos de los documentos iniciales del movimiento de los métodos de diseño. Estos esfuerzos han contribuido a sostener una dirección de nuevo trabajo que crece fuera del movimiento de los métodos de diseño, reuniendo a un grupo de investigadores que no necesariamente comparten la misma perspectiva filosófica sobre el diseño, pero que comparten una afiliación suelta en la estrategia de una ciencia del diseño y los principios de tal disciplina. Rittel, Archer, Cross y otros que perseguían la estrategia de investigación — ya sea la indagación retórica o la ciencia productiva — encontraron el principio y el fin del diseño en el enfoque adoptado a los problemas y en la comprensión del diseñador de la naturaleza de los problemas a ser Resuelto. Para Rittel, la estrategia retórica conduce a la caracterización de problemas "malvados" que son esencialmente indeterminados en la naturaleza. Para Archer, Cross y otros, el problema del diseño puede caracterizarse ya sea como "bien definido" o "mal definido", y la tarea del diseño es descubrir e implementar una solución. En "descubriendo la capacidad de diseño", Cross resume esta perspectiva: La capacidad de diseño se basa en la resolución de problemas mal definidos adoptando una estrategia de enfoque de soluciones y estilos de pensamiento productivos o sin enfoque. Sin embargo, el enfoque de diseño no se limita necesariamente a problemas mal definidos. Thomas y Carroll realizaron una serie de experimentos y estudios de protocolo sobre el diseño y concluyeron que un aspecto fundamental es la naturaleza del enfoque adoptado para los problemas, en lugar de la naturaleza de los propios problemas: ' el diseño es un tipo de solución de problema en que el solucionador de problemas considera el problema o actúa como si hubiera alguna mala definición en los objetivos, las consideraciones iniciales o las transformaciones permitidas'. [Ibid., PP. 110 – 1]. En contraste con Rittel y otros que encontraron los principios del diseño para mentir en la capacidad de diseño, el funcionamiento de la disciplina del diseño, la estrategia de acercarse a los problemas de diseño, o la visión del mundo del diseñador, John Christopher Jones descubrió un diferente tipo de principio: un único principio integral de la totalidad que sólo es vagamente percibido por los diseñadores y otros en la comunidad humana y que se aborda mejor a través de la intuición, el azar y la perspicacia poética, reconociendo la interconexión de más factores que la razón puede captar. Sin embargo, su carrera comenzó en mucho el mismo lugar que aquellos que buscaban desarrollar la funcionalidad en la disciplina del diseño; perseguía lo que consideraba un enfoque racional sólido. Más tarde, escribiendo en el estilo poético

Délfico que llegó a caracterizar su trabajo a partir de finales de 1970, cuenta la historia de su descubrimiento gradual del principio integral que trasciende otros principios y ordena la vida en su propia lógica, diferente de la lógica estrecha de los seres humanos [Jones, 1984, p. 330]. Su libro anterior, métodos de diseño, buscó relacionar todos los métodos de diseño entre sí y experimentar. En el camino, sin embargo, encontró limitaciones en los principios que fundamentó tal trabajo, y encontró una limitación fundamental en el pensamiento de diseño en torno a la división entre la intuición y la racionalidad, donde la racionalidad no coloca soluciones de diseño en una amplia suficiente contexto de experiencia y vida [Ibid., p. 331]. Al igual que otros en ese momento, Jones estaba interesado en la naturaleza de los problemas de diseño. Sin embargo, a diferencia de aquellos que se centraron en problemas malvados o problemas mal definidos, se centró en la inestabilidad de los problemas y el significado de la incertidumbre de principio. Se encarga de explicar la importancia de la inestabilidad y su diferencia con respecto a las certezas buscadas por otros a quienes llama racionalistas, a saber, que la inestabilidad era un signo de ensanchar el problema al contexto completo que debe abordarse mediante el diseño. Tratando de reducir un problema a cualquier conjunto más pequeño, a pesar de que estos intentos pueden parecer racionales, daña la oportunidad de una solución satisfactoria. ¿Dónde está la esencia del tema? Para mí, la palabra en el índice con la mayoría de las sub-entradas a ella es ' inestabilidad de los problemas de diseño' Que tiene unas diez entradas. Todo el problema se vuelve más inestable a medida que se amplía. A medida que tomas más y más de la vida para ser parte del problema no obtienes un problema más estable obtienes un problema menos estable. Y esto creo que no es lo que les gusta a los racionalistas. Creo que las personas que se acercan a este tema porque parece racional son aquellos que les gusta la certeza en la vida. Si desea certeza, puede dejar este tema solo porque el diseño tiene que ver con la incertidumbre, hasta dónde puedo ver, pero muchas personas que desean certidumbre se meten en ella. Y me temo que están arruinando el tema. [Ibid., p. 332]. No es que Jones se opuso a la razón en el diseño. Más bien, vio sus limitaciones en apretando el principio integral del orden en la vida. Ampliar el problema del diseño, en lugar de reducirla, fue la estrategia que exploró primero a través de la retórica y más tarde a través de la poesía y las artes, incluyendo la música. Esto le llevó a explorar el diseño en una dirección diferente a Rittel y aquellos que buscaban una ciencia del diseño. Jones se centró en el diseño como arte social, ligado al trabajo de los artistas experimentales y a la idea del azar [Ibid., p. 335]. Para completar el círculo de partes a la totalidad, hay similitud y

contraste entre Jones y Alexander en la naturaleza de los principios. Ambos hombres desaprendiendo [Schön, 1983]. Basándose fuertemente en la teoría de la investigación de Dewey, Donald A. Schön ofreció una crítica fuerte y popular de lo que él llamó "racionalidad técnica" en la obra de Herbert Simon y muchos otros que trataron de aplicar la teoría y la técnica científica a la práctica profesional. En un relato influyente de cómo los profesionales piensan en acción, Schön se centró en el diseño como una "conversación reflexiva con la situación", ilustrando el dar y tomar gradualmente de la formulación del problema, el experimento y la reformulación. Si bien este enfoque, de hecho, refleja algunos de los temas centrales de la teoría de la investigación de Dewey, una lectura cuidadosa del practicante reflexivo sugiere que Schön ha interpretado la estrategia de la investigación como una especie de escéptico, cuestionando dialécticamente, aplicable no sólo al diseño, sino a todas las formas de práctica profesional. O, visto desde una perspectiva diferente, ha ampliado el diseño de su aplicación estrecha y lo ha hecho el modelo de toda la práctica profesional-al igual que Simon, también, buscó extender el diseño a toda la vida profesional, pero en terrenos muy diferentes. El trabajo de Schön es representativo de una importante tendencia intelectual en las dos décadas de clausura del siglo XX. Era una tendencia hacia la retórica y la dialéctica en el estudio y la práctica del diseño. De hecho, es representativo de una afiliación suelta de académicos, investigadores y profesionales del diseño mantenidos juntos por temas generales como la comunicación, la invención, la gestión y las ciencias sociales y conductuales. Esta afiliación no tenía un nombre formal o informal, pero podría caracterizarse generalmente como el campo "humanístico" en el diseño. A diferencia de este campo, otro grupo de diseñadores y investigadores de diseño, que se encontraba vagamente afiliado, continuaron persiguiendo la estrategia de la ciencia del diseño, ya sea en ingeniería o en otras ramas del diseño. La metodología de diseño se perseguía dentro de este grupo en varias formas, incluyendo "ciencia de diseño general", "ingeniería sistemática" y "Ciencias de la ingeniería", pero también en diversas formas de psicología cognitiva y análisis cuantitativo dirigido hacia gráficos y diseño industrial. A pesar de las diferencias entre estos dos grupos y el abismo de la comprensión que a veces parece dividirlos, su trabajo colectivo ha servido para elevar la dignidad del diseño en la cultura moderna. Teniendo en cuenta que a principios del siglo XX el diseño se consideró meramente una actividad artesanal menor en los márgenes de cultura, es notable ver la atención que recibe de una variedad de trimestres a principios del siglo XXI.

## B.- ENTENDER LOS REQUISITOS DEL CLIENTE Y LLEVARLOS A ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. (Marc J. de Vries)

Uno de los estudios de caso en el libro de Walther Vincenti, lo que los ingenieros saben y cómo saben, se ocupa del establecimiento de requisitos de diseño que están relacionados con las experiencias de los pilotos con las aeronaves [Vincenti, 1990]. Vincenti describe cómo los diseñadores de aeronaves en el período 1918-1943 gradualmente, aprendieron a utilizar las experiencias de vuelo de los pilotos para establecer los requisitos de diseño. Vincenti muestra que esto no era en absoluto un problema obvio para los diseñadores al comienzo de ese período. Lo que era obvio es que las cualidades de vuelo de un avión estaban relacionadas con el equilibrio entre la estabilidad de la aeronave y la medida en que el avión cedió para controlar las acciones. La estabilidad fue vista como una necesidad por los diseñadores, porque de lo contrario los pilotos constantemente tenían que corregir los movimientos de la aeronave, incluso cuando vuelan en línea recta. Pero una estabilidad demasiado fuerte haría que fuera demasiado difícil cambiar la dirección del vuelo. Esto se expresó en una regla de oro: "estable, pero no demasiado estable". Eso, por supuesto, era una forma bastante vaga de declarar una regla de diseño. Otra desventaja de la regla, además de su vaguedad, fue que no tuvo en cuenta la experiencia que los pilotos en los primeros días de vuelo no tenían ningún problema en absoluto volando aviones bastante inestables. Por el contrario: algunos de esos aviones inestables fueron vistos como uno de los mejores por los pilotos. De la cuenta de Vincenti se puede derivar que en el período 1918-1943 se llevó a cabo una serie de procesos de aprendizaje. En primer lugar, los diseñadores aprendieron a reconocer las experiencias de los pilotos como un factor que es importante para su trabajo. Gradualmente se dieron cuenta de que las consideraciones teóricas relativas a la estabilidad versus control no garantizaban la satisfacción de los pilotos. Pero su problema era que los pilotos expresaban sus necesidades en términos tan vagos que era difícil relacionarlos con los conceptos teóricos (estabilidad, control) que usaban los diseñadores. La mayoría de los pilotos pudieron expresar su opinión sobre las cualidades de vuelo de un avión como "bueno" o "normal", pero eso fue, por supuesto, no muy informativo para los diseñadores. Un segundo proceso de aprendizaje fue conocer la influencia de las características de las aeronaves en la estabilidad y el control. Se trataba de una cuestión de experimentación, tanto en túneles de viento como en vuelo real. Así, los diseñadores aprendieron qué variables eran relevantes para la estabilidad y el control. Por ejemplo, se estudió la influencia

ejercida sobre un palillo de dirección en el ángulo del elevador y las cualidades de vuelo resultantes para varios diseños. Tal conocimiento les permitió establecer el equilibrio entre la estabilidad y el control, ya que como diseñadores lo consideraban apropiado. El tercer proceso de aprendizaje fue relacionar este equilibrio con las experiencias de los pilotos, vagas como se expresaban. Los pilotos se motivaron a contribuir a este proceso de aprendizaje, ya que descubrieron que en los vuelos más largos la falta de estabilidad (sobre la que no se habían cuidado antes en vuelos cortos) resultó en cansancio debido a la constante necesidad de controlar los movimientos de la aeronave. Evidentemente, era de su interés que los diseñadores encontrarían el equilibrio adecuado entre estabilidad y control. Este proceso de aprendizaje fue una cuestión de conversaciones continuas entre ingenieros y pilotos. Vincenti describe cómo esto exigía a ciertas personas que sirvieron como "traductores", que fueron capaces de entender lo que los pilotos significaron y para traducirlo en términos que los ingenieros podrían referirse a. Así, un proceso tuvo lugar que Vincenti caracteriza como la transformación de un problema mal definido con elementos humanos subjetivos (las experiencias de los pilotos) en un problema objetivo bien definido. Una lucha similar para relacionar los deseos de los usuarios con las características de los productos se puede encontrar en uno de los campos de investigación en los que, el laboratorio de Natuurkundig de Philips (NAT. LAB.), estaba activo: grabación de sonido e imágenes. Este laboratorio de investigación industrial fue y sigue siendo uno de los más grandes en la industria de la electrónica. Su historia muestra que fue uno de los pocos que sobrevivieron a la historia, debido a su capacidad para buscar un equilibrio adecuado entre un enfoque en los intereses directos de su empresa y una búsqueda más independiente del conocimiento de los fenómenos que podrían conducir a productos mejorados o nuevos [de Vries, 2005b]. Uno de los campos a los que el laboratorio ha contribuido sustancialmente es el de la grabación óptica (de los cuales los ejemplos primarios de hoy son CD y DVD).

Las luchas que el laboratorio atravesó en este campo, no fueron encausadas por relacionar las necesidades de los clientes y las características físicas ni el desarrollo de la grabación óptica en el NAT. LAB., lo fue por los deseos de los clientes (como era habitual en el período 1947-1972 de la historia del laboratorio), sino por las posibilidades técnicas. Un investigador de NAT. LAB., había notado un disco que contenía información ópticamente almacenada (imágenes pequeñas), que se presentó en una exposición técnica en Italia. A partir de eso nace la idea de desarrollar un disco con información ópticamente almacenada con fines educativos.

Se hizo una lista de los requisitos de los clientes esperados y contenía cuestiones como: capacidad de almacenar imágenes y sonido, un medio bidimensional, acceso aleatorio y, preferiblemente, no de un tipo de cinta. Esta lista revela que es improbable que se haya consultado a los clientes, ya que todas estas son traducciones técnicas de las preocupaciones subyacentes esperadas de los clientes. Probablemente las preocupaciones de los clientes percibidas fueron cuestiones como: vídeo como el contenido deseado de la información, compacidad, y la durabilidad del medio. Estos requisitos fueron vistos como compatibles con la idea de un disco en el que una señal analógica de vídeo o audio podría almacenarse en forma de hoyuelos que fueron leídos por un láser que había sido conectado a un brazo móvil. Philips no fue la única empresa que llegó con tales traducciones técnicas de las inquietudes esperadas de los clientes, y por lo tanto comenzó una carrera para ser la primera con un prototipo en el que todo esto funcionó bien. Al final de la carrera, parecía tener sólo perdedores. Ninguna empresa pudo sacar el producto con éxito comercial. La reflexión sobre este fracaso reveló que se habían pasado por alto los requisitos importantes de los clientes, y también que la traducción a las características físicas elegidas había sido errónea en varios casos. Los clientes parecían preferir una amplia disponibilidad de software (c.q. la disponibilidad de una amplia variedad de películas en disco) por encima de los requisitos que se habían utilizado en las primeras fases del desarrollo. El éxito del producto, que más tarde surgió como un spin-off de esta innovación fracasada, el CD, indicó que los clientes también estaban interesados en el sonido sin imágenes (es decir, música) cuando la calidad del sonido era mejor que la de un disco de vinilo. También lo compacto, que sin duda no había sido una prioridad en el desarrollo del disco de vídeo (que era tan grande como un disco de vinilo) parecía ser valorado por los clientes mucho más de lo esperado. Estos son ejemplos de requisitos de cliente pasados por alto, que bien podrían haber sido descubiertos antes si los clientes hubieran sido consultados. Pero también parecía que la traducción de los requisitos del cliente en las especificaciones del producto no había sido sin problemas. Antes de utilizar la idea del almacenamiento de información en forma de hoyuelos en la superficie del disco, se habían probado varias otras opciones: pequeñas imágenes en un disco (para ser leídas por un tubo colector de la cámara de televisión, cargas eléctricas en un disco, y pequeños hologramas en un disco (la mayoría de estas opciones habían venido del laboratorio RCA en los E.E.U.U.). Al parecer, de lejos no era obvio cómo la percepción de los requisitos del cliente podría ser mejor abordado técnicamente. En este caso las lecciones se aprendieron en un proceso muy costoso.

Los dos casos que se han esbozado anteriormente son de áreas tecnológicas muy diferentes, pero muestran similitudes importantes. En ambos casos hay una lucha para tener en cuenta y lidiar con los requisitos del cliente. Ambas historias muestran que, escuchar a los usuarios no fue considerado como un componente necesario del trabajo de diseño. Además, ambos casos indican dificultades para relacionar los requisitos del cliente con las realizaciones técnicas. Eso, también, parecía ser un asunto no trivial. En las siguientes secciones, las transiciones de los requisitos de los clientes a las características físicas se analizarán de forma más sistemática. En primer lugar vamos a ver cómo el papel del cliente en desarrollos tecnológicos ha cambiado en la segunda mitad del siglo 20, y el papel de la filosofía continental de la tecnología tenía en eso. Este cambio ha invocado la necesidad de reflexionar sobre cómo transformar los requisitos del cliente en especificaciones técnicas. Entonces se demostrará que la naturaleza de esta transición puede describirse en términos de una transición entre lenguas y entre naturaleza del artefacto. Esta última transición implica diferentes tipos de conocimiento relacionados con esas naturalezas. A continuación veremos cómo en la práctica, se utilizan métodos para respaldar la transición de los requisitos del cliente a las especificaciones técnicas. Dos de estos métodos serán analizados con más detalle. El análisis demostrará que es importante tener en cuenta los supuestos metodológicos de cada uno de estos métodos, y cómo estos pueden hacer una diferencia para diversas aplicaciones (artefactos, materiales, software). A continuación, se discutió el problema del cliente como un agregado en lugar de como un colectivo, que se presenta en la práctica de utilizar tales métodos. Luego veremos la importancia de la cooperación entre disciplinas para transformar las necesidades de los clientes en especificaciones técnicas y las consecuencias que esto tiene para la naturaleza de las Ciencias tecnológicas. Por último, examinaremos críticamente el término "traducción" que se utilizará a lo largo de este capítulo.

#### B.1.- LA CAMBIANTE FUNCIÓN DE LOS CLIENTES EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS.

Los estudios de casos históricos de la sección 1, ilustran cómo los ingenieros pueden luchar con el desafío de cómo transformar los requisitos percibidos de futuros clientes y usuarios, en características físicas del artefacto que están diseñando. El hecho de que los ingenieros busquen traducciones de los requisitos de los clientes a las características físicas no significa necesariamente que los propios clientes tengan una opinión en este proceso. Bien puede ser que los ingenieros no

sienten ninguna necesidad de consultar a los clientes porque están convencidos de que ellos mismos saben lo que es bueno para los clientes, tal vez incluso mejor que los clientes. Ambos casos de estudio lo han ilustrado. Ellos son los expertos, mientras que los clientes son solo laicos. Esta actitud es visible en la visión de la "Tecnología pujante" sobre los desarrollos tecnológicos. Se resumió en el lema de la Feria Mundial 1933: "la ciencia inventa; industria aplica; el hombre se conforma". Esta visión prosperó en las décadas de 1950 y 1960, cuando hubo un sentimiento general de que la tecnología podía desempeñar un papel esencial en la construcción de una nueva sociedad en la que todos los malos recuerdos de la segunda guerra mundial serían anulados por la riqueza y la prosperidad que la tecnología traería. Hubo crecimiento económico y esto ofreció a las personas una amplia oportunidad de aprovechar las nuevas tecnologías. Esto es, por ejemplo, el período de la electrificación de los hogares (tanto en Europa como en los Estados Unidos; véase [Morton, 2002]). Los nuevos artefactos eléctricos invadieron las vidas de todas las personas y no solo a los pocos felices (más ricos). En un laboratorio de investigación industrial como el de Philips Natuurkundig Laboratorium (NAT.LAB.), la idea dominante era que el motor del progreso tecnológico no es la exigencia de los clientes, sino la ciencia. El enfoque no fue tanto en la transformación de los requisitos del cliente en características físicas, sino en la transformación de fenómenos naturales (como se estudia en la ciencia) en características físicas. Esta idea, también, se reflejó en el lema de la exposición mundial. También fue el núcleo de la visión de Vannevar Bush en el informe 'Ciencia: La última Frontera' que fue publicado en los Estados Unidos poco después del final de la segunda guerra mundial. Su Consejo para el presidente era estimular la investigación "básica", ya que esto seguramente llevaría al progreso industrial. El gran ejemplo de esta doctrina fue la bomba atómica, que fue un spin-off de la física nuclear. No mucho después de que otro ejemplo surgió: el transistor, que era claramente el resultado de la aplicación de la teoría de la física de estado sólido, como los esfuerzos anteriores para copiar la estructura de una válvula de triodo en estado sólido, de una manera puramente experimental había fracasado. Los requisitos del cliente no habían jugado ningún papel en esto. Sólo sirvieron como un disparador para el desarrollo. La búsqueda del transistor estaba motivada por la necesidad de tener un amplificador compacto para dispositivos de conmutación telefónica. Irónicamente, las primeras aplicaciones no tenían nada que ver con la telefonía: estaban en dispositivos auditivos, en el ordenador y en radios (de transistores). Así que la fuerza impulsora detrás del desarrollo de los muchos artefactos nuevos en los años 1950 y

1960, se creía que no eran tanto los requisitos del cliente, sino más bien el conocimiento científico. Sin embargo, uno puede cuestionar si esa es la imagen real. La historia de la Philips Natuurkundig Laboratorium en ese período muestra que aquellos casos en los que el desarrollo de un nuevo artefacto fue el resultado de la aplicación de los conocimientos producidos por la investigación 'básica' en el laboratorio fueron las excepciones en lugar de la regla. Muchas ideas provenientes del laboratorio fueron rechazadas por las divisiones de productos (PD) de Philips como no comercialmente factibles. Evidentemente, existía preocupación por la opinión de los clientes. Sin embargo, esto no significa que esos PDs se acercaron activamente a los clientes para conocer sus deseos. Fueron los ingenieros que trabajaban en los PDs quienes afirmaban saber lo que los clientes apreciarían. Así que, aunque su idea no era transformar los fenómenos naturales (como se estudia en la investigación 'básica') en características físicas, sino más bien (percibido) los requisitos del cliente, los propios clientes no tenían un decir en el proceso de transformación. En este contexto la filosofía de la tecnología comenzó a emerger como una nueva disciplina. El número de artefactos que se introdujeron en los hogares y en la sociedad en general, era tan grande que una serie de filósofos continentales empezaron a escribir sobre la tecnología con gran preocupación. Jacques Ellul presentó la opinión de que ya no había una colección de artefactos separados, sino que todos estos artefactos trabajaban juntos y tenían el carácter de un sistema autónomo en el que la sociedad había perdido el agarre. Martin Heidegger advirtió por el efecto que estos artefactos omnipresentes tenían en nuestra percepción de la realidad, a saber, como sólo un recurso. Tanto Ellul como Heidegger eran pesimistas acerca de las posibilidades de cambiar esta situación. No voy a entrar en las diversas formas en que estos puntos de vista pueden ser criticados, pero sólo mencionarlo como una muestra de la inquietud que varios filósofos continentales sentían acerca de los efectos de la omnipresencia de artefactos. Sus escritos fueron uno de los factores que eventualmente causarían un cambio en el papel de los clientes en el desarrollo de productos. Crearon una conciencia de que sin una influencia social consciente en los desarrollos tecnológicos, la tecnología no sólo sería beneficiosa, sino que también podría convertirse en una amenaza. Una cosa, sin embargo, debe mencionarse. La investigación histórica ha demostrado que los clientes tuvieron una influencia sustancial en la implementación y difusión de artefactos. Los clientes, por ejemplo, tuvieron un impacto sustancial en las opciones entre los diferentes tipos de suministro de energía (gas versus electricidad) en los hogares. Esto, sin embargo, no

significa que las necesidades de los clientes también tuvieron un efecto en el desarrollo de la tecnología. A finales de la década de 1960 la situación cambió, quizás no principalmente debido a las advertencias de los filósofos, sino porque el crecimiento económico llegó a su fin. Además, los primeros efectos negativos a gran escala de la tecnología en el entorno natural se hicieron evidentes. La gente comenzó a cuestionar el dominio percibido de la ciencia y la tecnología en la sociedad. Fue el momento en que la evaluación tecnológica surgió como un instrumento para obtener el control social sobre el desarrollo de nuevos artefactos mediante la investigación de sus posibles efectos en diversos aspectos de la vida social. Esto no funcionó para todos los desarrollos tecnológicos. La energía nuclear, por ejemplo, se desarrolló a pesar de la resistencia social sustancial. Pero la nueva actitud hacia la tecnología tuvo un impacto en el desarrollo de productos de consumo masivo. El estancamiento económico hizo que los consumidores fueran más críticos con los nuevos productos tecnológicos. Hasta entonces los clientes podían permitirse el lujo de comprar cualquier producto nuevo, pero ahora eran más selectivos y se veían más cuidadosamente si el nuevo producto realmente abordaba sus necesidades y deseos. Estos cambios también afectaron el trabajo en laboratorios de investigación industrial. En la Philips Natuurkundig Laboratorium, por ejemplo, creó una nueva relación entre el laboratorio y las PDs. El laboratorio tuvo que tener en cuenta los deseos de los PDs en su elección de áreas de investigación. Además, se crearon nuevos mecanismos para la cooperación entre el laboratorio y las PDs con el fin de ayudar al laboratorio a obtener una mejor comprensión de lo que los clientes valorarían. Pero tal vez el cambio más importante para el tema en cuestión, es que también se desarrollaron mecanismos para ayudar a los ingenieros a obtener una comprensión de lo que los clientes querían al obtener información de ellos, en lugar de trabajar con las estimaciones propias de los ingenieros de lo que los clientes desearían. Este desarrollo se puede ver en la forma en que el concepto de calidad cambió en la década de 1970. Si hubiera sido originalmente pensado para centrarse en el control de los procesos de producción para evitar la venta de artefactos que funcionan mal, más tarde se convirtió en un concepto que implicaba lo que se podía hacer para diseñar y producir artefactos para que complacieran al cliente, y también se consideró que el propio aporte del cliente era indispensable para ello. Esta perspectiva de calidad se denominó "gestión de calidad total". En la filosofía (orientada continentalmente) de la tecnología, estos cambios se reflejaban en nuevas ideas sobre el papel de la sociedad en los desarrollos tecnológicos [de Vries, 2005a]. El filósofo Andrew

Feenberg demostró que los usuarios no sólo podían influir en la difusión de nuevos artefactos en la sociedad, sino también en su función. Usó el ejemplo del sistema informático Minitel en Francia para ilustrar esto [Feenberg, 1999]. Los clientes hackearon el sistema y redefinieron el artefacto después de su introducción. Su intención era ser un sistema de divulgación de información por parte del gobierno, pero pronto se transformó en un sistema de intercambio de información entre usuarios por parte de los mismos usuarios. Esto, sin embargo, todavía no significa que los usuarios fueron capaces de influir en el diseño del artefacto. Redefinían su función, pero no cambiaban las características físicas del sistema. La misma limitación se puede ver en la opinión de los constructivistas sociales, que afirman que cada artefacto técnico es una construcción social, porque son los usuarios en lugar de los ingenieros que determinan lo que es (para). Wybe Bijker llegó con el ejemplo-ahora clásico-de la bici [Bijker, 1995]. Algunos usuarios lo vieron como una "máquina de macho" que los chicos podrían usar para mostrar su coraje a las niñas en lugar de como medios de transporte. Esto, sin embargo, no significa que la moto fue diseñada como una "máquina de macho" escuchando los requisitos de los clientes (es decir, los niños). No sólo los constructivistas sociales, sino también la filosofía de la tecnología orientada continentalmente, no ofrecen muchas pistas sobre cómo las necesidades de los clientes realmente afectan el desarrollo de artefactos. Tal vez esto tenga que ver con el hecho de que casi todos los filósofos en esa tradición toman una perspectiva de forasteros. No investigan mucho el trabajo de los ingenieros 'desde dentro'. En las secciones restantes de este capítulo dibujaré principalmente desde una corriente orientada analíticamente en la filosofía de la tecnología, en la que encontramos más de esa "perspectiva privilegiada".

## B.2.- DIFERENCIAS ENTRE LAS DESCRIPCIONES DE LOS ARTEFACTOS TÉCNICOS ENTRE LOS USUARIOS Y DISEÑADORES.

Hemos visto ejemplos históricos de cómo los requisitos de los clientes se tradujeron en características físicas, y también hemos discutido brevemente el papel cambiante de la sociedad en el desarrollo de artefactos en la tecnología. Ahora haré un primer análisis de por qué en absoluto hay una transformación de las necesidades de los clientes en las características físicas del artefacto. Argumentaré que hay dos tipos de transformaciones en juego: la traducción entre idiomas y una traducción entre naturalezas del artefacto. Uno de los factores que complican la transformación de los requisitos del cliente en características físicas es que los clientes y los ingenieros hablan diferentes idiomas. En un término Wittgensteiniano,

se podría decir que utilizan diferentes juegos de idiomas. Wittgenstein ha señalado que en diferentes contextos, la gente puede usar reglas diferentes para usar palabras. Esto puede ser reconocido en nuestro tema. Los ingenieros utilizan un juego de idiomas en el que una definición precisa es importante. Una lista de requisitos configurados en un proceso de diseño contiene términos bien definidos y en gran medida es cuantitativo, lo que le da una apariencia aún más exacta. Incluso cuando las incertidumbres están implicadas, se cuantifican (por ejemplo, en la estadística de los márgenes de error de producción). En la ingeniería, la forma a menudo vaga en la que un término es "definido" en el lenguaje de la vida ordinaria no es aceptable. Los ingenieros no consideran que tales términos sean elementos válidos en su idioma. Sin embargo, el público en general no necesariamente experimenta su lenguaje como mal definido (este es el predicado que Vincenti utiliza para caracterizar el idioma de los clientes; también usó el término ' Traductor ' para una persona que fue capaz de establecer conexiones entre los usuarios ' y las inquietudes de los diseñadores). En ese contexto, se utilizan otras normas para determinar si un término está bien definido o está mal definido. También los términos que utilizan los ingenieros son muy específicos para su profesión. La mayoría de los términos son desconocidos para los no ingenieros. Incluso cuando los ingenieros utilizan un término que también se presenta en el lenguaje ordinario de la vida cotidiana, a menudo tiene un significado diferente. Los ingenieros que utilizan el término "peso" no significan lo mismo que en el uso del público en general del término (se usaría el término "masa" en lugar de lo que el público llama ' peso'). Por tanto, tanto el significado de los términos como el aceptado como término válido pueden diferir entre ingenieros y clientes. Esta diferencia en los juegos de idiomas puede dar lugar fácilmente a malentendidos y otras dificultades en la comunicación entre ingenieros y clientes. Estas dificultades pueden reconocerse en la práctica de las empresas industriales cuando los departamentos de ingeniería se comunican con los departamentos de gestión, marketing y ventas. Esta es la base de muchos chistes en el conocido cómic Dilbert de Scott Adams. El ingeniero Dilbert a menudo se encuentra mal entendido por la gestión de la empresa en la que trabaja. En el cómic esto nos hace sonreír. En la práctica industrial, sin embargo, es una cuestión de verdadera preocupación. Además de una transformación del lenguaje, también se produce una transformación entre dos naturas del artefacto cuando los requisitos del cliente se transforman en características físicas. Un artefacto técnico se puede describir de acuerdo con dos Naturalezas: una naturaleza física y una naturaleza funcional [Kroes y Meijers, 2006].

Cuando consideramos la naturaleza física del artefacto estamos lidiando con su tamaño y forma, su peso, color, olor, sus materiales, su conductividad, etcétera. Cuando consideramos su naturaleza funcional nos centramos en lo que se puede utilizar. Los requisitos del cliente en la mayoría de los casos, se refieren a la naturaleza funcional de un artefacto (más adelante mostraré que existen excepciones). De hecho, esto es lo que los clientes pueden hablar más cómodamente, ya que carecen de experiencia en muchos de los aspectos de la naturaleza física. Las características físicas se refieren a la naturaleza física. Aquí es donde los ingenieros tienen su experiencia. Lo que se necesita en el diseño del artefacto es una traducción de declaraciones sobre una naturaleza funcional deseada en declaraciones sobre una posible (y preferiblemente también factible) naturaleza física. Este es, de hecho, el núcleo del desafío del diseño.

### B.3.- CONOCIMIENTO SOBRE LA NATURALEZA DEL ARTEFACTO.

Al expresar sus deseos, los clientes provienen del conocimiento que tienen sobre los artefactos existentes, a los que se puede hacer referencia cuando se diseñan nuevos artefactos (de hecho, la mayoría de los diseños se pueden considerar como rediseños). Como se sugirió en la sección anterior, tanto los ingenieros como los usuarios tienen conocimientos sobre los artefactos. Este conocimiento puede ser al menos de tres tipos diferentes: conocimiento de la naturaleza física del artefacto, conocimiento de la naturaleza funcional, y conocimiento de la relación entre lo físico y lo funcional [de Vries, 2003]. El último tipo de conocimiento, por supuesto, es al menos tan importante para el tema de este capítulo como los otros dos tipos de conocimiento. Es ese tipo de conocimiento lo que permite a los ingenieros hacer la transformación de las necesidades del cliente (relacionadas con la naturaleza funcional del artefacto en el diseño) a la naturaleza física (relacionada con las características físicas del artefacto). Aquí se pueden distinguir dos subtipos. El primer tipo puede formularse de la siguiente manera: la persona  $S$  sabe que la propiedad física  $p$  del artefacto  $A$  (o una combinación de propiedades  $PI$ ) lo hace adecuado para llevar a cabo con la acción  $AC$  que los resultados en el cambio deseado en el estado de los asuntos  $\Phi_i \rightarrow \Phi_i + 1$ . Por ejemplo: una persona sabe que la longitud de un destornillador hace que sea adecuado para abrir la tapa de una lata de estaño (tenga en cuenta que esto no era lo que el artefacto estaba destinado a, pero el usuario puede decidir ignorar la función adecuada del artefacto y utilizarlo para una función). Este es el tipo de conocimiento que el cliente utiliza para identificar para qué se puede utilizar un artefacto existente, en función de su naturaleza física observada. El segundo sub-tipo puede definirse de la siguiente manera: para permitir que la acción  $AC$  con el artefacto  $A$  resulte en el cambio deseado en el estado de las cosas  $\Phi_i \rightarrow \Phi_i + 1$ ,  $A$  debe tener propiedad física  $p$  (o una combinación de propiedades físicas  $PI$ ). Por ejemplo: una persona sabe que para hacer un martillo golpear

clavos en un pedazo de madera, necesita tener una cabeza pesada. Este es el tipo de conocimiento que el diseñador usa para identificar las propiedades físicas que son necesarias para hacer que la función de artefacto como debería. Es importante tener en cuenta que el cambio deseado en el estado de las cosas no es sólo la realización de la función en un sentido estricto (por ejemplo: la uña que se inserta en la pieza de madera). También puede incluir varios deseos que están relacionados con esta realización de la función. La seguridad es un buen ejemplo de ello. Implícitamente incluido en el cambio deseado de estado de cosas es que, en el nuevo estado de cosas siga siendo saludable. También estar en bancarrota debido al alto costo de darse cuenta de la función, puede ser considerado como indeseable en el nuevo estado de cosas. Esto significa que la seguridad y los costos son vistos como posibles elementos en la naturaleza funcional de un artefacto en mi cuenta. Esto, por supuesto, también contiene varias otras propiedades no físicas del artefacto que los usuarios pueden incluir en sus deseos. También cabe señalar que los tres tipos de conocimientos que se han mencionado hasta ahora (conocimiento de la naturaleza física de un artefacto, conocimiento de su naturaleza funcional y conocimiento de la relación entre la naturaleza física y funcional) no agotan todos los conocimiento sobre el artefacto, incluso cuando el conocimiento de la naturaleza funcional se toma en el sentido amplio como se indica. Hay, por ejemplo, también el conocimiento de cómo operar el artefacto (tanto los usuarios como los diseñadores pueden tener esto). He seleccionado deliberadamente esos tipos de conocimientos que están directamente involucrados en la transformación de los requisitos de los clientes en las características físicas del artefacto. A veces, los usuarios tienen creencias sobre la relación entre lo físico y la naturaleza funcional de un artefacto también cuando se les pide que expresen sus deseos con respecto a un artefacto en el diseño, pero esto no significa que también tengan conocimiento del tercer tipo en mi lista corta de arriba. Como ejemplo, se puede mencionar la siguiente experiencia. Un productor de material aislante que se utiliza en edificios, descubrió accidentalmente que el mismo material se puede utilizar como sustrato para las plantas. Los ingenieros querían optimizar el material para esta nueva aplicación, ya que no había sido diseñado para esto originalmente, y con el fin de hacer eso le preguntaron a los agricultores, sobre sus requisitos para dicho material. Los agricultores les dijeron que querían que el material fuera homogéneo, con el fin de garantizar un crecimiento homogéneo de las plantas sobre el sustrato (esto era importante porque el sistema de riego se dividió por igual en el espacio donde se cultivan las plantas). Los ingenieros sabían que esto no era una condición necesaria para el crecimiento homogéneo de las plantas. Pero los agricultores insistieron tanto en la homogeneidad del material que la empresa decidió dar y tomaron la homogeneidad de la materia en lugar del crecimiento homogéneo de las plantas como requisito. En este caso, la creencia de los agricultores acerca de la relación entre la naturaleza física del material (homogeneidad) y su naturaleza funcional (causando un crecimiento homogéneo de las plantas) fue falsa. En general, las creencias de los ingenieros

acerca de la relación entre la naturaleza física y funcional serán más fiables que las creencias de los usuarios, dada su mayor experiencia de la naturaleza física. Las creencias falsas sobre la relación entre lo físico y lo funcional también pueden causar problemas en el uso de un artefacto, en particular cuando las funciones accidentales están en juego. Se puede esperar que la función adecuada sea acorde con la naturaleza física del artefacto porque el diseñador eligió esa naturaleza basada en su experiencia. Pero las funciones accidentales pueden basarse en falsas creencias de qué manipulaciones permitirá la naturaleza física de un artefacto. Incluso el desglose total del artefacto puede ser el efecto de esto. Por lo tanto, los diseñadores pueden considerar posibles funciones accidentales con el fin de adaptar la naturaleza física para que sean prevenidas situaciones peligrosas en casos de uso accidental.

#### B.4.- TRANSFORMAR LOS REQUISITOS DE LOS USUARIOS EN CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.

Habiendo visto los diferentes tipos de conocimiento, que ingenieros (y usuarios) pueden tener de un artefacto, ahora estamos listos para examinar más de cerca lo que puede significar los términos ' transformación ' y ' traducción ' que hasta ahora hemos utilizado como si su significado era obvio. "Transformación" significa que vamos de una forma a la otra. En el caso de lo que trata este capítulo, significa pasar de un tipo de información a la otra. Lo que los diseñadores quieren hacer es pasar de la información sobre el artefacto en términos de los requisitos de los clientes a un tipo diferente de información sobre el artefacto, es decir, acerca de sus características físicas. ¿Pero cómo pueden hacer eso los diseñadores?. Tal vez el término ' traducción ' da más información sobre eso. La traducción no es una proyección de uno a uno. Por lo general, un traductor tiene más de una palabra para elegir como la traducción de una palabra en otro idioma, o más de una construcción gramatical que es equivalente a la construcción en el idioma original. Ignorar este hecho es lo que conduce a las traducciones, a menudo torpe, que se generan por el software de traducción. Esto es lo mismo al traducir los requisitos del cliente en características físicas del artefacto. Un requisito de cliente puede estar relacionado con más de una característica física. Por ejemplo, en el caso de la aeronave con la que se inició este capítulo, las cualidades de vuelo estaban relacionadas con la estabilidad y el control. En ese caso, ambos debían tenerse en cuenta, ya que parecía ser el equilibrio entre los dos que determinaban las cualidades de vuelo. Viceversa, una característica física puede estar relacionada con más de un requisito de cliente. Como la traducción de los requisitos del cliente se basa en las relaciones entre los requisitos del cliente y las características físicas, el conocimiento de estas relaciones desempeña un papel importante en esta traducción. El hecho de que no

exista una relación de uno a uno, tiene como consecuencia que se lleve a cabo un proceso de ida y vuelta para alcanzar una comprensión completa de la traducción. Supongamos que se ha encontrado que un requisito de cliente determinado está relacionado con una determinada característica física, entonces es relevante investigar si esa característica física está relacionada con otros requisitos del cliente también. Satisfacer un requisito de cliente por ciertas decisiones de diseño con respecto a esa característica física puede tener consecuencias en la medida en que el otro requisito del cliente, relacionado con la misma característica física, se satisface. La complejidad de las relaciones hace que sea difícil para los diseñadores hacer la traducción sólo en sus mentes. En particular, cuando los artefactos se consiguen complejos, los diseñadores sienten la necesidad de usar métodos que visualicen las relaciones y, por lo tanto, ayuden a adquirir una perspectiva sobre la totalidad de las relaciones entre las necesidades del cliente y las características físicas. Algunos de estos métodos serán discutidos y analizados en la siguiente sección.

#### B.5.- MÉTODOS DE TRANSFORMACIÓN.

Los métodos que admiten la traducción de los requisitos del cliente a las características físicas son un tipo de conjunto completo de métodos que tratan con los requisitos de los clientes. El enfoque en los clientes en contextos de negocios industriales se ha desarrollado bajo el nombre genérico de gestión de calidad total (TQM). El término "calidad" se ha ampliado sustancialmente en los años 1970 y 1980. En cuanto al significado original del término "calidad" para este concepto más amplio, también se desarrollaron métodos. Así surgió todo un conjunto de métodos, relacionados con las diferentes fases del ciclo de vida. Muchos de estos métodos se referían a la fase de diseño. Esto se puede decir por sus nombres: "diseño para fabricación", "diseño para montaje", "diseño para logística", "diseño para costo", "diseño para reciclaje", etcétera. La mayoría de estos métodos tratan las necesidades de los clientes indirectamente. Ayudan al diseñador a elegir una naturaleza física para el artefacto que será más fácil de fabricar, más fácil de ensamblar, más fácil en términos de la logística que se necesita para su producción, más barata o más fácil de reciclar. "Más fácil" en su mayoría resulta en "más barato", y esta ventaja se puede utilizar para reducir el precio del producto, lo que complacen al cliente. Por lo tanto, el precio más bajo es un resultado indirecto de los métodos de "diseño para X". Sin embargo, algunos métodos de TQM tienen una relación más directa con los intereses de los clientes. Dos ejemplos de ellos son:

implementación de la función de calidad (QFD) y análisis de valor (VA). Primero daré la descripción del 'libro de recetas' de los métodos y aplazaré la crítica metodológica a la siguiente sección. El método QFD refleja la idea de una naturaleza física y funcional de un artefacto. El método se basa en una matriz en la que los requisitos de los clientes (relacionados con la naturaleza funcional del artefacto) están en las filas de la matriz, y las características físicas del artefacto (su naturaleza física) están en las columnas. Las características físicas suelen ser parámetros cuantitativos del artefacto. Las relaciones entre los requisitos del cliente y las características físicas se expresan en las celdas de la matriz. Esto se hace generalmente en una escala nominal (aunque expresado en números: 9 para una relación fuerte, 3 para una relación moderada, 1 para una relación débil, y 0 para la independencia total). Al agregar las puntuaciones de relación para cada columna se puede derivar una puntuación total que indica la importancia de la característica física en esa columna. A menudo, se agrega un factor de peso para cada requisito de cliente a cada fila y se multiplica con las puntuaciones de relación antes de agregar las puntuaciones en una columna. Esto mejora el significado de la puntuación total: a continuación, muestra qué características físicas tienen las relaciones más fuertes con los requisitos más importantes del cliente. Estas características, por supuesto, se deben dar prioridad al diseñar el producto para asegurarse de que encajan con los requisitos de los clientes. El análisis de valor se centra en las compensaciones entre las funciones que el cliente valorará y el costo de realización de esas funciones en (partes específicas del) artefacto. El análisis se basa en un diseño existente de un artefacto que se va a rediseñar, o un diseño de borrador de un nuevo artefacto. En primer lugar, se realiza un análisis de todas las funciones y sub-funciones del artefacto y de cada función y sub-función se adjunta una puntuación que representa la medida en que los clientes valoran esa función o sub-función en particular. A continuación, a cada función y sub-función se adjunta el precio de la pieza en la que se realiza esa función.

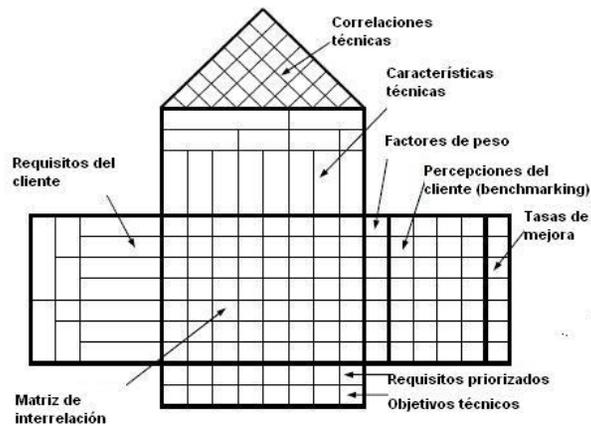


Figura 1. Matriz QFD

Por último, una comparación entre los valores y los precios indica discrepancias: partes con altos costos pero valores bajos para los clientes pueden eliminarse o tal vez su función puede diseñarse en una parte ya existente mediante la remodelación; partes con bajos costos, pero la alta apreciación del cliente puede mejorarse, por ejemplo, eligiendo materiales mejores y más caros. Como en el QFD, aquí también se identifican las relaciones entre la naturaleza física (la presencia de ciertas partes) y la naturaleza funcional (la medida en que los clientes aprecian ciertas funciones). Otra similitud entre el QFD y el VA es el esfuerzo por expresar estas relaciones de forma cuantitativa. De estos dos métodos, QFD es el que más abarca, porque el valor que los clientes dan a cada función se representa en los factores de peso que se agregan a las filas. Por ese motivo, se elige QFD para su posterior análisis en la siguiente sección. Sin embargo, las conclusiones resultantes de este análisis también son relevantes para otros métodos y, por lo tanto, ofrecen más información general sobre la cuestión de este capítulo que solo para la metodología de diseño QFD, metodología de diseño de índice.

#### B.6.- REFLEXIONES METODOLÓGICAS

En esta sección se presentará un análisis crítico del método QFD. Primero discutiré cómo los análisis pasaron a formar parte de la metodología de diseño después de un período anterior de vistas de los métodos. A continuación, voy a pasar a centrar en las suposiciones que subyacen el método QFD y mostrar primero qué suposiciones tiene el método QFD en términos de identificación de los requisitos del cliente, para identificar las características físicas, y para identificar las

relaciones entre requisitos del cliente y características físicas, y finalmente demostraré que QFD, de hecho no hace la traducción real de los requisitos del cliente a las características físicas, sino que sólo ayuda a estructurar el problema de esta traducción.

6.1.- Alejándose de una visión desnuda sobre los métodos en la metodología de diseño, en su estudio de la historia de la metodología de diseño, Nigel Cross demostró cómo esta disciplina originalmente tenía una visión bastante desnuda sobre los procesos de diseño [Cross, 1984]. Se suponía que todos los procesos de diseño, independientemente de lo que se diseñaba, debían ejecutarse en tres fases consecutivas principales: análisis, síntesis y evaluación. Sólo más tarde, los metodólogos de diseño descubrieron que la realidad era demasiado compleja para un esquema tan simple. Tanto como una representación descriptiva como prescriptiva de los procesos de diseño, el esquema de análisis-síntesis-evaluación pareció fallar. El proceso real que pasaron los diseñadores fue mucho más complicado y difería sustancialmente entre las diferentes áreas de diseño. En particular, las diferencias entre el diseño de ingeniería mecánica y el diseño arquitectónico se investigaron más adelante en la historia de la metodología de diseño, también se investigaron en la filosofía de las diferencias tecnológicas entre los procesos de diseño en diferentes áreas. Sarlemijn, por ejemplo, describió tres tipos diferentes de tecnologías de las que el desarrollo tiene características muy diferentes [Sarlemijn, 1993]. Las tecnologías basadas en la experiencia en su terminología, son tecnologías en las que la experiencia de los diseñadores (y usuarios) con diseños anteriores es la base para el trabajo de diseño, más que las teorías fundamentales que describen los fenómenos naturales en los que se basa el funcionamiento del producto. Estas teorías se presentan en lo que él llamó macro-tecnologías, al menos las teorías clásicas de la mecánica, la termodinámica y el electromagnetismo. El tercer tipo de tecnología en la taxonomía de Sarlemijn es el de las micro-tecnologías, en las que las teorías fundamentales de las micro-partículas y micro-estructuras son un requisito previo necesario para el desarrollo de artefactos. Al analizar una serie de estudios de caso (por ejemplo, el transistor y el Philips Plumbicon) Sarlemijn demostró que los requisitos de los clientes pueden tenerse en cuenta en las tecnologías basadas en la experiencia (los clientes tienen una idea bastante buena de lo que el producto puede hacer y que tales requisitos son más difíciles de tratar en las primeras fases de la evolución micro-tecnológica, ya

que en esos casos la comprensión de los fenómenos requiere prioridad [Sarlemijn, 1993].

Es notable que, a pesar de todas las lecciones que se han aprendido en la metodología de diseño, la forma en que los métodos de TQM se utilizan en la práctica, a menudo está en consonancia con los primeros días de la metodología de diseño. Una vez más, se hacen fuertes afirmaciones de generalidad. La literatura de TQM no presta atención a las diferencias entre las diferentes áreas de diseño, por ejemplo, las diferencias con respecto a la medida en que es posible hacer frente a los requisitos del cliente en las primeras fases del proceso de diseño. Esto sugiere que los métodos tales como QFD y VA se aplican a cualquier problema de diseño de una manera similar. Un enfoque de este tipo ha dado lugar a experiencias decepcionantes en empresas de negocios en las que se utilizaron esos métodos. El análisis de tales experiencias ha sumado a la conciencia de que es necesario hacer Reflexiones metodológicas cuidadosas sobre los métodos antes de aplicarlos a una determinada situación. La metodología de diseño y la filosofía de la tecnología pueden tener implicaciones prácticas aquí. Los métodos se basan en suposiciones. Los análisis metodológicos pueden aclarar cuáles son esas suposiciones y en qué medida se cumplen en determinadas situaciones. Esta es la razón por la que la reflexión metodológica puede contribuir a las aplicaciones exitosas de los métodos. Este es también el caso de los métodos TQM. Por lo general, esos métodos se describen en términos de una secuencia prescriptiva de acciones. Varias de estas acciones requieren conocimientos para poder llevarse a cabo con éxito. La descripción del 'libro de recetas' presupone que este conocimiento está presente, pero no lo hace explícitamente. Aquí es donde se producirán problemas: los agentes que llevan a cabo las acciones carecen de conocimiento pero no son conscientes de que esto causa errores en la aplicación del método. Esto se traduce en resultados defectuosos del método. Sin embargo, no hay ningún 'mecanismo' que advierte al agente cuando los resultados se basan en la entrada de creencias falsas al llevar a cabo los pasos en el método. Esto se puede ilustrar en el caso de QFD.

6.2.- Supuestos relativos a la identificación de los requisitos del cliente, las características físicas y las relaciones entre ellos.

Una suposición importante de QFD es que hay clientes que pueden explicar sus deseos. Esta suposición es crucial en lo que Sarlemijn ha llamado el enfoque 'americano' a QFD, en el que la dirección en la que va el desarrollo del producto está

determinada por los requisitos de los clientes. Sarlemijn contrasta ese enfoque con lo que él llama el enfoque 'Japonés' a QFD, en el que la compañía establece las instrucciones para el desarrollo de productos sobre la base de sus propias consideraciones estratégicas, pero consulta al cliente cuando se trata de más detalles [Sarlemijn, 1995]. Por ejemplo, cuando Honda decidió actualizar su exitoso modelo de coche CIVIC al mercado de gama alta, esto no se hizo porque los clientes lo habían pedido, sino porque la propia empresa había identificado esto como una oportunidad de mercado prometedora. Sólo en el contexto de esta decisión se investigaron y utilizaron los requisitos de los clientes en este nuevo segmento de mercado para obtener información específica sobre cómo desarrollar el modelo CIVIC en un coche más lujoso y caro. Por supuesto, Honda probablemente tenía indicios de que los clientes apreciarían un modelo CIVIC en un modo más costoso. Por lo tanto, el enfoque japonés tiene en cuenta la relación dinámica entre la empresa y los clientes más que el enfoque estadounidense. En el enfoque estadounidense sólo hay comunicación unidireccional: el cliente da información y el diseñador lo utiliza. En el enfoque japonés los diseñadores utilizan un supuesto deseo del cliente, a continuación, informan al cliente acerca de las posibilidades de un modelo CIVIC más caro, y luego preguntan al cliente informado acerca de sus deseos. Preguntar a los clientes por sus requisitos, asume que son capaces de expresarlo. Kano ha argumentado que sólo una de tres categorías de deseos va a salir, es decir, aquellos deseos que los clientes son conscientes de y utilizarán para evaluar el nuevo producto. Las llamadas de Kano son esas cualidades lineales porque cuanto mejor se realizan, mayor es la apreciación del cliente. Según Kano hay otras dos categorías de cualidades, es decir, aquellas cualidades que el cliente no menciona porque las da por sentado. Tales cualidades no son lineales, porque si se dan cuenta de que esto no resulta en más apreciación, mientras que si no se dan cuenta de que el cliente va a desaprobarnos fuertemente. La tercera categoría de cualidades en la vista de Kano son aquellas cualidades de las que el cliente no tiene imaginación y por lo tanto no las extrañará cuando no se haya dado cuenta, mientras que si la empresa es capaz de darse cuenta de que el cliente estará encantado. Estos pueden ser todo tipo de aparatos y complementos que los diseñadores más talentosos pueden llegar. Antes de suponer que los clientes pueden expresar sus deseos, viene la suposición de que es posible identificar quién debe ser considerado como los clientes. Esto puede ser problemático. Un ejemplo es el desarrollo de entrenadores para llevar a los turistas a sus destinos. Las empresas productoras de estos autocares se enfrentan al problema de un cliente múltiple.

Prima facie parece que los turistas son los principales clientes. Pero esto es una simplificación de una situación más complicada. Los turistas no determinan qué organizaciones de Coach de viajes de la compañía comprarán. En el mejor de estas empresas tratan de llegar a conocer lo que sus clientes, los turistas, valoran y tienen en cuenta al ordenar los entrenadores. Pero también tendrán en cuenta los intereses de la otra parte. Los conductores, por ejemplo, probablemente también tendrán una opinión en esto, así como el garaje que mantendrá el entrenador. No es difícil imaginar que habrá conflictos entre los requisitos generados por diferentes clientes. Los turistas, por ejemplo, apreciarán asientos de lujo, mientras que la compañía de viajes estará más interesada en el precio de esos asientos. Esto complica enormemente el paso de QFD en el que se generará una lista de requisitos del cliente para las filas de la matriz. De una manera, la elección de cuyos requisitos serán elegidos para priorizar es un aspecto de lo que Langdon Winner ha llamado la ' política de artefactos ' [Winner, 1986], porque esta elección determinará al menos parcialmente quién se beneficiará del producto en su mayoría. Plantea la cuestión más amplia de quién decide sobre las prioridades en las necesidades de los clientes. ¿Son los diseñadores? ¿O es la gerencia de la compañía? ¿O es el cliente? Estas decisiones cruciales no son apoyadas por el método. El método QFD también asume que es posible llegar a una lista de características físicas (las columnas de la matriz) que pueden estar relacionadas con los requisitos de los distintos clientes (las filas). Particularmente en el caso de lo que Sarlemijn llamaba microtecnologías, cuando los fenómenos subyacentes al funcionamiento del artefacto aún no se entienden plenamente, esto puede ser un problema grave. El desarrollo de nano-dispositivos es un ejemplo llamativo de ello. El comportamiento cuántico exacto de esos dispositivos ciertamente no se entiende completamente todavía. Luego está el paso crucial de llenar las celdas de la matriz. De hecho, este es exactamente el paso en el que se lleva a cabo la transición de los requisitos del cliente a las características físicas. El método asume que hay conocimiento de las relaciones entre los requisitos de los clientes (la naturaleza funcional del artefacto) y las características físicas (la naturaleza física), porque ese es precisamente el tipo de conocimiento que está en juego aquí. Ese conocimiento no se puede derivar lógicamente del conocimiento de la naturaleza física, ni del conocimiento de la naturaleza funcional. Es realmente un tipo separado de conocimiento, que por lo general se gana en la práctica mediante el uso de artefactos existentes. En los casos de artefactos que son relativamente nuevos, su conocimiento bien puede estar ausente y suposiciones sofisticadas es probablemente la mejor entrada que tendrá en esa situación, sin embargo, esto

tiene el riesgo de que las creencias falsas se utilizan como la entrada para las puntuaciones de relación en las células de la matriz.

### 6.3.- ¿QFD realmente realiza la traducción?

Las observaciones descritas anteriormente nos llevan a un punto importante para el tema de este capítulo: ¿Cuál es la contribución real de los métodos TQM a la transición deseada de los requisitos del cliente a las características físicas? Podemos ver que ninguno de los métodos que se han descrito incluye un mecanismo para hacer la transición del cliente a requisitos en las características físicas. Esto queda muy claro en QFD: el conocimiento que se necesita para rellenar los valores de relación en las celdas de la matriz no puede derivarse de ninguna información que ya se haya insertado en la matriz, ni de ninguna información que ya estuviera en la matriz Antemano. Lo único que hacen QFD y métodos similares, es hacer que el problema de la transición sea explícito y estructurarlo. QFD, por ejemplo, ayuda a obtener información sobre cuáles son las consecuencias de ciertas opciones en la característica física en la medida en que se cumplen los requisitos del cliente. Esta función es compatible con el software QFD, por medio de las cuales el software puede calcular las consecuencias de las alteraciones en los números de cualquier parte de la matriz. Pero esta función estructurante del método sólo funciona si tenemos este conocimiento de la relación entre la naturaleza física y funcional, y que el conocimiento no sale del método. Por lo tanto, de hecho, la contribución de los métodos a menudo altamente elogiados de hecho, es bastante limitada y no resuelve el problema que está en el corazón mismo del proceso de diseño, a saber, la transformación adecuada de los requisitos del cliente en características físicas. Una vez que los usuarios de los métodos se han enterado de ciertas suposiciones que no se cumplen y de las limitaciones del método (en el que no resuelve el problema de la transición de los requisitos del cliente, sino que simplemente lo estructura), todavía pueden explotar el método para un propósito útil. En el caso de QFD, por ejemplo, la identificación de qué conocimiento de la relación entre la naturaleza física y funcional del artefacto carece, se puede utilizar para establecer un proyecto de R&D en el que se adquiere dicho conocimiento. Para tales proyectos de investigación entre los clientes y los métodos de escenario se pueden utilizar [Courage y Baxter, 2005]. Se puede pedir a los usuarios que expresen sus experiencias con los productos existentes o que respondan a prototipos o maquetas de nuevos productos. Por lo tanto, se puede evaluar el efecto de los cambios en el diseño a la satisfacción de los clientes. En

escenarios, el efecto de las diferentes decisiones de diseño sobre la satisfacción de los clientes se puede explorar de una manera más teórica (por razonamiento en lugar de observar las respuestas de los clientes). Uno podría hablar aquí de los estudios previos al QFD, como ha sugerido Sarlemijn. El aumento en el conocimiento de las relaciones entre la naturaleza física y funcional también puede proporcionar insumos para nuevas soluciones creativas para satisfacer las necesidades de los clientes por características físicas. Las nuevas traducciones de los requisitos a las características pueden ser adelantadas por medio de los cuales, pueden ser resueltos ciertos conflictos entre las realizaciones de las características físicas deseables. Estos conflictos se identifican en la "cubierta" de la matriz QFD (véase la figura 1). Un ejemplo sencillo puede ilustrar esto. Al diseñar una nueva plancha plana, los diseñadores se enfrentan a un conflicto entre la facilidad de manipular el hierro y ejercer la fuerza de presión suficiente sobre la tela, cuando ambos requisitos se traducen en términos de peso del hierro (un requisito entonces requiere un bajo peso, mientras que el otro requiere un peso alto). El conflicto puede resolverse traduciendo el requerimiento apremiante no por peso sino, por ejemplo, por un movimiento vibratorio de la suela del hierro. Por lo tanto, las variaciones en las traducciones pueden ayudar a resolver conflictos entre requisitos. Sin embargo, El uso de estos métodos como dispositivos de estructuración, sólo funciona si el artefacto no es demasiado complejo. Si, por ejemplo, la matriz QFD consta de muchas filas y columnas, los diseñadores pierden información sobre el patrón general en las relaciones, lo que los obliga a una confianza total en las manipulaciones matemáticas en el método. Sin embargo, tal confianza no está justificada, dadas las cuestiones metodológicas fundamentales que pueden suscitarse con respecto al uso de números en el método. Los diferentes tipos de escalas de medición (nominal, ordinal e intervalo) se mezclan en el método, lo que hace que los cálculos sean muy cuestionables.

#### B.7.- MATERIALES Y SOFTWARE VERSUS ARTEFACTOS COMO CAMPOS DE APLICACIÓN.

QFD y métodos similares se han desarrollado como métodos para diseñar artefactos. Pero en el transcurso del tiempo las aplicaciones se volvieron múltiples. A medida que se probaron nuevos tipos de solicitudes, se hizo evidente que la sugerencia tan a menudo hecha en los manuales de los métodos como si se pudieran utilizar independientemente de lo que se diseñara, estaba equivocada. Una de las aplicaciones en las que se hizo evidente que se desvió de la aplicación a

los artefactos es la del diseño de nuevos materiales. Un ejemplo de esto fue el uso de QFD para diseñar un nuevo material para parachoques y tableros de coche. Una empresa química en los países bajos hizo un esfuerzo para implementar QFD para este propósito y pronto descubrió cómo los materiales ' se comportaban ' de manera diferente a los artefactos en la matriz QFD. Como se comentó anteriormente, una de las opciones para QFD es "jugar alrededor" con la traducción de los requisitos del cliente en características físicas cambiando las columnas (en las que se han escrito las características físicas) para ver si una traducción diferente de un requisito de cliente, puede ayudar a resolver conflictos entre entidades físicas. Esto parecía ser problemático en el caso de los materiales. Las columnas de la matriz en ese caso no son propiedades de artefacto, sino propiedades de material. Para los artefactos no es difícil cambiar una característica sin afectar a los demás. Uno puede agregar nuevas piezas a un artefacto que no causan cambios dramáticos en el diseño general, y por lo tanto deja muchas otras características físicas no afectadas. Sin embargo, en el caso de un material esto es mucho más difícil. Uno no puede cambiar fácilmente, por ejemplo, la dureza del material sin afectar a las otras propiedades. Hacer esto requeriría hacer cambios en la composición del material y luego "automáticamente" muchas otras propiedades del material cambian también. Tal vez la mejor manera de cambiar las propiedades de los materiales sin afectar a todas las demás propiedades es mediante el trabajo con aditivos, que sólo cambian la experiencia que se relaciona con el uso de QFD, también se mantiene para métodos similares. Para el VA ya es difícil imaginar cómo en todo este método podría aplicarse a los materiales, ya que no hay partes en el material, mientras que el método se basa en la suposición de que hay. A este respecto, esta observación revela un aspecto interesante del diseño que rara vez se aborda en el diseño de la literatura metodológica, a saber, que el diseño de un material es bastante distinto del diseño del artefacto en que la naturaleza física del material es más homogénea que la de los artefactos. Esto limita la libertad de los diseñadores a "jugar con" las relaciones entre la naturaleza física y la naturaleza funcional sustancialmente. Otra área de aplicación donde los métodos de tipo QFD necesitan una cuidadosa consideración metodológica es la del software. Aquí la ' naturaleza física ' del artefacto (si en absoluto uno está preparado para llamar a un programa informático un artefacto, dado su carácter no material) consiste en gran parte de (secuencias de símbolos y tal vez períodos de tiempo necesarios para la ejecución de partes del programa. El último tipo de característica física sugiere que el software debe ser considerado como un proceso en lugar de como un producto. Esto puede tener

grandes consecuencias para la aplicación de QFD y métodos similares. Lamentablemente, no hay mucha literatura disponible que refleje esas consecuencias. Sin embargo, tales métodos parecen ser aplicables al software. Para QFD ya hay un término estandarizado para eso: software QFD o SQFD [Haag, raja y Schkade, 1996].

#### B.8.- EL PROBLEMA DE LOS AGREGADOS DE CLIENTES.

Los manuales de métodos de TQM, que tienen como objetivo transformar los requisitos del cliente en características físicas (por ejemplo, [King, 1989] para QFD), son bastante ingenuos al prescribir al usuario del método para ' ir al cliente y pedir sus deseos'. Por supuesto, no se dice tan claramente como eso, pero los manuales tienden a pasar por alto el problema del hecho de que el cliente no es un solo agente, sino un agregado de agentes, que difícilmente se puede esperar para compartir el mismo conjunto completo de requisitos. Esto se mantiene en particular cuando los clientes no son sólo usuarios, como hemos visto en el ejemplo de desarrollo de Coach. Esta experiencia con QFD revela otra interesante cuestión filosófica con respecto a la transformación de las necesidades de los clientes en especificaciones físicas. Los deseos de los clientes de ser utilizados como una entrada para el proceso de diseño, no son los deseos de los agentes individuales, ni hay un deseo colectivo del cliente. Para muchos desarrollos de productos no hay colectivo de clientes que los diseñadores puedan abordar. El mercado de clientes suele ser un agregado de clientes individuales. Este problema tiene consecuencias para el uso de QFD y métodos similares. Debido a que sólo puede haber un conjunto de requisitos de cliente en las filas de la matriz de QFD, uno tiene que pretender que hay un conjunto de requisitos colectivos de los clientes, aunque esto no suele ser el caso. Van de Poel ha demostrado la imposibilidad de traducir individualmente a las demandas colectivas de los clientes sin violar una o más condiciones razonables debido al teorema de imposibilidad de Arrow [van de Poel, 2007]. En algunos casos puede justificarse pretender que es un colectivo de clientes, porque a veces los clientes influyen en el comportamiento de los demás y luego muestran una fuerte conciencia grupal, como podemos aprender de, por ejemplo, la popularidad repentina de nuevos símbolos entre jóvenes. No ser parte de un grupo puede poner a la gente en una posición incómoda y socialmente aislada. Sin embargo, los clientes no se comprometen enteramente a la obligación de comprar un producto cuando otros clientes en el mismo mercado lo harán. En muchos casos, los mejores diseñadores pueden esperar es una especie de "obligación débil" con los clientes

para hacerlo. Pero como no existe una decisión común de comprometerse con tal obligación cuando el producto se introduce en el mercado, siempre habrá incertidumbre sobre si esta situación de "obligación débil" en el sentido antes mencionado está o no presente. La estrategia para trabajar en la creación de esta "masa crítica" de los compradores de hecho es lo que el enfoque de gestión de nicho estratégico apunta a [Kemp, Schot y Hoogma, 1998]. La suposición básica en este enfoque es que un producto tiene más posibilidades de llegar a un determinado mercado cuando primero ha encontrado metraje en una parte específica de ese mercado, es decir, en un nicho. Una vez que el valor del producto para los clientes se ha demostrado en el nicho, hay una oportunidad justa de que también llegará a todo el mercado del que el nicho es una parte. El ejemplo del CD ha demostrado que las innovaciones a veces se llevan a cabo sin un nicho que primero se ' convierte ', pero en muchos otros casos parece que las innovaciones se hicieron a través de un nicho. En el nicho es más fácil investigar las necesidades de los clientes porque es un grupo específico de clientes en el que se puede esperar que la variedad de deseos sea menos amplia que en todo el mercado (o al menos uno puede identificar mejor qué deseos específicos tienen más importancia a los clientes en ese nicho). Esto es lo que se llama un "nicho de mercado". Un segundo tipo de nicho es un "nicho tecnológico". En ese nicho, la falta de obligación mencionada anteriormente puede resolverse mediante la creación de obligaciones, por ejemplo, subsidiando ciertos artefactos ecológicos nuevos por parte del gobierno. El atractivo del nuevo producto para los clientes no es intrínseco en el artefacto, es decir, basado en su ajuste con las necesidades del cliente (aunque esto tiene que estar allí hasta cierto punto también), pero se encuentra fuera del artefacto.

#### B.9.- LA MULTIDISCIPLINARIEDAD DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA.

Una cuestión final que debe abordarse, son las consecuencias de las consideraciones presentadas en este capítulo para la naturaleza de las Ciencias de la ingeniería. Probablemente la conclusión más obvia que podemos extraer es que las Ciencias de la ingeniería deben ser multidisciplinarias o interdisciplinarias (dependiendo de cómo se definen estos términos) si se supone que deben incluir el conocimiento de cómo transformar los requisitos del cliente en especificaciones físicas. Para esta traducción, como vimos, se necesitan conocimientos de la naturaleza física de los artefactos, el conocimiento de su naturaleza funcional, y el conocimiento de la relación entre lo físico y la naturaleza funcional. Esos diferentes tipos de conocimiento provienen de diferentes disciplinas. El conocimiento de la

naturaleza física puede ser extraído de diversas ciencias de la ingeniería y Ciencias naturales como la física, química, biología, y de las matemáticas, este último porque también preocupaciones de tamaño y formas). El conocimiento de la naturaleza funcional (incluyendo el conocimiento de los requisitos del cliente) puede recurrir a la psicología, la sociología, la antropología y otras ciencias sociales. El conocimiento de la relación entre lo físico y lo funcional es principalmente algo que esperamos que sea desarrollado en la práctica de diseño. Se puede esperar que el desarrollo de esos conocimientos se dibuje en los otros dos tipos de conocimientos. Esta es la razón por la que se puede esperar que la práctica de diseño sea una actividad en la que se necesiten conocimientos de diferentes disciplinas. La forma en que el conocimiento de diferentes disciplinas se combina puede variar entre diferentes prácticas. Margaret Boden ha llegado con una taxonomía de niveles de interdisciplinariedad que a menudo se refiere en la literatura [Boden, 1997]. Define seis niveles de interdisciplinariedad, que van desde la enciclopédica, en cuyo caso las personas de diferentes disciplinas, en el mejor de los casos conocen la presencia de los demás pero no cooperan, para integrarse (en cuyo caso hay una cooperación intensiva de personas de diferentes disciplinas que trabajan en problemas comunes y utilizan conceptos y métodos comunes). La forma en que se definen estos niveles es puramente en términos sociales. Representa la medida en que las personas de diferentes disciplinas cooperan. Esa taxonomía también se puede utilizar para investigar la práctica de diseño. Como en la taxonomía de Boden, las prácticas de diseño muestran el mismo tipo de rango hasta niveles de cooperación intensiva entre diseñadores/ingenieros y personas de marketing. Para QFD y métodos como QFD que significa que en el proceso hay sesiones frecuentes de personas de diferentes departamentos en los que discuten, por ejemplo, las puntuaciones de las relaciones entre los requisitos del cliente y las características físicas en las celdas de la Matriz QFD. El contenido de la matriz QFD en tales casos realmente puede convertirse en una creencia compartida para todos los participantes en esas sesiones. Este enfoque sociológico de la interdisciplinariedad es ciertamente importante. En el estudio de caso de Vincenti sobre el diseño de aeronaves, describió cómo el paso crucial en el proceso de aprender cómo relacionar las experiencias de los pilotos con las características físicas de la aeronave (estabilidad, controlabilidad) se llevó a cabo por un contacto intensivo entre los pilotos e ingenieros. Como señala la epistemología social, el conocimiento está incrustado en las personas, y las interacciones sociales entre las personas pueden tener un gran impacto en la forma en que el conocimiento se puede hacer explícito y disponible

para fines prácticos. La integración de los conocimientos de diferentes disciplinas se enfrenta a varias barreras, como ha demostrado la práctica. La diferencia en los juegos de idiomas entre los usuarios y los diseñadores se refleja en la diferencia en los juegos de idiomas utilizados por los vendedores e ingenieros en una empresa industrial. Esta diferencia en el lenguaje puede ir acompañada de una sospecha mutua sobre la relevancia de la contribución de la otra parte al proceso industrial. En ese sentido, la historia de "dos culturas" de C.P. Snow todavía se conserva hoy en día. La diferencia en el lenguaje también puede estar relacionada con lo que parece ser una cierta "inproporcionalidad" de las disciplinas. A veces los mismos términos se utilizan en diferentes disciplinas, pero con una connotación diferente. Formalmente el concepto de correlación tiene la misma definición (matemática) tanto en Ciencias naturales como en ciencias sociales. Pero cuando un científico social encuentra una correlación de 40 y concluye de que hay una relación significativa, los científicos naturales levantarán inmediatamente sus cejas. Problemas similares ocurrirán cuando los vendedores e ingenieros intentan trabajar juntos, pero se frustran porque los conceptos que ambos usan parecen tener diferentes connotaciones para ambas partes. Para superar esos problemas, un intermediario podría desempeñar un papel útil. Para educar a estos intermediarios se han establecido programas especiales en universidades y colegios de todo el mundo. Por lo general, estos programas ofrecen un currículo que combina cursos de ingeniería y cursos de ciencias sociales. La integración de los dos tipos de conocimientos disciplinarios tiene lugar en el trabajo del proyecto. La práctica, aquí también, ha indicado que no es fácil darse cuenta de la integración de los conocimientos de diferentes disciplinas. Sin embargo, ha surgido un nuevo campo de estudio científico. En esa nueva "inter-disciplina" se desarrollan completamente nuevos conceptos y teorías que no se encuentran en las disciplinas que contribuyen originales (tales como: paisajes socio-técnicos, y regímenes y trayectorias tecnológicas). Estos nuevos conceptos pueden no ser directamente operativos para transformar las necesidades de los clientes en características físicas, pero sí ofrecen una comprensión más amplia de cómo las nuevas tecnologías y productos necesitan ser vistos como una totalidad con desarrollos sociales. Los clientes no son solo individuos, sino que también forman parte de estos desarrollos sociales. Por lo tanto, una comprensión más amplia de lo que sucede en el contexto social de la tecnología es un aporte importante para el proceso de transformación en el que los deseos de este cliente socialmente incrustado, se transformarán en las características físicas de un producto.

#### B.10.- AMBIGÜEDAD DEL TÉRMINO «TRADUCCIÓN»

A lo largo de este capítulo he utilizado el término "traducción" como si no fuera problemático. Pero no lo es. Como hemos visto en el análisis crítico del método QFD (en la sección 7), QFD afirma que permite a los diseñadores hacer que la traducción de los requisitos del cliente a las características físicas, pero de hecho sólo estructura este problema. La traducción real sigue siendo un paso poco claro en el proceso. De alguna manera el diseñador ya debe tener ideas sobre esto antes de que se aplique el método QFD; de lo contrario, no es posible identificar las características físicas relevantes y sus relaciones con los requisitos del cliente. El método en sí no genera estas características. De hecho, no hay ningún método o análisis que realmente representa esta traducción. Requiere creatividad y saber hacer de los diseñadores. Por esta razón, el término «traducción» es ambiguo. Por un lado, parece apropiado que se refiera a un aspecto real del proceso de diseño: el paso que implica relacionar dos conjuntos diferentes de términos (requisitos de los clientes y características físicas). Pero el término 'traducción' no se asocia comúnmente con la creatividad. El papel del traductor de un libro es visto como bastante poco creativo, ya que no se espera que el traductor agregue un nuevo pensamiento al texto. Sin embargo, la "traducción" de los requisitos del cliente a las características físicas exige la entrada de nuevas ideas en el proceso. Nuestra comprensión de cómo esto sucede sigue siendo muy limitada. Todavía no hay una cuenta filosófica disponible que ofrezca una buena comprensión de esto. Hemos visto cómo varios conceptos filosóficos ayudan a entender la naturaleza del problema de la 'traducción', pero cómo la 'traducción' tiene lugar, sigue siendo un proceso bastante misterioso. Evidentemente, aquí todavía hay espacio para más reflexiones filosóficas.

## C.- TIPOLOGÍAS DE PRÁCTICAS DE DISEÑO (Kees Dorst y Kees van Overveld)

### C.1.- INTRODUCCIÓN.

El diseño es una actividad humana en la que creamos planes para la creación de artefactos que pretenden tener valor para un posible usuario del artefacto, para ayudar al usuario en su esfuerzo por alcanzar ciertos objetivos. Estos objetivos pueden ser puramente funcionales, o pueden abarcar una amplia gama de objetivos culturales y sociales. Más a menudo no bronceado, estos tres tipos de objetivos van juntos dentro de una situación problemática y dan lugar a requisitos contradictorios para el diseño. La exploración creativa y la negociación de este amplio terreno es la experiencia del diseñador [Cross, 1990; 2006]. El proyecto de diseño tiene lugar dentro de un contexto volátil del mundo real, donde la situación del diseño puede cambiar en cualquier momento (avances tecnológicos, cambios de política dentro de la organización, cambios en el mercado) y las fronteras del sistema son difíciles de distinguir. La salida del proyecto de diseño consiste en un "diseño". Es decir, una descripción de la forma, función y funcionamiento del artefacto diseñado, una descripción de la interfaz entre este artefacto con el mundo exterior, y un ' plan de uso ', esbozando cómo el artefacto está destinado a ser utilizado, y en cuyo contexto se pretende operar [Houkes, 2002]. El trabajo del diseñador también incluye la creación de una justificación para acompañar el diseño. Esto es crucial porque el diseño nunca se hace aisladamente: los diseñadores crean planos para artefactos que otras personas fabrican, venden y realizan tareas de mantenimiento, y que tienen como objetivo mejorar el bienestar del "otro" más importante de todos, el usuario prospectivo. Los proyectos de diseño varían enormemente en propósito, metodología y dominio. Las diferencias entre, digamos, el diseño de un producto doméstico, la estructura organizativa de un nuevo negocio o una sinfonía, son mayores que sus similitudes. Varias sub-disciplinas de diseño han desarrollado sus propios enfoques, sus propias terminologías y sus propios criterios, derivadas de opiniones muy diferentes sobre lo que define la "calidad" en un dominio de diseño. También dentro de un solo proyecto de diseño, hay una gran variación de los problemas. Por ejemplo, las decisiones relativas a la estructura mecánica de un implemento doméstico se refieren a su fabricación, que se relaciona con el precio de coste, que se relaciona con el mercado previsto, que se relaciona con la estrategia de publicidad. Las cadenas de decisiones que toma un diseñador

están fuertemente entrelazadas. La complejidad, la creatividad y el cariño abierto que hace que el diseño sea una ocupación fascinante para algunos, también es muy problemático cuando tratamos de observar, describir y hacer sentido del diseño. Los participantes en cualquier discusión sobre el diseño están obligados a tener concepciones muy diferentes de "diseño" en sus cabezas-esto a menudo frustran los intentos hacia una discusión sustancial en profundidad del tema. En este documento vamos a tratar de desentrañar parte de este nudo gordiano explorando la posibilidad de crear una tipología de la práctica del diseño. Si pudiéramos llegar a un acuerdo sobre tal tipología compartida, se aclararía el camino para una nomenclatura clara y fuerte en torno al diseño. Esto no es sencillo: el diseño es un conjunto complicado de actividades, que tiene lugar en muchas profesiones. Dentro de este campo de diseño, encontramos un grupo de profesiones realmente diferentes que tradicionalmente siempre se han definido por el material que utilizaron ('diseño textil') por el medio ('sonido') o por la naturaleza del objeto diseñado (producción en masa producto de consumo). Sin embargo, estas distinciones son superficiales porque no tocan la naturaleza de la actividad de diseño. Uno puede pensar en muchos otros criterios, además de las categorías profesionales, para discernir los tipos de prácticas de diseño. En este documento, nos propusimos proponer diferentes tipologías de prácticas de diseño que se basen en variables subyacentes más profundas que discutiremos y que impactan directamente en la naturaleza de la actividad de diseño. Sin embargo, una tipología de las prácticas de diseño no sólo debe basarse en diferencias fundamentales entre los tipos de actividades de diseño, sino también estar lo suficientemente cerca de la realidad del diseño en la práctica, para basarse en los aspectos sobresalientes de un caso de diseño que está sucediendo en el mundo. Estamos buscando un marco descriptivo y una tipología de diseño que sea fundamental, válida y relevante. ¿Cuáles serían los elementos de un marco descriptivo para la actividad de diseño? Para describir la actividad de diseño en su completa complejidad (del mundo real), se necesitaría describir el objeto de esta actividad (en este caso, el problema de diseño y la solución de diseño emergente), el actor (el diseñador o el equipo de diseño/Organización de diseños), el contexto en el que se desarrolla la actividad (en lo que respecta a sus repercusiones sobre la actividad) y la estructura y dinámica del complejo de actividades que se está estudiando («el proceso de diseño») [Dorst, 1997; Reymen, 2001]. Cuando nos fijamos en los métodos de diseño y herramientas que se están desarrollando dentro de la comunidad de investigación de diseño, vemos que tres de estos cuatro "aspectos de la actividad de diseño" a menudo se

ignoran dentro del marco descriptivo que implícitamente subyace en nuestro pensamiento sobre Diseño. La abrumadora mayoría del trabajo descriptivo y prescriptivo en la investigación de diseño, se centra en el proceso de diseño, a la exclusión de todo lo demás. Por lo tanto, los métodos y herramientas de diseño que se están desarrollando, inevitablemente se centran en mejorar la eficiencia y la efectividad de los procesos de diseño. Los modelos de procesos de diseño que se han desarrollado a lo largo de los años han demostrado ser herramientas muy poderosas en el desarrollo de la práctica de diseño y la educación de diseño. Sin embargo, el proceso es sólo un aspecto de la actividad de diseño total, y este enfoque unilateral para la investigación de diseño puede haber obstaculizado la comprensión más profunda de la naturaleza del diseño. El proceso de diseño como se puede observar en la práctica (digamos, en un estudio empírico) podría ser fácilmente la consecuencia de las propiedades del problema de diseño, el enfoque específico, incluso idiosincrásico que el diseñador toma o la naturaleza del contexto en el que el diseño se ha producido la actividad. Por lo tanto, para llegar a una comprensión más profunda de las actividades de diseño, tenemos que considerar más que sólo el proceso de diseño. En este documento tomamos un enfoque más amplio para la investigación de diseño y vamos a considerar lo que se sabe acerca de los problemas de diseño, el diseñador, la estructura de los procesos de pensamiento relacionados con el diseño y la forma en que diversos contextos de diseño afectan a las actividades con el fin de desarrollar una tipología de las «prácticas de diseño». En primer lugar, en la sección 2, tendremos que hacer frente a la noción de "tipología", para enmarcar nuestra empresa. A continuación, se establecerá (en la sección 3) para investigar cómo el conocimiento actual sobre los problemas de diseño dentro de la investigación de diseño podría informar la creación de una tipología de las prácticas de diseño. Luego (sección 4) exploraremos la posibilidad de crear un modelo más estructural de pensamiento de diseño proponiendo un marco notacional que se centra en los vínculos clave que se realizan dentro de un diseño (y por lo tanto dentro de una actividad de diseño). Discutiremos críticamente la posibilidad de obtener información sobre la naturaleza de los problemas de diseño a partir de un marco tan notacional, y las repercusiones de un marco de este tipo para una tipología de las actividades de diseño. En la sección 5 exploraremos cómo las propiedades del diseñador podrían influir en las actividades de diseño, profundizando en la literatura sobre la experiencia en diseño. Por último, en la sección 6 volveremos a ver la actividad de diseño, pero luego desde el contexto en el que surge el problema del diseño (un avance técnico o un cambio en el entorno del

mercado). En la sección 7 tomaremos acciones y diseñaremos una manera de avanzar.

## C.2.- SOBRE TIPOLOGÍAS.

La noción de "tipología", aunque tiene significados bien definidos en áreas como la arqueología, la lingüística, la teología, la sociología y varios otros campos, no parece ocurrir como un término canónico en el campo de la investigación de diseño. Las definiciones genéricas (es decir, no específicas de disciplina) del término "tipología" parecen ser el centro alrededor de ' el estudio de la clasificación sistemática, completa y única de los tipos que tienen características o rasgos en común ', pero tal definición da poca aclaraciones en cuanto al propósito de una tipología. Sin embargo, el propósito de una tipología es esencial para decidir qué características o rasgos comunes deben tenerse en cuenta. Por ejemplo, en el reino animal, la taxonomía de Linneo cuenta como un ejemplo prototípico. Es una tipología jerárquica, que consta de clases que tienen subclases, todos los miembros de una subclase son miembros de la clase primaria por definición. El propósito que Linneaus tenía en mente era principalmente religioso [Soulsby, 1933], como escribió en el prefacio a una edición tardía de *Systema Naturae: Creationis telluris est Gloria dei ex opere Naturae per hominem solum* (' los sistemas de la naturaleza: la creación de la tierra es la gloria de Dios, como se ve de las obras de la naturaleza por el hombre solo'): el estudio de la naturaleza revelaría el orden divino de la creación de Dios, y fue la tarea del naturalista, construir una ' clasificación natural ' que revelaría esta orden en el universo. El sistema de Linneo tiene un uso limitado, por ejemplo, para un guarda zoológico que quiere decidir qué animales exhibir y donde en el parque, a un médico veterinario, para decidir si un medicamento en particular funcionará para una especie en particular en caso de una dolencia particular, o al personal del Fondo Mundial para la vida silvestre, para decidir qué especies en peligro protegerse contra la extinción. Adoptamos una visión muy pragmática de las tipologías: consideraremos una tipología como un medio para un fin, y diferentes fines requieren diferentes medios; Si el final no está claramente definido, no se puede decidir si los medios son apropiados. Simplemente "obtener conocimiento", o "estudiar las relaciones entre una práctica de diseño y otra" son extremos demasiado vagos para distinguir las tipologías apropiadas de las inadecuadas. Por lo tanto, al proponer una tipología en cualquier dominio;

- Debemos acordar primero el propósito de la tipología (¿quién va a utilizar la tipología, y por qué razón?); Además,

- Debemos definir el dominio que queremos que esté cubierto por la tipología (en el caso de Linneo: la cuestión precisamente de lo que constituye una especie de criaturas vivientes es, a partir de hoy, objeto de un animado debate en la disciplina de la biología [Hey, 2006];

- Con respecto a completitud y singularidad, debemos preguntarnos si el dominio de la tipología forma una colección cerrada o abierta: como veremos en un tiempo, la noción de "exhaustividad" en un dominio abierto es bastante problemática. «Singularidad» se refiere al grado en que pueden distinguirse dos habitantes del dominio de la tipología, y esto requiere de nuevo un cuidado especial en el caso de un dominio abierto;

- Y finalmente debemos decidir qué dispositivo estructurante adoptaremos (en el caso de Linneo, la tipología es una estructura jerárquica; en este documento nos encontramos con estructuras ortogonales (es decir, tablas en una base de datos) o estructuras de red; al final de nuestra exploración, veremos que podríamos necesitar un dispositivo estructurante aún más rico. Si Linneo hubiera perdido la distinción entre reptiles y anfibios, los zoológicos actuales tal vez no se hubieran visto muy diferentes. Sin embargo, si un cuidador de zoológico pierde la distinción entre animales tropicales y animales árticos, o entre depredadores y presas, la mortalidad en zoológicos sería inaceptablemente alta. Así que un zoológico-guardián, en la realización de su trabajo, claramente se beneficia de tipologías del reino animal que contienen términos como el clima preferido y el comportamiento de alimentación. En el mundo del diseño, las partes interesadas relevantes son diseñadores, metodólogos de diseño y miembros de la Junta de estudios de diseño y organizaciones de diseño industrial, en lugar de cuidadores de Zoo. Ampliando la visión, también podemos incluir clientes (artefactos diseñados para la compra), capitalistas de riesgo (procesos de diseño de financiamiento), maestros (educar a los diseñadores de prospectos) y ambientalistas (manteniendo un ojo atento, por ejemplo, temas de sustentabilidad de artefactos diseñados), y tal vez otros. Las intenciones de todas estas partes interesadas se pueden expresar en términos de variables que preferiblemente deben tener valores mínimos o máximos, de modo que se puedan minimizar o maximizar (u ' optimizado ' en general). En nuestro marco notacional, que se presentará a continuación, estas variables se denominarán

"variables de categoría II". Por ejemplo, si consideramos la construcción de una tipología en el reino animal, con un guarda zoológico como principal participante, podríamos decir que la ' mortalidad en el zoológico ' es una variable de categoría II que debe minimizarse, y la tipología por debajo de la construcción debe organizarse de tal forma que ayude a hacer esto, por ejemplo, distinguiendo a los animales tropicales y del ártico, y tal vez asociando estos dos tipos de animales con sus condiciones ambientales preferidas. Para la tipología de diseño-prácticas a ser construidas, ahora podemos mencionar algunas de estas variables de "propósito"; una "buena" tipología debería ayudar a aumentar los valores de estas variables:

- La eficiencia del proceso de diseño (con posibles operaciones como el porcentaje de decisiones de diseño que debían ser investigados (rastrear la historia) en curso, o la reutilización de los procesos de diseño anteriores): una tipología "buena" podría ayudar a mejorar la eficiencia de procesos de diseño minimizando la cantidad de retroceso y/o maximizando la cantidad de decisiones de diseño reutilizables;

- La capacidad de gestión de los procesos de diseño (con posibles operaciones como la relación entre las actividades básicas (tomar decisiones de diseño) y las actividades de overead (deliberar sobre qué decisiones de diseño deben tomarse): una "buena" tipología podría ayudar a mejorar la capacidad de gestión de los procesos de diseño reduciendo la cantidad de sobrecarga;

- La accesibilidad del diseño (con posibles operaciones tales como la tasa de graduados con éxito de los estudiantes de diseño y los candidatos que fallan, o la variabilidad inter-docente): una "buena" tipología podría ayudar a mejorar la accesibilidad de los procesos de diseño, por aumentar la tasa de graduados con éxito de los estudiantes, y/o disminuyendo la variabilidad entre profesores. Por supuesto, esta no es una lista exhaustiva de propósitos — de hecho, todos estos propósitos son los "tradicionales" que se han elaborado antes en la metodología de diseño, todos relacionados con el proceso de diseño. No obstante, como veremos más adelante, las estructuras tradicionales para la construcción de tipologías (jerarquías y estructuras ortogonales) son de uso limitado para apoyar estos propósitos. El dominio de una tipología puede ser abierto o cerrado. Cuando Linneo ideó su 'sistema natural', creyó que — y vivió bajo el supuesto de que — la colección de especies biológicas fue dada por Dios: se fijó en la fecha de la creación y nunca cambió desde entonces. Era un sistema cerrado. La creación de tipologías para

sistemas cerrados es relativamente fácil (dependiendo, por supuesto, del propósito de la tipología). Un enfoque ingenuo consiste en una enumeración ordenada linealmente. Por ejemplo, un diccionario, etiquetar palabras como sustantivos, verbos, adjetivos, etc., es una tipología sencilla sobre (las palabras de) un lenguaje natural; el orden es dado por algún alfabeto (que es en sí mismo, en buena aproximación, una enumeración ordenada linealmente de los sonidos del habla). Para hacer justicia a la noción intuitiva de la herencia, que parece existir en tantos dominios, las tipologías se organizan a menudo como jerarquías. La forma estándar de jerarquía es la jerarquía de raíz única o de un solo progenitor, es decir: cada elemento tiene como máximo uno de los denominados elementos primarios. Por ejemplo, un fruta (mosca de la fruta) es una familia del suborden de Brachycera es un suborden de Diptera es una orden de Pterigota es una subclase de coprófagos es una clase de Hexápoda es una subdivisión (Subphylum) de Artrópoda es una división (Phylum) de Animalia es un Reino de la Eukaryota. Si  $x$  es un  $y$ , entonces,  $y$  se llama el elemento primario de  $x$ . De acuerdo con la tipología jerárquica, todas las propiedades definitorias de  $y$  se encuentran en  $x$ , y  $x$  tiene algunas propiedades más que no están definidas en  $y$ . De hecho,  $y$  es más abstracto que  $x$ : formalmente, contiene sólo un número más pequeño (un 'paquete') de predicados, o atributos-con-valores de  $x$ . Por ejemplo: Artrópoda tiene como un atributo 'número de patas', con valor arbitrario (Par); en Hexápoda, el valor es 6, y esto también es cierto de todos los rangos jerárquicos debajo de Hexápoda. Las jerarquías se pueden construir en dominios cerrados, como en la intención original de Linneo; también se aplican a dominios abiertos o extensibles, como lo encontraron las generaciones posteriores de biólogos. De hecho, ahora se cree que hay entre 50 y 100 millones especies animales; sólo unos 1 1/2 millones han sido nombrados [Rosenzweig, 1996]; en los días de Linneo, el número de especies nombradas era sólo de varios miles. Aun así, la mayoría de los biólogos creen que la estructura jerárquica de nomenclatura no requerirá ningún ajuste importante para dar cabida a este enorme aumento de elementos que aún no se han clasificado. El hecho de que las jerarquías (estándar, de un solo elemento primario) se puedan acomodar con dominios abiertos o extensibles no significa que sean adecuadas para clasificar las prácticas de diseño. De hecho, diferentes propósitos requieren diferentes estructuras. En el ejemplo animal: el guardián del zoológico requiere una jerarquía donde alguna clase abstracta tiene dos subclases 'tropicales' y 'árticas'; el médico veterinario desea una jerarquía donde una clase abstracta tiene dos sub-clases 'sensibles al tratamiento X', y 'no sensible al tratamiento X'. Una jerarquía de un solo padre, como resulta en

general, no puede servir a múltiples propósitos. En particular, cuando, al igual que en el caso de las tipologías de los procesos de diseño, no se conoce con precisión la colección de variables de categoría II, la elección de una jerarquía de un solo progenitor es inútil. Un primer recurso parcial es permitir jerarquías de varios elementos primarios. Un tigre es tanto un mamífero (por lo que el objeto 'mamífero' es un elemento principal para 'Tigre') y un animal tropical (por lo que el objeto 'animal tropical' es también un elemento principal para 'Tigre'). En una jerarquía de varios elementos primarios, ambos tipos de relaciones se pueden hospedar simultáneamente. Sin embargo, las jerarquías multi-conectadas, tienen una serie de desventajas técnicas; ya que siempre se pueden representar en términos de estructuras ortogonales más genéricas (como tablas de base de datos), preferimos estas como un próximo candidato para una tipología. En una estructura ortogonal tenemos dos o más atributos independientes (como 'clima preferido' con valores 'Trópico' y 'Ártico', y 'hábito de alimentación' con valores 'carnívoros' y 'herbívoros'). Los atributos 'clima preferido' y 'hábito de alimentación' se llaman ortogonales, ya que las cuatro combinaciones ('Trópico', 'carnívoro'), ('Trópico', 'herbívoros'), ('Ártico', 'carnívoro'), y ('Ártico', 'herbívoros') ocurren en el dominio de la tipología, en la sección 4, damos un tratamiento más preciso de las tablas utilizando los términos conceptos, atributos y valores. Sin embargo, la esencia es que un número de atributos se define de antemano, y que los elementos se clasifican en términos de estos atributos. Para un dominio abierto o extensible, es imposible demostrar que un conjunto determinado de atributos será suficiente para distinguir plenamente a los habitantes del dominio de la tipología de una manera relevante, donde la relevancia está determinada por el objetivo de la tipología. De hecho, para cualquier conjunto de atributos, cada atributo con un conjunto determinado de valores, siempre es posible que en algún momento futuro, se encuentre un nuevo elemento que es indistinguible de un elemento existente, utilizando estos atributos solamente. De hecho, supongamos que, en el caso del reino animal, la textura de la piel no sería parte del conjunto de atributos: entonces la distinción entre una cebra y un caballo podría ser casi imposible.

### C.3.- EL PROBLEMA DE LOS PROBLEMAS DE DISEÑO.

Ahora nos vamos a poner a investigar cómo el conocimiento actual sobre los problemas de diseño, dentro de la investigación de diseño podría informar la creación de una tipología de las prácticas de diseño. Este es un punto de partida lógico para nuestra exploración, por dos razones:

- Cualquier persona familiarizada con el diseño dirá intuitivamente que hay muchos tipos de problemas de diseño;

- Los diseñadores reaccionan de manera diferente a las situaciones de diseño que aparentemente perciben como de diferente naturaleza. Sin embargo, hasta la fecha no hay una tipología bien desarrollada y explícita de los problemas de diseño que ha sido aceptada ampliamente dentro de las profesiones de diseño. Sin embargo, el "problema del diseño" es una de las nociones centrales para hacer y describir el diseño. De hecho el diseño, a menudo se lanza en forma de un proceso de razonamiento, un proceso de "resolución de problema racional", que va desde un problema de diseño, donde las necesidades de los usuarios se describen en términos de la 'función' del artefacto, hacia 'forma', con el pretexto de declaraciones sobre la forma y materialidad del artefacto, y los planes para su producción y comercialización. La literatura racional de resolver problemas que surgió en los años 1960 y 1970 en el campo de la inteligencia artificial, ha tenido un profundo impacto en nuestro pensamiento sobre el diseño, y todavía está dando forma a la manera en que el diseño se discute a menudo hoy. La introducción de estas teorías en la metodología de diseño, a principios de la década de 1970, ayudó a sistematizar los modelos y métodos de diseño existentes, y ayudó a vincularlos a modelos de resolución de problemas en otros campos [Cross, 1984]. Había grandes esperanzas de que la propia naturaleza del diseño pudiera ser capturada en una descripción que se basaba en considerar el diseño como la solución de problemas mal estructurados [Simon, 1967; 1992]. Aunque ha habido muchos desarrollos desde entonces, el trabajo original sobre la resolución de problemas y la naturaleza de las dificultades mal estructuradas, escritas por Herbert Simon, todavía se cierne sobre el campo de la investigación de diseño. Se han desarrollado modelos y métodos de diseño dentro de este paradigma; el marco conceptual de la resolución racional de problemas se ha convertido en el "lenguaje" normal de pensar y hablar sobre el diseño. Sin embargo, también ha habido críticas fundamentales del enfoque de resolución de problemas de Simon y su aplicabilidad en el campo del diseño, y muchas de las declaraciones originales en la teoría de la resolución de problemas que tratan con el diseño, se han revestido y refinado desde entonces. Al describir el núcleo del marco conceptual de Simon, ahora nos concentraremos en el clásico papel de 1973 ' la estructura de problemas mal estructurados ' ([Simon, 1973], las cotizaciones utilizadas en esta sección se toman de ese documento, a menos que se indique lo contrario). Dentro de la teoría de Simon, la cuestión de la solución de los problemas

de diseño toma el escenario como un ejemplo de una categoría más amplia de problemas, que se denominan problemas mal estructurados. En su ponencia "la estructura de los problemas mal estructurados", Simon se prepara para explorar la relación entre problemas mal estructurados y problemas bien estructurados. Comienza con la observación de que muchos tipos de problemas, que a menudo se tratan como bien estructurados son probablemente mejor considerados como mal estructurados. Incluso los problemas limitados ("limitados" en el sentido de tener lugar en un mundo cerrado y bien definido) que se utilizan como ejemplos estándar en la resolución de problemas y la literatura de IA, como el juego de ajedrez, muestran elementos de mala estructuralidad tras un escrutinio más detenido: incluso si se considera que el ajedrez juega como un problema bien estructurado en el pequeño, por la mayoría de los criterios debe ser considerado como problemático mal estructurado en el grande (en el transcurso del juego). Esto abre el camino para sospechar que la mala estructuralidad de un problema puede no ser una propiedad a priori del problema en sí, pero está vinculada a las capacidades del solucionador de problemas. De esta manera, el sujeto que hace la resolución de problemas realmente influye en la naturaleza misma del problema. Sin embargo, Simon mantiene que la teoría de la resolución de problemas que se basa en la solución de un problema bien estructurado debe servir como la base para toda resolución de problemas. Hay una suposición básica de que, aunque los problemas bien estructurados como tales no existen en el mundo real, la construcción de versiones bien estructuradas de problemas mal estructurados es la manera de resolver un problema mal estructurado. Simon entonces ilustra la resolución de problemas mal estructurados tomando un ejemplo del diseño. El ejemplo se ocupa del diseño de una casa, y se concentra en el problema técnico de diseñar el diseño de la casa. En este caso, las acciones estructuradas que convierten el problema de diseño mal estructurado en un problema bien estructurado, son realizadas por el arquitecto: Se obtendrán especificaciones adicionales del diálogo entre el arquitecto y el cliente, pero la totalidad de ese diálogo todavía dejará los objetivos de diseño totalmente insuficientemente especificados. Cuanto más distinguido sea el arquitecto, menor es la expectativa de que el cliente debe proporcionar las restricciones. Esto significa que en un proceso de resolución de problemas de varios pasos, cada solucionador de problemas tendrá la oportunidad de la interpretación de pila sobre la interpretación y por lo tanto terminan tomando el proceso de resolución de problemas en direcciones completamente diferentes. El uso de la memoria y la interpretación subjetiva se convierte así en una gran influencia en el

comportamiento de resolución de problema de los diseñadores. Si tomamos esto en serio, entonces esto socava la idea misma de tener un problema conocible al comienzo del proceso de resolución de problemas, porque la formulación detallada del problema variará de diseñador a diseñador. Pero Simon pierde este punto: . . . el arquitecto se encontrará trabajando en un problema que, tal vez comenzando en un estado mal estructurado, pronto se convierte a través de la evocación de la memoria en un problema bien estructurado, lo que sugiere que hay tal cosa como un a priori dado 'diseño problema' que, aunque sufre algunas reformulaciones leves, esencialmente permanece igual durante todo el proceso de diseño. Ha sido criticado por este punto de vista, y más tarde reconoce que: . . . hay mérito a la afirmación de que el esfuerzo de resolución de problemas mucho se dirige a la estructuración del problema, y sólo una fracción de ella en la solución de problemas una vez que se estructuran. Simon entonces introdujo un "mecanismo de notar y evocar" no especificado, la existencia de una 'memoria indexada', y colocó el proceso de diseño en un 'espacio de problema efectivo': . . . el espacio de problema efectivo se someterá a cambios continuos durante el transcurso de la actividad de resolución de problemas, pasando de un sub-espacio a otro, del gran espacio definido por el contenido de la memoria a largo plazo. A pesar de estas deficiencias teóricas, el paradigma racional de resolución de problemas, que se inspiró en gran medida en el trabajo de Simon, se ha convertido en una herramienta poderosa para el modelado de diseños. Dentro de la investigación de diseño, el énfasis en la solución racional del problema sigue siendo abrumador. Esto no es sorprendente, porque los modelos de procesos de diseño que se han desarrollado sobre la base de este paradigma han demostrado ser una herramienta muy poderosa en el desarrollo de la práctica de diseño y la educación de diseño [Roozenburg, 1991; Cruz, 1992; Ulrich, 1995; VDI, 1985]. Tener cierta medida de control sobre su proceso de diseño ha empoderado a diseñadores y estudiantes de diseño para abordar problemas complejos que de otro modo habrían estado fuera de alcance para la mayoría de ellos. Sin embargo, como hemos argumentado, el enfoque racional de resolución de problemas para el diseño tiene algunas dificultades inherentes y fundamentales. Persisten a pesar de un gran desarrollo dentro del enfoque racional de resolución de problemas. Podemos observarlos todavía en la investigación de diseño contemporáneo que se basa en este enfoque, por ejemplo, el cuerpo sustancial de trabajo sobre el modelo de diseño 'función-comportamiento-estructura' ('FBS') que se ha desarrollado en el grupo de investigación en el centro clave para Diseño informático y cognición, bajo la supervisión de John Gero [1990a;1992; 2002]. Por ejemplo, el modelo FBS

atribuye un papel igualmente importante a la utilización de «prototipos de diseño» para determinar el «encuadre» del problema de diseño [Gero, 1990b], como hace Simon con la «memoria» y la «experiencia» que un solucionador de problemas necesita para transformar un problema mal estructurado en uno bien estructurado. Este gran papel de "experiencia" y "prototipos" lleva a graves dificultades metodológicas. Debido a la forma muy abierta en la que el uso de 'prototipos de diseño' se describe en el modelo FBS, que potencialmente componen una parte vital del proceso de diseño, evitando realmente el proceso de diseño que se modeló en el núcleo del modelo FBS [Vermaas, 2007]. El modelo de proceso de diseño ordenado y claro simplemente pierde la mayor parte de su valor si va a ser precedido por un paso indefinido, muy desordenado y abrumadoramente influyente llamado "la adopción de un prototipo". Dorst y Cross [2001] han intentado hacer una descripción más cercana de la resolución de problemas de problemáticas mal estructuradas mediante el uso de un estudio empírico para analizar y describir el proceso de diseño en la práctica, como una coevolución del problema de diseño y la solución de diseño. Sobre la base de su estudio empírico, observan que la creación de soluciones a problemas de diseño mal estructurados parece ser un proceso muy gradual, una evolución. Su análisis muestra que el diseño creativo no es una cuestión de solucionar primero el problema (mediante el análisis objetivo o la imposición de un marco) y luego la búsqueda de un concepto de solución satisfactoria. El diseño creativo parece más ser una cuestión de desarrollar y refinar juntos la formulación de un problema y las ideas para una solución, con la iteración constante de los procesos de análisis, síntesis y evaluación entre los dos espacios de diseño nociónal - espacio problemático y espacio de solución. En el diseño creativo, el diseñador busca generar un par de soluciones de problema a juego, a través de una "coevolución" de los problemas y la solución. El diseño creativo implica un período de exploración en el que los espacios de problemas y soluciones evolucionan y son inestables hasta que (temporalmente) se fijan por un puente emergente, que identifica un emparejamiento de solución de problemas. La descripción del diseño como la coevolución del problema y la solución conduce a la difícil conclusión de que al describir el diseño, no podemos presuponer que hay algo así como un "problema de diseño" en cualquier punto del proceso de diseño. Esto lleva a algunas cuestiones metodológicas muy pertinentes. ¿Podemos todavía describir el diseño en términos de teorías de resolución de problemas si es posible que tengamos que abandonar la idea de que el "problema de diseño" puede ser identificado en absoluto? ¿Cuál es, entonces, el significado de decir que el diseño es un proceso que se ejecuta de 'un

problema a una solución'? Probablemente podemos apegarnos a la teoría de la resolución de problemas del diseño sólo si abandonamos la idea de que hay un problema definible al inicio del proceso de diseño, y postulamos que se construirá más adelante. Esto plantea entonces la pregunta de cómo se construye este problema, y si este proceso de "construcción de problemas" puede ser modelado en absoluto. Y si este proceso de la construcción del problema pudiera ser modelado, uno podría preguntarse si el modelado debe hacerse dentro del paradigma racional de resolución de problemas, o fuera. Ahora procederemos introduciendo dos enfoques diferentes que se han tomado para abordar este problema. Primero consideraremos el trabajo de Dreyfus y Suchman [Dreyfus, 1992; 2002 y Suchman, 1987], modelando problemas de diseño como problemas situados, y luego examinaremos las ideas de Hatchuel sobre la "racionalidad extendida". La descripción del diseño como una actividad situada implica dos cambios importantes en el punto de vista.

1.- La primera elección fundamental que se asocia con la resolución de problemas situada, es que estamos ante todo interesados en lo que el diseño tiene que ver con el diseñador, visto a través de los ojos del diseñador, en la situación del diseño. Esto significa que nos concentramos en el problema de diseño "local" que enfrenta un diseñador, e ignorar el problema de diseño "general" como algo de abstracción. Por lo tanto, también tendremos que afrontar la vaguedad (es decir, la falta de visión general) y la subjetividad que intervienen en las acciones y decisiones de diseño locales. Visto desde esta perspectiva, el "problema del diseño" como tal no existe realmente como una entidad objetiva en el mundo. Hay un amalgamado de diferentes problemas que se centra en torno al desafío básico que se describe en un informe de diseño. Esta amalgama de problemas está en parte allí para ser descubierta por el diseñador en el proceso de diseño, y parte de ella tiene que ser hecha por el diseñador. El proceso de 'acercarse a un problema de diseño' o 'lidar con una situación problemática' se convierte en la clave vital para entender cuáles son los problemas de diseño. Este es el segundo cambio fundamental en el punto de vista

2.- Para gran parte del proyecto de diseño, los pasos de resolución de problemas pueden ser bastante lógicos, rutinarios e implícitos, sin una elección real para el diseñador. Dreyfus sostiene que las situaciones problemáticas son el resultado de una "ruptura" en este comportamiento normal y fluido de resolución de problemas. Estas "averías" son los momentos de elección real [Schon, 1983]. Por

lo tanto, se hace muy importante distinguir y describir la naturaleza de estas averías, las situaciones críticas en el diseño [Frankenberger, 1996]. Tenga en cuenta que la definición de "problema de diseño" se ha estrechado, y se limita a las situaciones en las que la resolución de problemas de rutina se ha desglosado, y que tenemos que desplazar nuestro enfoque de una tipología de ' problemas de diseño ' hacia el desarrollo de una tipología de ' situaciones de diseño». Si podemos ser convencidos por Dreyfus y otros que nunca hay una representación (completa) del problema de diseño en la cabeza del diseñador, entonces lo único que nos queda por estudiar es la red "local" de enlaces que un diseñador considera mientras aborda un problema de diseño en la situación del diseño. La naturaleza subjetiva de esta red local de problemas significa que necesitamos un modelo de cómo los diseñadores se acercan a una situación problemática. Hatchuel [2002] analiza el trabajo de Simon sobre el diseño en su contexto original, como parte del proyecto más grande de Simon sobre el desarrollo de una teoría sobre la "racionalidad delimitada". El objetivo de este proyecto era "explicar el comportamiento humano mediante reglas de decisión simples y limitadas, pero informadas". El proyecto de racionalidad limitada abarca el trabajo de Simon en economía, inteligencia artificial y diseño. Al desarrollar esta perspectiva, Simon ve una fuerte teoría del diseño como crucial. La posibilidad de desarrollar una sólida teoría sobre el diseño (la "ciencia de lo artificial" arquetípea (arquetípico) dentro de este marco general de racionalidad limitada, sirve como prueba de fuego para el proyecto más grande en sí. El impulso de Simon para lograrlo conduce a declaraciones poéticas: El estudio adecuado de la humanidad se dice que es hombre [...] Si he hecho mi caso, entonces podemos concluir que, en mayor parte, el estudio adecuado de la humanidad es la ciencia del diseño, no sólo como el componente profesional de una educación técnica sino como una disciplina fundamental para cada persona con educación liberal. [Simon, 1967, p. 159]. Hatchuel argumenta que Simon está demasiado ansioso en sus esfuerzos por incorporar el diseño dentro de la teoría de resolución de problemas en general limitada-racionalidad. Hatchuel ilustra la distinción que piensa que debe hacerse entre el diseño y la resolución de problemas por medio de un ejemplo, en el que se comparan dos situaciones problemáticas: él fotografía a un grupo de amigos que se reúnen en un sábado por la noche, la situación de un problema es que están 'buscando una buena película en la ciudad', la otra situación problemática es que se han establecido para 'tener una fiesta'. La primera situación se considera "resolución de problemas", la segunda situación es, en términos de Hatchuel, un proyecto de

diseño real. Hatchuel argumenta que hay tres diferencias importantes entre estas situaciones:

- La primera diferencia es que la situación del diseño incluye la expansión (inesperada) de los conceptos iniciales en los que se enmarca inicialmente la situación (en lo sucesivo, «parte»). Esto hace que la solución procese un proyecto, en lugar de un problema. No hay un diseño dominante para lo que una parte debe ser, por lo que la imaginación necesita ser aplicada en este nivel muy fundamental.

- Una segunda diferencia es que la situación del diseño requiere el diseño y el uso de "dispositivos de aprendizaje" con el fin de llegar a una solución. Estos "dispositivos de aprendizaje" son subprocesos que ayudan a 'aprender acerca de lo que se tiene que aprender o se debe aprender'. Incluyen experimentos y técnicas de simulación.

- En tercer lugar, al diseñar la comprensión y el diseño de las interacciones sociales es parte del proceso de diseño en sí. El grupo de amigos necesita desarrollar una forma de llegar a una solución, que no se supone que exista antes de que surja la situación del diseño. Este punto viene muy cerca de la obra de Louis Bucciarelli, donde afirma que "el diseño es fundamentalmente un proceso social" [Bucciarelli, 1994].

- Podemos añadir un cuarto punto aquí, afirmando que los problemas de diseño son problemas abiertos, y la elección de los problemas los cierran. La construcción de un problema cerrado dentro de una arena de problemas abiertos no es un paso deductivo, sino un acto creativo en sí mismo. A partir de esta comparación podemos concluir que el diseño, sin duda, incluye tramos de resolución de problemas mal estructurados, pero que también contiene otros procesos. Para el diseño de Hatchuel incluye la resolución de problemas, pero no se puede reducir a la resolución de problemas. Afirma que cualquier método de modelo o descripción que trate de reducir el diseño a la resolución de problemas está obligado a perder aspectos importantes de la actividad de diseño. Observaciones finales sobre el diseño y la resolución de problemas. Todo esto significa que la noción misma de "problema de diseño" se vuelve extremadamente problemática. Si el "problema de diseño" en general no es conocible en ningún punto específico en el proceso de diseño (Dreyfus), si está evolucionando en el proceso de diseño, y Si las connotaciones de los mismos conceptos que se utilizan

para describir un "problema de diseño" están cambiando como parte del esfuerzo de diseño (Hatchuel), entonces tenemos que reconsiderar radicalmente nuestro uso del término "problema de diseño" como base para una tipología de la práctica del diseño. Aparentemente, elementos subjetivos que son parte integral del diseñador, y el contexto de diseño también tienen un fuerte, y en muchos casos probablemente la influencia de la práctica de diseño. Esto tiene consecuencias de gran alcance para nuestra búsqueda de crear una tipología de la práctica de diseño: el intento de encontrar un punto de apoyo (un principio organizador clave que permitiría construir una tipología) en el área de los problemas de diseño siempre será defectuoso. Incluso una propuesta reciente muy interesante para un modelo de problemas de diseño, que utiliza tres dimensiones de las restricciones de diseño: (1) los 'generadores' (diseñador, cliente, usuario, legislador), (2) la 'fuente' de restricciones de diseño (interno o externo) y (3) la 'naturaleza' de las restricciones de diseño (radical, práctica, formal o simbólica) para tipificar los problemas de diseño [Lawson, 2006], se basa en las suposiciones sobre la naturaleza de la resolución del problema de diseño que hemos tenido que calificar en esta sección. Tenemos que concluir que, aunque la perspectiva del problema es instructiva, es muy difícil llegar a una base sólida para una tipología de las prácticas de diseño de esta manera.

#### C.4.- PATRONES EN EL DISEÑO DE PENSAMIENTO

##### 1 Un marco notacional

A pesar de las deficiencias de la "perspectiva del problema", sabemos que los diseñadores deben responder a un "problema" inicial o a una "situación problemática", de una manera bastante coordinada. Tal vez podemos llegar a la resolución de la cuestión de qué base de una tipología de las prácticas de diseño debe ser aproximándose a la estructura de diversas actividades de diseño, en particular los procesos de pensamiento que los diseñadores atraviesan durante su trabajo. En esta sección exploraremos cuáles serían los elementos necesarios de tal estructura representacional ("marco notacional") para las actividades de diseño. Lo haremos creando un marco extenso para describir formalmente las actividades de diseño. La creación de este marco es un experimento de pensamiento, a través del cual exploramos si esto es posible en absoluto, el marco resultante debe ser visto como un ejemplo, creado con el fin de lograr una "prueba de concepto". Note que esto puede ser sólo uno de varios marcos formales diferentes que podrían utilizarse para describir las actividades de diseño. En este marco particular, la intencionalidad

del acto de diseño es el principal punto de partida. Un proceso de diseño se ve como una secuencia de acciones que conducen a un objetivo previsto; la formulación de este objetivo en términos de variables operativas es una característica destacada de nuestra propuesta. Nuestro marco también pretende hacer justicia al hecho de que en situaciones de diseño debemos ser capaces de hacer frente a la apertura: debemos ser capaces de introducir nuevas variables si y cuando necesitamos. El marco se ha configurado con las siguientes características deseadas ('Desiderata') en mente. Las propiedades deseadas para un marco notacional. Dreyfus identifica la noción de "averías" donde se realizan elecciones de diseño cruciales. En esta abstracción, un proceso de diseño se puede ver como consistente en "trozos" discretos de trabajo, cada uno centrado en torno a una única opción de diseño. Una 'elección' puede ser vista como una combinación de:

(1) alguna variable para la cual se elegirá el valor;

(2) una serie de valores alternativos de los que podemos elegir uno, y

(3) algunos fundamentos que justifican por qué un valor es mejor que otro.

Nuestro marco será tal que estos tres ingredientes estén bien representados. Se producirán en forma de;

a) variables (en la categoría i3);

b) los tipos de tales variables, y

c) la conexión funcional indirecta de tales variables a los objetivos (véase también el punto e infra).

b. Dreyfus también observa la "red de enlaces" que un diseñador considera. Se puede pensar que los "enlaces" en este contexto se refieren a conexiones causales que conducen de las decisiones de diseño a su efecto final en términos de la felicidad de las partes interesadas (véase el punto e infra). Para hacer justicia a esta vista, el marco notacional representará explícitamente estos enlaces. Lo hacemos en términos de un gráfico; la construcción real de este gráfico forma una reconstrucción racional del proceso de diseño. Mediante una reconstrucción racional de algún proceso, nos referimos a una descripción coherente de este proceso donde se pone el esfuerzo en hacer visibles los pasos esenciales, pero implícitos o inconscientes, y proporcionar justificaciones plausibles para tales pasos, incluso si, durante la primera proceso, es posible que no se hayan dado estas

justificaciones. Esta descripción se hace generalmente a posteriori, después de la finalización del proceso; el marco notacional, sin embargo, también es muy adecuado para ser utilizado para documentar el proceso "sobre la marcha".

c. Hatchuel nos llama la atención sobre el papel del contexto de diseño. Dos versiones del mismo problema, cada una con un contexto diferente, pueden conducir a procesos de diseño dramáticamente diferentes. De hecho, parte del componente creativo de un proceso de diseño consiste en explorar, delinear y quizás desafiar el contexto. Para respetar el papel crucial del contexto, el marco notacional deberá abordar explícitamente la diferencia entre (conocimiento sobre) las partes internas del artefacto y su contexto. Por esta razón, más adelante introduciremos la distinción entre variables en las categorías I y III.

d. Hatchuel también plantea la cuestión del aprendizaje, y la apertura a la expansión del conocimiento del diseño durante el proceso de diseño. Cada proceso de diseño no trivial es una exploración que lleva al diseñador a Terra Incógnita. El conocimiento de mañana reemplazará lo que sabemos hoy. Por lo tanto, el marco notacional debe satisfacer el refinamiento gradual, es decir: reemplazar el conocimiento global por versiones más detalladas. Como veremos en breve, se proporcionan dos mecanismos en el marco notacional: uno es de tipo compuesto, el otro una cantidad a la promoción de variables de la categoría III (' constantes ') a la categoría IV (variables que son funcionalmente dependientes en otras variables).

e. Hatchuel menciona además que cada proceso de diseño eventualmente es un proceso social que se ocupa de los deseos humanos y de la satisfacción de los mismos. Esto forma una marcada distinción a la idea de que los diseñadores optimizan las cantidades "objetivas", como la seguridad, la robustez o el rendimiento. La conclusión de la visión de Hatchuel es, que en su lugar (o al menos también) debe optimizar para la seguridad percibida, la robustez percibida, o el rendimiento percibido. Presumiblemente existe alguna conexión causal entre el rendimiento y el rendimiento percibido, y esta conexión, a pesar de su carácter subjetivo, también debe ser parte de la preocupación del diseñador. Discutir sobre el funcionamiento de los fenómenos (sociales o psicológicos) que conectan el rendimiento y el rendimiento percibido es parte inseparable del proceso de diseño, y por lo tanto cualquier representación de un proceso de diseño debe acomodar potencialmente estos Mecanismos. En el marco notacional que proponemos, estos mecanismos subjetivos "ocultos" pueden expresarse convenientemente.

f. La discusión con respecto a la 'apertura' frente a 'la cercanía' (como en la resolución racional de problemas) de las situaciones de diseño ha atraído mucha atención en la literatura. En el marco notacional, este debate se refleja en parte en las variedades de tipos (finitos, infinitos, cerrados o abiertos), en particular de las variables de categoría I. El marco ayuda a distinguir sutilmente dos tipos de apertura: aparte de la distinción entre tipos abiertos y cerrados, podemos distinguir la adición de atributos frente a la ampliación de la extensión de un atributo.

4.2.- un marco notacional para anotar actividades de diseño.

Las principales características del marco son:

- Las propiedades del artefacto diseñado, así como otras propiedades relevantes que encontramos al describir el proceso de diseño, son dadas por atributos. Los atributos, sin embargo, no son fijos. Aunque existen algunos atributos genéricos (por ejemplo, el precio, las dimensiones físicas y los recursos energéticos se producirán en la mayoría de los procesos de diseño), la mayoría de los atributos se producirán siempre que el proceso de diseño los solicite. Pueden diferir en dependencia de los dominios implicados.
- Es un modelo dinámico, en el sentido de que representa la evolución del tiempo de un proceso de diseño.
- Es un modelo formal, con una cantidad mínima de semántica dedicada incorporada. Por un lado, esto es suficiente para permitir el apoyo formal (como se describe en [Ivashkov, 2004]), incluyendo la verificación de consistencia y la optimización automatizada; por otro lado, está lo suficientemente abierto para servir independiente del dominio de aplicación. El marco notacional consta de dos tipos de ingredientes:
  - Nociones de modelado de datos (conceptos, atributos, valores), donde las variables (= atributos de conceptos) están etiquetadas con un índice de categoría según su función en el proceso de diseño reconstruido (variables de diseño, variables de contexto, variables objetivas, y variables intermedias). Estas nociones permiten la descripción de las jerarquías (p. ej., para distinguir el diseño a nivel de sistemas y componentes), las estructuras ortogonales (por ejemplo, familias de productos) y las dependencias funcionales (por ejemplo, cómo las variables de objetivo, dependen de las variables intermedias en las variables de diseño). Serán

útiles para explicar la diferencia entre los problemas abiertos y los cerrados, y sirven para argumentar sobre los mecanismos sociales que subyacen a la calidad percibida de los artefactos diseñados.

- Nociones de modelado de procesos (pasos secuenciales y paralelos, iteración, alternativas, refinamiento y ámbito, cada uno de los cuales es definible axiomáticamente). Estas nociones sirven para describir la dinámica de los procesos de diseño, tanto a escala microscópica (la acumulación de conocimiento incremental durante un único proceso de diseño) como a escala macroscópica (la interpretación de las tendencias de mercado y tecnología en lo que respecta al diseño). Con el marco notacional intentaremos igualar los observables empíricos con construcciones modelo, estableciendo una conexión entre el diseño de la vida real y su reconstrucción racional. Nuestro marco notacional contiene los siguientes términos: Concepto: cualquier entidad en el discurso de diseño. Una entidad puede ser un objeto ("mi lámpara de escritorio", "la parte interesada") o una clase de objetos ("lámparas de escritorio de latón", "las partes interesadas involucradas en este proyecto"). Los conceptos pueden ser materiales (' la lámpara de escritorio que estamos diseñando ') o inmaterial (' el uso previsto de este tipo de lámparas de escritorio '); pueden ser entidades existentes (' el escritorio del cliente ') o entidades futuras (' la lámpara de escritorio que encajará en la mesa de redacción del cliente '). En varios contextos de diseño, se producirán varios conjuntos de conceptos. Sin embargo, en cualquier contexto de diseño se asume que existen por lo menos dos conceptos: el artefacto a diseñar (ATBD) y el (los) partes interesadas (s)-el ATBD están destinados a satisfacer las necesidades de los interesados (s). Un concepto contiene información, y es necesario acceder o establecer la información en el concepto. Con este objetivo, introducimos la noción de atributo. Atributo — cualquier función que asigne un concepto a un valor o valores (ver más abajo) con la intención de expresar (dirección, especificar, seleccionar,...) una unidad atómica de información de ese concepto. Por ejemplo, "color", que mapea todas las cosas coloreadas en el conjunto de colores. Valor — un elemento del rango de un atributo. 'Rojo ' es un valor del atributo ' color'. El intervalo de todos los valores de un atributo también es llamado el tipo de ese atributo. Por ejemplo, el tipo de ' Distancia' equivale a todos los números reales no negativos; el tipo de "uso" es el conjunto de todos los usos posibles (por ejemplo, de un artefacto). Observamos que el mapeo de un concepto a un valor puede tener lugar de varias maneras distintas:

(i) Elección o decisión: un diseñador decide que el color de la sombra de la lámpara que se diseñará será amarillo, no rojo;

(ii) consecuencia o efecto de (conjuntos de) decisiones: como resultado de las decisiones de diseño, este dispositivo eventualmente pesará 350 gramos;

(iii) observaciones, mediciones o estimaciones: la densidad del latón es... GR/dm<sup>3</sup>.

La diferencia entre estas diversas asociaciones entre atributos (de conceptos) y valores será crucial para nuestra comprensión de los diferentes roles que los atributos pueden desempeñar en un proceso de diseño, como se aclarará en la siguiente sección. También tenga en cuenta que algunos tipos pueden ser llamados tipos compuestos, es decir: conjuntos de elementos que son conceptos en su propio derecho. Por ejemplo: para un atributo ' uso', aplicado al concepto ' Lámpara Escritorio ', podemos encontrar el valor ' Iluminador de mesa'. El valor ' Iluminador de mesa ', sin embargo, es un concepto por derecho propio en el sentido de que contiene más información que puede ser relevante para el proceso de diseño (como el color de la luz que brilla sobre la mesa, el área del punto iluminado, y otros). Los valores de un tipo simple (no compuesto) no son conceptos, son simplemente valores simples. "Rojo" o "3" o "verdadero" son valores simples. Es bastante común, sin embargo, que el tipo de un nuevo atributo (es decir, un atributo que se introdujo recientemente en un discurso de diseño) primero es simple, y que sólo en una etapa posterior, este tipo se convierte en compuesto. Por ejemplo, "rojo" puede, en una etapa posterior del discurso, tener atributos como su color, su saturación o su brillo. El refinamiento secuencial de valores simples que se promueven a los conceptos en su propio derecho sucede a menudo con diseños donde un ATBD se ensambla a partir de componentes tomados de un catálogo. Para algunos tipos, sabemos inmediatamente que pronto serán tipos compuestos (como ' forma '), pero incluso entonces podemos tratarlos al principio como tipos simples (digamos, redondo, rectangular, triangular) que elimina la necesidad de especificar inmediatamente más atributos. Esto a veces se llama "separación de la preocupación" o "vaguedad deliberada" [Cruz, 1990]: elegimos deliberadamente el nivel de concreción en el que queremos discutir un concepto. Aparte de la distinción entre compuesto y simple, existe la distinción entre lo que se llamará tipos finitos e infinitos y tipos cerrados y abiertos. Esta distinción es necesaria, entre otras cosas, a la luz del debate sobre el diseño abierto y cerrado, como se explicó anteriormente en esta sección (véase el punto f de las «propiedades deseadas»). Se sostiene lo siguiente:

- Un tipo finito tiene un número finito de valores (por ejemplo, el número de diferentes miembros de una lista de componentes con funcionalidad dada tomada de algún catálogo). Un tipo compuesto es finito si todos sus atributos son finitos.
- Un tipo infinito tiene un número Trans-finito de valores (por ejemplo, un número de punto entero, racional o fijo. La distinción matemáticamente relevante 'Contable' frente a 'no contable' es menos esencial en la mayoría de los contextos de diseño). Un tipo compuesto es infinito si al menos uno de sus miembros es infinito.
- Un tipo cerrado es finito, o si no es finito, hay un algoritmo para generar todos sus valores. Por ejemplo, un número entero es un tipo cerrado, pero también los colores y las cadenas de longitud finita son tipos cerrados. Se cierra un tipo compuesto que todos sus miembros están cerrados
- Para un tipo abierto, no podemos dar un algoritmo para dar todos los valores. Por ejemplo, el tipo del atributo 'forma' (que no sea 'un elemento de una determinada lista finita de formas') es un tipo abierto. Es imposible dar un algoritmo para producir sistemáticamente 'todas' formas. Un tipo compuesto está abierto si al menos uno de sus miembros está abierto.

Firma de un concepto: para un concepto C, la firma es el conjunto de atributos que se aplican a C y que se han identificado hasta ahora durante el proyecto de diseño. Aviso: capturar toda la información en un concepto requeriría una firma infinita. Las firmas tienden a crecer a lo largo de la vida de un concepto. La noción de firma es necesaria para tratar con el elemento d de las 'propiedades deseadas'. Extensión de un atributo: para un atributo a, la extensión es el conjunto de conceptos a los que se puede aplicar a. Aviso: agregar un nuevo concepto a la extensión de un atributo dado, como 'uso' se considera a menudo como un acto creativo. Esta forma de 'inventar' es característica de gran parte del diseño innovador: por lo general se puede ver como extender la extensión de algún atributo "Uso"-deseo.). Por ejemplo, el alcance del propósito 'es útil para el transporte motorizado individual a velocidades moderadas en las vías', que tradicionalmente contiene conceptos como motocicleta o scooter, fue recientemente mejorado por el desarrollo del Segway. Esta extensión del concepto (o 'los desplazamientos de conceptos' como se describe en [Schon, 1994]) dista mucho de ser trivial. Ampliar la extensión de uno o más atributos se considera más a menudo como un acto creativo; una clase diferente de actos creativos es la extensión del tipo de un atributo. Por ejemplo,

agregar un elemento al tipo de 'forma'. Además, añadir el valor 'uno' al tipo del atributo 'número de ejes' del concepto 'vehículo motorizado' es otra forma de interpretar la invención del Segway. Revisaremos varios tipos de actos creativos cuando discutamos el diseño 'revolucionario' en contraposición al diseño 'normal' o 'incremental'. Al igual que la noción de firma, la noción de extensión es necesaria para tratar con el elemento d de las 'propiedades deseadas'. Variable: una variable, por último, es un atributo, aplicado a un concepto. Con el propósito de modelar los procesos de diseño, distinguimos 4 categorías de variables. Las 3 primeras categorías (I, II y III) ya se introdujeron anteriormente cuando explicamos la noción de "valor", como formas distintas de asignar un valor a un concepto (i), (ii) y (iii); el cuarto uno (IV) es una consecuencia directa de los elementos b, d y e de las 'propiedades deseadas'.

- Categoría I: variables de diseño o variables de elección: abarcan el espacio de diseño. Todas las variables de diseño son atributos de la ATBD, pero no todos los atributos de la ATBD están en la categoría I. Dada una firma de la ATBD, la categoría I se extiende teóricamente al conjunto de todas las alternativas de diseño posibles. El espacio de diseño es un mapeo uno a uno del producto cartesiano de los tipos de toda la variable Categoría-I al espacio de posibles ATBD que pueden caracterizarse por estas variables de categoría-I. De hecho: cada punto de este producto cartesiano corresponde exclusivamente a un único conjunto de opciones para todas las variables de elección, y por lo tanto corresponde a un único diseño único. Esto se relaciona estrechamente con la cuestión de las situaciones de diseño abierto o cerrado. De hecho, si se conoce la firma del ATBD, y todas las variables de categoría-I tienen tipos finitos, el problema de diseño en principio equivale a seleccionar el "mejor" punto en el espacio de diseño, que en teoría podría realizarse mediante una enumeración exhaustiva. Las cosas son muy diferentes, sin embargo, si el diseño incluye extender la firma de la ATBD (agregar atributos al ATBD o a uno de los subconceptos que son valores de uno de los atributos compuestos de la ATBD), o si algunas de las variables de categoría-I tiene un tipo abierto. En los debates de diseño, la distinción entre los casos en que el ATBD tiene o no tiene una firma determinada, y los casos en que las variables de categoría I tienen tipos abiertos o cerrados no siempre se hace, y tiene muchos resultados de confusión.

- Categoría II: variables objetivas, variables relacionadas con objetivos o variables de satisfacción, que abarcan el espacio objetivo. Todas las variables objetivas son atributos de las partes interesadas, es decir, aquellos atributos que representan su

grado de satisfacción (por ejemplo: precio, velocidad, seguridad, efectividad,...). Las variables de la categoría I deben elegirse de tal manera que los valores de las variables de la categoría II sean, en algún sentido, óptimo, con el fin de reflejar la máxima satisfacción subjetiva de los interesados. Una vez más, en el caso de la firma dada de las variables ATBD y de tipo cerrado de categoría-I, esto reduce el problema de diseño a un problema de optimización, suponiendo que somos capaces de evaluar los valores de las variables de categoría II como funciones de las variables de categoría I relevantes. Es importante que las variables de categoría II representen únicamente variables subjetivas. El diseño no debe optimizarse con respecto a los indicadores de calidad objetiva: debe intentar maximizar los representantes percibidos de dichas cantidades. Esta es la esencia de parte de la argumentación de Hatchuel, y se produce en el ítem e de las 'propiedades deseadas'. En todos los casos, los valores de las variables (subjetivas) de categoría II derivan de variables inter-subjetivas del ATBD por medio de un proceso biológico, psicológico y/o socio-psicológico. Esto es cierto para las variables físicas, pero es aún más prominentemente el caso de las variables económicas (el precio de coste de algunos productos básicos se percibe como "costoso" o "barato" bajo la influencia de una serie de parámetros contextuales, que no sean el precio real en euros), funcionales, estéticos o relacionados con el prestigio Variables. Una segunda cuestión en el trato con las variables de categoría II radica en el hecho de que solemos tener varios de ellos. Por lo tanto, la 'optimización' siempre debe leerse como 'optimización multiobjetivo'

- Categoría III: variables de contexto (correspondientes a (III) supra) — abarcan todas las variables para las que el diseñador no puede tomar decisiones, pero que deben tenerse en cuenta para predecir o comprender los valores de las variables en la categoría II. Los ejemplos son las constantes físicas o económicas o demográficas, las legislaturas y las variables tomadas de los requisitos de diseño.
- Categoría IV: por último, hay otra clase de variables, que se denominan variables auxiliares, que abarcan todas las variables para las que el diseñador no puede tomar decisiones — aunque la satisfacción de las partes interesadas puede depender indirectamente de variables auxiliares. Ahora podemos prever un modelo que represente las dependencias entre las variables de diferentes categorías. Las variables de las categorías I y III son puramente independientes; variables en la categoría II son puramente dependientes, y las variables en la categoría IV son tanto dependientes como independientes. Las dependencias forman un gráfico acíclico

dirigido. Entre otras cosas, este gráfico se puede utilizar para apoyar el razonamiento sobre fundamentos de diseño y para ayudar a aclarar suposiciones en el proceso de diseño [Ivashkov, 2004]. Con las nociones anteriores de conceptos, atributos y valores y las cuatro categorías podemos representar un proceso de pensamiento relacionado con el diseño (o al menos el contenido de conocimientos tal como se construye durante el discurso de diseño) como un proceso donde se construye un gráfico como en la figura 1. En el caso idealizado, la construcción procede a partir de variables de categoría II, trabajando de derecha a izquierda a través del gráfico. Un paso de construcción puede ser uno de:

- expresar la dependencia de una variable existente (categoría II o categoría IV) en términos de otras variables. Estas otras variables pueden existir o pueden ser nuevas.
- En cualquier momento, una dependencia funcional puede ser refinada o alterada. Esto generalmente equivale a un refinamiento del conocimiento relacionado con el diseño: ya sea un paso detallado en el que una variable simple (digamos, ' forma ') se sustituye por una variable compuesta; o un paso en el que una variable que tras la introducción terminó en la categoría III, pero que ahora se traslada a la categoría IV.
- Simplificación del modelo: es decir, el reconocimiento de que una dependencia funcional concreta tiene tan poco impacto en los valores de las variables de categoría II que podemos prescindir, por ejemplo moviendo una variable de categoría IV a la categoría III. La construcción del gráfico se completa si todas las variables de categoría II se expresan completamente en términos de variables de categoría IV; y todas las variables de categoría IV se expresan completamente en términos de otras variables de categoría IV o categoría-I o variables de categoría III. «Completo» no significa que el modelo sea «correcto» o «preciso» — simplemente significa que hemos construido una (primera) aproximación a una cuenta consistente de todos los mecanismos causales que conectan las decisiones de diseño en la categoría I a sus efectos previstos en la categoría II. Una vez que tenemos un modelo completo podemos investigar su sensibilidad para ciertas modificaciones, podemos extenderlo donde sentimos que las conexiones causales importantes no se han hecho justicia, o podemos tratar de optimizarla ajustando las variables de categoría-I. El proceso anterior puede interpretarse como una reconstrucción racional de la actividad de diseño. En esta reconstrucción, encontramos una amplia

oportunidad de introducir esos conceptos y variables para expresar las características únicas de la situación de diseño en cuestión. Aparte de la claridad mejorada, la oportunidad de verificar la consistencia del diseño, y la opción de realizar la optimización automatizada para algunas de las variables de categoría I, por lo tanto podemos utilizar esta reconstrucción racional para distinguir el diseño actual situación de otros, es decir, clasificar las situaciones de diseño.

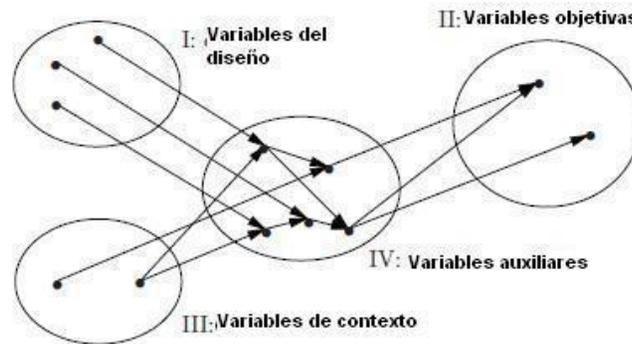


Figura 1 Las cuatro categorías y sus relaciones de dependencia

#### 4.3.- patrones en procesos de diseño.

Propusimos un marco notacional como una reconstrucción racional de las actividades de diseño. Hemos creado efectivamente una 'caja de herramientas' que ayudará a rastrear los pasos precisos que están sucediendo en el pensamiento de diseño, como un primer paso en el establecimiento de patrones en la actividad de diseño. Las variables se han introducido como los atributos de los conceptos, y la reconstrucción racional de las actividades de diseño se puede ver como la construcción de un gráfico de dependencias entre varias variables, que conduce desde las decisiones de diseño a la felicidad subjetivamente percibida en las partes interesadas. Este marco notacional no es en sí mismo una tipología de las prácticas de diseño. Sin embargo, proporciona una base para evaluar las características de las cosas que se clasifican, proporcionando así una base para tal tipología. Una vez que los procesos de diseño han sido documentados y reconstruidos en términos del marco notacional, podemos empezar a estudiar los gráficos resultantes, que son estructuras formales en lugar de episodios anecdóticos de la experiencia humana. De la teoría de los gráficos [Biggs, 1986], se sabe mucho sobre los patrones en los gráficos. Por ejemplo, la interconectividad entre varias categorías-Las variables IV nos dicen cómo los efectos secundarios de las decisiones se propagan a través del proceso de diseño. Las compensaciones entre diferentes variables de categoría II

pueden analizarse desde la estructura topológica del gráfico. Un diseño modular se revela en subgráficos débilmente conectados, etcétera. Al final de la reconstrucción racional, tenemos un gráfico de acuerdo con la figura 1; Además, es posible que tengamos una cuenta cronológica de las adiciones subsiguientes de nodos (variables) y aristas (dependencias) en el gráfico. Esta cuenta cronológica también permite la identificación de patrones muy distintos en los procesos de diseño. Por ejemplo, un proceso que procede estrictamente ' de derecha a izquierda ' (es decir, la introducción de todas las variables de categoría II en primer lugar, y el próximo desarrollo en variables de categoría I y categoría III) es muy diferente de un proceso de "izquierda a derecha", que puede comenzar de una invención única, más o menos fortuita (el pegamento no permanente que condujo a la famosa 3m post-ITS). Resumimos: cuando el marco notacional se utiliza para construir una reconstrucción racional del proceso de diseño, este proceso se convierte en la forma de un gráfico (además de su cronología); patrones en el proceso de diseño pueden estudiarse analizando patrones en el gráfico. Volveremos a este punto en la sección final de este capítulo, donde daremos más ejemplos de patrones que pueden estudiarse de esta manera.

#### C.5.- TIPOS DE DISEÑADORES: EXPERIENCIA EN DISEÑO.

Es precisamente la necesidad de modelar los tipos de elementos subjetivos en la práctica de diseño que nos lleva a la necesidad de crear un marco para describir "el diseñador". Para ello nos encontramos con el trabajo teórico realizado en otros ámbitos sobre el desarrollo de competencias, y ver si podemos aplicarlos para caracterizar el desarrollo de competencias de un diseñador en el transcurso de su carrera. La suposición que tenemos que hacer en la adopción de este enfoque para la experiencia de diseño, es decir que esperamos que los diseñadores expertos trabajen de manera diferente a los principiantes, y que obtener experiencia en diseño no es un proceso gradual, ambas declaraciones pueden ser bien apoyadas por investigación anterior. Hubert Dreyfus [2002], distingue seis niveles distintos de experiencia, que corresponden a seis formas de percibir, interpretar, estructurar y resolver problemas.

0) ingenuo. Este es un nivel extra, que precede al nivel de "principiante" que es el comienzo del modelo Dreyfus. Este estado es requerido en un modelo de experiencia de diseño, ya que el diseño como tareas, no sólo son realizados por profesionales sino también por personas ordinarias en su vida cotidiana. Este estado

de diseño es adecuado para el uso cotidiano en situaciones convencionales. Muchos estudiantes que entran en las escuelas de diseño mostrarán este comportamiento de diseño ingenuo. Todavía no entienden que el diseño es una serie de actividades, y lo tratan más como una opción única de un conjunto de soluciones de diseño que saben y quieren emular (' quiero hacer algo así ').

1) un principiante considerará las características objetivas de una situación, tal como son dadas por los expertos, y seguirá estrictas ' reglas ' (como en ' las reglas aceptadas del juego ' o ' convenciones ' en lugar de algoritmos) para lidiar con el problema. En esta etapa de principiante los estudiantes se encuentran con el diseño como un proceso formal por primera vez. Para hacer frente a las complejidades del diseño que necesitan para aprender toda una serie de técnicas y métodos de representación.

2) para un principiante avanzado los aspectos de la situación son importantes, hay sensibilidad a las excepciones a las reglas ' duras ' del principiante. Los máximos se utilizan para la orientación a través de la situación del problema. Por lo menos un aspecto de la mayor experiencia desarrollada por estos estudiantes durante su educación es en términos de la adquisición de esquemas o ' prototipos de diseño'.

3) los diseñadores competentes trabajan de una manera radicalmente diferente. Seleccionan los elementos en una situación que son relevantes y eligen un plan para lograr los objetivos. La resolución de problemas a este nivel implica la búsqueda de oportunidades y la creación de expectativas. En términos de proceso, es probable que un diseñador competente sea capaz de convertirse en el creador de la situación del diseño, a través del pensamiento estratégico. Esta es una habilidad muy exigente, en contraste con los niveles anteriores de experiencia en el que el diseñador estaba básicamente reaccionando a las situaciones de diseño como podrían ocurrir.

4) el verdadero experto tiene muchos años de experiencia que le permite reconocer patrones de alto nivel en situaciones de diseño y responder a una situación específica intuitivamente, y realizando la acción apropiada, inmediatamente. No hay solución de problema y razonamiento que se puede distinguir en este nivel de trabajo. Esto puede ser en realidad un nivel muy cómodo para estar funcionando, como un profesional creativo muy respetado dentro de un

campo establecido. Sin embargo, el experto es bastante vulnerable a los cambios radicales en el contexto de la profesión.

5) con el siguiente nivel, el maestro, una nueva inquietud se arrastra. El maestro ve las formas estándar de trabajo que los profesionales experimentados utilizan no tan natural sino como contingente. Un maestro muestra una implicación más profunda con el campo profesional en su conjunto, que se basa en el éxito y el fracaso. Esta actitud requiere un agudo sentido de contexto y apertura a pistas sutiles. El maestro diseñador es realmente un desarrollo del experto, que puede haber llevado su conjunto de principios rectores a un nivel de innovación, de tal manera que su propio trabajo se considera como una representación de nuevos conocimientos en el campo. En este nivel de rendimiento, los diseñadores están produciendo ideas de diseño que son respuestas innovadoras a situaciones que pueden haber sido previamente bien entendidas. Este trabajo se publica y se convierte en el nuevo precedente para que otros diseñadores estudien. Esto podría considerarse una "investigación basada en la práctica".

6) el visionario se esfuerza conscientemente por extender el dominio en el que trabaja. El mundo más cercano, desarrolla nuevas formas en que las cosas podrían ser, define los problemas, abre nuevos mundos y crea nuevos dominios. Un mundo más cercano opera más en los márgenes de un dominio, prestando atención a otros dominios también, y a anomalías y prácticas marginales que prometen una nueva visión del dominio. El mundo del diseño crea deliberadamente una oportunidad para ello con concursos de ideas de diseño, exposiciones y la publicación de revistas profesionales. La mayoría de estos niveles son intuitivamente reconocibles para cualquier persona involucrada en la educación de diseño o la práctica de diseño. Pero tenga en cuenta que estas formas fundamentalmente diferentes de mirar situaciones problemáticas, pueden realmente coexistir en un proyecto de diseño. Los diseñadores muestran un comportamiento que sigue las reglas, así como la interpretación y reflexión que caracterizan los niveles más altos de experiencia en el trabajo. Y en este modelo, la experiencia de diseño se describe como un ordenamiento conjunto de Estados discretos, aunque está lejos de ser claro que, los individuos necesariamente progresarían un nivel a la vez. Pero los niveles son distintos en que lo que se requiere desarrollo, para subir un nivel en cada caso es diferente, y, lo más crucial para este papel, que cada nivel comprende su propio tipo de resolución de problemas y reflexión. El marco de notación que se introdujo en la sección cuatro se puede utilizar para construir análisis detallados de

las diferencias en las formas de trabajar a diferentes niveles del modelo de especialización. Cuando un diseñador se mueve a un nivel más alto de experiencia, el contenido de los conceptos en que los diseñadores se ocupan parece cambiar: el número de las variables de categoría I y categoría III en consideración, aumentará y la elección de los conceptos será diferente: el mayor se puede esperar que los niveles de especialización impliquen conceptos más complejos, con "firmas" más grandes. Al mirar los procesos de diseño en diferentes niveles de especialización, podríamos hacer hipótesis de que en general, el orden en que se introducen las variables de categoría I y categoría II será diferente en los niveles más altos de experiencia. Estas y otras hipótesis sobre las conexiones generales entre los niveles 6 + 1 de desarrollo de competencias y el marco formal de la sección 4 deben establecerse y probarse mediante investigación empírica.

Uno podría entonces embarcarse en una exploración más detallada de las estrategias que utilizan los diseñadores individuales. Por ejemplo, hipótesis como las siguientes podrían ser el punto de partida de los estudios empíricos en las estrategias de diseño:

(1) durante el proceso de diseño, se llevan a cabo diversas formas de refinamiento. Se pueden distinguir las siguientes formas: (a) variables que entran en el discurso de diseño como constantes asumidas en la categoría III, pero se promueven a la categoría IV cuando los mecanismos de dependencia causal, que implican estas variables, se descubren más adelante; (b) ampliar la extensión de un atributo, es decir, el acto creativo de proponer un nuevo valor para un conocido atributo (c) extender la firma de un concepto, es decir, ver un nuevo atributo para un concepto conocido, o (d) reemplazar un tipo simple (= no compuesto) por un tipo compuesto. Es muy probable que los diseñadores en diversos niveles de experiencia se puedan distinguir en su uso de mecanismos (a)... (d).

(2) la construcción de una sola toma de la gráfica completa de la figura 1, comenzando en la categoría II y trabajando hacia las categorías I y III sin ningún retroceso es de hecho bastante rara. En la práctica, los diseñadores saltarán entre la ampliación de las categorías I y II y de vuelta, tal vez dejando secciones del gráfico en construcción, no conectado durante el proceso. Se puede esperar, sin embargo, que los novatos y los diseñadores más avanzados tienen diferentes estrategias en este sentido; otra vez, la observación empírica podría revelar diferencias significativas entre los distintos niveles de especialización. 'En un nivel meta-el nivel

de la reflexión y de la práctica que impulsa el desarrollo como un diseñador-el tipo de problemas que se enfrentan por el diseñador como un novato (' ¿Cómo puedo utilizar mis métodos? ') son muy diferentes de que en el nivel principiante avanzado (' ¿Cuándo debe Yo uso este método en particular/regla de oro? '). Asimismo, la reflexión que tiene lugar en el nivel de principiante se ocupa de las propias reglas, la reflexión para los centros de iniciación avanzados sobre la aplicabilidad de una regla en una situación de diseño específico. Y así sucesivamente.

#### C.6.- TIPOS DE CONTEXTO DE DISEÑO.

Ahora en nuestro cuarto enfoque (los tres primeros son: problemas de diseño, el modelado formal de patrones en el pensamiento de diseño y tipos de diseñadores) proponemos modelar y tipifican las prácticas de diseño centradas en dos fuerzas clave en el contexto de un proyecto de diseño, a saber: mercado y la tecnología. Al hacer esto, construimos uno de los clásicos en la gestión de la innovación, la matriz Ansoff que detalla cuatro estrategias de innovación diferentes para las empresas, mediante el mapeo de las formas en que el producto y el mercado pueden estar relacionados (ver [Ansoff, 1968]). Esta matriz es ahora ampliamente utilizada en el desarrollo de nuevos productos en una forma ligeramente reformulada, para concentrarse en la interacción entre el mercado y la tecnología como impulsores de la innovación. El mercado es la configuración de los fabricantes, distribuidores y proveedores, y los canales de venta que los conectan. Estos canales incluyen tanto el material (mercancías, productos) y los flujos de inmaterial (comunicación, publicidad). La tecnología es un conglomerado de conocimientos, experiencia e infraestructura existentes relacionados con la solución de problemas tecnológicos. La tecnología puede ser públicamente disponible (textos, revistas científicas, Internet) o propiedad (patentes, licencias, laboratorios de I&D, centros de investigación universitarios). La tecnología se alimenta en un proceso de diseño y los productos de un proceso de diseño se alimentan en el mercado; el mercado, por último, conduce a los consumidores que compran, poseen, utilizan y desechan los productos diseñados. A primera vista, la interacción entre la tecnología y el mercado puede considerarse como un proceso causal sencillo y unidireccional, en el que las decisiones tecnológicas conducen eventualmente a resultados de mercado más o menos exitosos. En otras palabras: todas las variables de categoría II existen en los consumidores finales, y todas las variables de categoría I existen en el ámbito de la tecnología. Sin embargo, esto es demasiado ingenuo. La dinámica del mercado y la tecnología están acopladas. -

'Diseño' -las decisiones pueden tomarse en cualquier lugar, que van desde el desarrollo de la tecnología de habilitación a las decisiones de marketing. Hay influencias mutuas. Los desarrollos tecnológicos pueden seguir las tendencias del mercado y viceversa. La distinción entre las situaciones de diseño impulsadas por el mercado y la tecnología se refleja, entre otras cosas, en términos de nuestro marco formal de la sección 4, en la atribución de ciertas variables, ya sea en la categoría I o en la categoría III. Por ejemplo, el diseño impulsado por el mercado, asumir parámetros del mercado (por ejemplo, precios, volumen y variables relacionadas con el anuncio) para residir en la categoría III, mientras que el diseño impulsado por la tecnología puede atribuirlos a la categoría I. Así, una vez más, uno de los propósitos de la tipología de los problemas de diseño que estamos construyendo es distinguir estas diversas influencias y permitir desentrañar las diversas trayectorias de dependencia. En particular, queremos distinguir los procesos de diseño que resultan de procesos autónomos e internos (aproximadamente: la característica distintiva es la importancia de las variables de categoría-I) de las que se derivan de los controladores externos (aproximadamente: la distinción característica es la importancia de la categoría-III-variables). Por lo tanto, necesitamos un vocabulario para diferenciarse de estos diversos mecanismos. Utilizaremos los términos Empujar y halar [Ulrich, 1995]. La distinción entre empujar y halar, aplicada al mercado y la tecnología conduce a cuatro tipos de fuerzas que impulsan la innovación y el diseño: empuje de mercado (en los consumidores) el mercado se ve como un objeto inerte en movimiento: incluso en ausencia de fuerzas externas, intenta continuar su movimiento debido a mecanismos internos como la competencia y la latencia en las cadenas de suministro. De hecho: se asume que los jugadores en el mercado coexisten en la competencia económica libre. Se asume que la competición es un proceso entre proveedores y proveedores, interno dentro del mercado. Los productos de las próximas generaciones deben poseer características de venta que sean novedosas, incluso si no hay necesidad de clientes a priori para tales características. Por ejemplo, en mercados como la moda, los automóviles, los teléfonos móviles, etcétera, se espera que los vendedores ofrezcan una nueva colección de productos cada año, simplemente porque anticipan que sus competidores hacen lo mismo: una creencia mutua que se sustenta. Empujar tecnología (en el mercado): la tecnología es vista como un objeto inerte en movimiento: incluso en ausencia de fuerzas externas, intenta continuar su movimiento debido a los mecanismos internos del dominio del desarrollo tecnológico. Debido al vínculo intrínseco entre la tecnología (aplicada) y la

investigación científica (fundamental), hay un flujo continuo de nuevas opciones tecnológicas (materiales novedosos, nuevos dispositivos, componentes novedosos, técnicas de fabricación novedosas,...). Parece un proceso autónomo que tarde o temprano estas opciones tecnológicas dan lugar a nuevos productos o sistemas. Por ejemplo, la tecnología RFID ahora se ha vuelto tan barata y robusta que varias empresas invierten en proyectos destinados a buscar aplicaciones. Mercado (por los consumidores): el «mundo exterior» está constituido por consumidores. La demanda de nuevos productos o servicios puede resultar de las necesidades de los clientes existentes. Tales necesidades de los clientes pueden tomar diversas formas, por ejemplo:

- Necesidades primarias de los consumidores, como alimento, refugio, salud y confort (esencialmente, la pirámide de Maslow, ver [Maslow, 1954]);

- Los fenómenos sociales, como el malestar común con respecto a las infracciones penales, piden productos en el rango de seguridad y prevención del delito (sistemas de acceso restringido mejorados, sistemas de vigilancia,...);

- Un producto tecnológico de generación anterior tiene ciertas deficiencias. Por ejemplo, el uso de teléfonos móviles en los coches pone en peligro la seguridad de conducción, que pide sistemas de manos libres;

- Hypes y tendencias sociales: la mercancía que acompaña a grandes manifestaciones o eventos públicos (como torneos deportivos internacionales, series populares de televisión, películas,...) a menudo forma volúmenes sustanciales de productos y mercados. Halar tecnología (por el mercado): el 'mundo exterior' consiste en el mercado. Algunos desarrollos en la investigación tecnológica son provocados por demandas del mercado. Por ejemplo, hay una gran cantidad de investigación científica fundamental que se está realizando en el desarrollo de baterías de mayor duración para aplicaciones móviles, desencadenada por una proliferación impulsada por el mercado de dispositivos móviles, y el creciente número de funcionalidades consumidoras de energía con las que estos dispositivos están cubiertas. La diferencia entre 'Empujar' y 'Halar' se aclara en el esquema de la figura 2. El extremo más ligero de cada flecha indica el lado de la iniciativa de la fuerza: empuje de la tecnología y empuje del mercado se originan en la tecnología y el mercado, respectivamente; tecnología y la extracción de mercado se originan en el mercado y los consumidores, respectivamente.

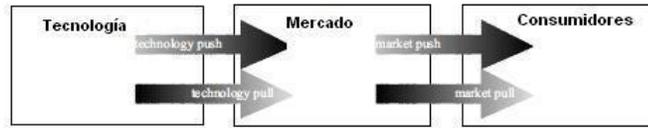


Figura 2.- Tecnología, mercado, consumidores y las relaciones entre ellos.

Algunos proyectos de diseño están impulsados principalmente por una de las dos fuerzas del mercado, algunos proyectos de diseño están impulsados principalmente por una de las fuerzas tecnológicas, y hay varias combinaciones. En absoluto, esto nos da 9 tipos de fuerzas de conducción para proyectos de diseño, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.-Las fuerzas impulsoras para el diseño de proyectos

		Tecnología		
		Empuje	Ni empujar ni Halar	Halar
Mercado	Empuje	A	B	C
	Ni empujar ni Halar	D	E	F
	Halar	G	H	I

A continuación damos sólo un par de ejemplos de lo que sucede en estas cajas para explicar las fortalezas y debilidades de este enfoque para entender la práctica de diseño.

- A: empuje tecnológico y empuje de mercado — en este caso, existe un desarrollo tecnológico autónomo y una fuerte competencia en el mercado. Por ejemplo, en los dominios de alta tecnología, la tecnología empuja la competencia entre los principales jugadores que se supone que poseen sus propias instalaciones de investigación. Los resultados de la investigación son patentados, por ejemplo, en forma de patentes o equipos especializados, y estos constituyen los activos críticos que deben aportar una ventaja competitiva. Por ejemplo, las generaciones subsiguientes de dispositivos semiconductores llegan al mercado como consecuencia de la ley de Moore, una regla semi-empírica que indica que la cantidad de capacidad informática o de almacenamiento, disponible por dólar, se duplica cada 18 meses. Los principales proveedores de semiconductores confían en sus propios laboratorios de investigación especializados.

- B: empuje de mercado, tecnología neutral — este es el caso de los mercados altamente competitivos, que no confían en la tecnología novedosa para innovar. Un avance puede consistir en explotar un nuevo nicho de mercado, a menudo promoviendo un nuevo uso para un producto existente. Por ejemplo, mucho antes de que se convirtiera en una mercancía masiva, el walkman existía como un dispositivo de grabación de audio compacto, típicamente para ser utilizado en aplicaciones de oficina (por ejemplo, como un dictáfono). El descubrimiento de que este dispositivo podría ser utilizado para traer entretenimiento musical mientras hacía deportes al aire libre encendió una campaña masiva de relaciones públicas por parte de Sony, pero difícilmente se requerían modificaciones tecnológicas.

- D: empuje de la tecnología, mercado neutral-empuje de la tecnología en un contexto neutral del mercado, ocurre si no hay arena competitiva con los jugadores del mercado existe (todavía). El famoso producto 3m post-it no fue el resultado de un intento de mejorar la posición 3M 's de mercado en el mercado de papelería. Más bien, la invención fortuita de una banda pegajosa, pero no permanente, pidió una aplicación. A menudo, las innovaciones que pueden ser etiquetadas como "serendipia tecnológica" caen en esta categoría. Las nueve celdas juntas nos dan un marco más detallado para considerar la división clásica entre el diseño normal y revolucionario [Vincenti, 1990]. El diseño revolucionario sería más probable que ocurra cuando las fuerzas de mercado y tecnología se han combinado de una manera creativa y novedosa (en la tabla 1, esas son las células, A, C, G y I). El diseño normal podría ocurrir cuando el proyecto de diseño puede ser visto como una respuesta directa y bastante literal a cualquiera de las dos fuerzas, resultando en un artefacto de novedad comparativamente baja (en la tabla 1, células D, E, F y H). Una parte importante de las prácticas de diseño es así: no necesariamente, mostrar saltos creativos, que a menudo se asocian con el diseño.

Los diseñadores crean valor a través de los artefactos que prevén y se dan cuenta, como una respuesta creativa a un mundo en constante cambio. Esta respuesta puede ser activa, en el sentido de que algunos artefactos diseñados, en realidad apuntan a influir considerablemente en la forma en que vivimos — o puede ser más pasivo, un procesamiento evolutivo de los cambios en el mundo en una próxima generación de artefactos. Gran parte del trabajo que hacen los diseñadores es la creación de un cambio tan pequeño e incremental como respuesta a ligeros cambios en las fuerzas del mercado o la tecnología. Incluso las empresas que se presentan como "innovadoras" tienen que ver sus recursos y tienden a innovar lo

menos posible, pero lo suficiente para mantenerse por delante de la competencia. Se podría argumentar que la tipología de los contextos de diseño que se esbozó anteriormente es de uso limitado, porque la pequeña pero importante hebra "activa" de diseño, que pretende ser ' revolucionaria ' escapa en gran medida de las fuerzas del mercado y la tecnología. Nos gustaría responder que la mayoría del diseño no es de este tipo, y la captura de 90% de la práctica de diseño es un logro noble en sí mismo. E incluso el tipo ' revolucionario ' de la práctica de diseño siempre estará en una relación dialéctica con las fuerzas contextuales que hemos descrito.

#### C.7.- CONCLUSIÓN: HACIA UNA TIPOLOGÍA MULTIPARENTAL DE LA PRÁCTICA DEL DISEÑO.

En nuestra búsqueda por el desarrollo de una tipología de prácticas de diseño, nos hemos encontrado en contra de la mera complejidad del "diseño", y por lo tanto nuestra empresa no ha sido sencilla. Hemos construido una imagen rica y diversa del campo. Pero eso no es suficiente. Para una tipología de las prácticas de diseño, necesitamos una forma de conectar estos marcos en un todo persuasivo. Nos gustaría llegar a una tipología que es intelectualmente sólida, aceptable como una representación válida del diseño del mundo real y práctico para los propósitos que uno podría tener. Sin embargo, después de todo este trabajo, tenemos que aceptar que una tipología tan integrada aún no está a nuestro alcance. Los cuatro marcos que hemos utilizado para describir el diseño, a pesar de las conexiones entre ellos, se basan en cuatro aspectos diferentes de la situación del diseño: el problema del diseño, la actividad de diseño, el diseñador y el contexto de diseño. Nuestra búsqueda de la claridad nos ha llevado a cuatro descripciones de diseño desde diferentes puntos de vista, en términos casi inconmensurables. No hay una sola gran Descripción unificada detrás de estas cuatro descripciones parciales. Por ejemplo: uno no puede afirmar válidamente que un cierto tipo de contexto de diseño siempre estará conectado a un determinado tipo de proceso de resolución de problemas, un cierto enfoque subjetivo por parte del diseñador, o una dinámica específica en el tratamiento de las variables de diseño de la categoría II. Aunque puede haber conexiones (co-ocurrencias) que son mucho más plausibles que otras, y el marco notacional que se presentó en la sección 4 puede actuar como una especie de Esperanto, un lenguaje en el nivel muy detallado e intrincado de pasos en el pensamiento de diseño en el que se pueden expresar los conceptos utilizados en las otras descripciones. Sabemos que hay patrones en el diseño, porque algunos de estos patrones se han dado nombres en la práctica de diseño. Por lo tanto,

escuchamos a diseñadores y pensadores de diseño hablar en meta-términos, como hemos comentado: algunos proyectos de diseño están clasificados como 'diseño normal' y algunos como su aparente opuesto, 'diseño revolucionario'. Estos meta-términos, pueden describirse libremente dentro de los marcos que hemos presentado aquí; sin embargo, es difícil de fijar, ya que no son términos científicos: en el lenguaje cotidiano, la gente no define qué aspecto del diseño se supone que es 'normal' o "revolucionario". Tampoco se explica si se supone que se trata de términos objetivos o subjetivos. Los marcos que hemos presentado aquí desafían a los diseñadores y a los pensadores de diseño a definir lo que significan cuando utilizan términos como este para lidiar con los problemas de diseño, un prerrequisito clave para lograr discusiones más profundas sobre el diseño. El marco que hemos construido no nos proporciona una tipología de diseño, sin embargo, nos proporciona algunas de las herramientas que necesitamos para construir tal tipología. Y como herramientas, están relacionadas: los cuatro aspectos del diseño que han sido el hilo conductor de nuestro pensamiento se pueden ver como capas de descripción que se pueden utilizar en relación con otros en un proceso de creación de una tipología de diseño. Cuando empezamos a crear una tipología de diseño, tiene sentido utilizar estas herramientas en un orden particular: desde lo general a lo particular, y desde el 'exterior', como lo fue: desde el contexto en el que el diseño se lleva a cabo a través de algunos pasos intermedios, todos el camino hacia el nivel muy detallado de las acciones de diseño concreto y el pensamiento de diseño. Los cuatro marcos diferentes que hemos analizado apoyan estos pasos: el enfoque basado en el contexto (sección 6) proporciona una caracterización del marco en el que se lleva a cabo el diseño, y los 9 tipos diferentes de contexto se traducirá en diferentes tipos de diseño problemas (ver sección 3). Estos deben ser interpretados por el diseñador, que es donde entran en juego la subjetividad del diseñador y el nivel de pericia (sección 5). A continuación, esto se traducirá en un conjunto específico de problemas que deben resolverse en la situación de diseño, lo que lleva a las actividades de diseño que se pueden modelar explícitamente en un marco de notación como el que se presenta en la sección 4. Por lo tanto, lo que hemos llegado es un marco amplio de 4 partes para la descripción de las prácticas de diseño. Una tipología de las prácticas de diseño se puede desarrollar a partir de esto mediante el uso de este marco cuádruple como una herramienta para describir muchos casos de práctica de diseño, y luego ver qué patrones surgen. Esos grupos (clusters) de prácticas de diseño relacionadas serán realmente los tipos dentro de la tipología. A partir de este proceso ascendente (de los datos empíricos a los

patrones, a las categorías iniciales, al establecimiento de tipos), se podrían derivar los principios organizantes. Este proceso ascendente es la única manera de avanzar: al final de la sección 2 ya hemos insinuado que tendríamos que crear una tipología multi parental para una actividad tan complicada como el diseño. Una tipología mono parental podría haber sido alcanzada de una manera ordenada y de arriba hacia abajo a través del análisis lógico de un principio único subyacente clave. La creación de una jerarquía multi-parental para el diseño (aquí basada en cuatro 'padres': el problema del diseño, el proceso de diseño (pensamiento), las propiedades del diseñador y el contexto de diseño) no se puede derivar de tal manera. Los patrones en la práctica de diseño que componen la tipología de los padres múltiples sólo pueden surgir a través de una minuciosa descripción de muchos casos. Esa es una tarea formidable, cuya enormidad podría ser aliviada en la práctica, por el hecho de que una tipología es siempre teleológica, siempre "para algo". Este objetivo determinará qué partes de este marco general de cuatro capas para tipificar la práctica del diseño son más relevantes para el usuario de la tipología, o cuando estos marcos descriptivos deben ampliarse (por ejemplo, la descripción del diseñador que se ha presentado en este documento, es excepcionalmente pobre: los diseñadores son seres mucho más complicados que solo exponentes de un nivel de experiencia). Un requisito previo para esto es que el marco de notación detallada que describimos en la sección 4 (o marcos como éste — uno puede basar estos en varios principios diferentes) debe desarrollarse aún más — un marco riguroso y detallado para describir el diseño es necesario, como un esperanto que une los cuatro marcos descriptivos. Este es un gran desafío: cualquier descripción detallada del diseño está destinada a ser compleja. Tras la reflexión, esta podría ser la razón por la que un marco de notación no se ha desarrollado nunca en su totalidad antes, será demasiado complicado, engorroso y laborioso para ser directamente útil en la práctica de diseño, y el campo académico del diseño. Los estudios tienden a no alejarse demasiado de la aplicación práctica. Sin embargo, este marco notacional es absolutamente vital para la creación de una tipología de diseño, una tipología que al final no sólo será intelectualmente interesante, sino que también tendrá importantes aplicaciones prácticas. El marco de cuatro capas y la tipología que puede brotarse de él podría ser una manera de ir más allá de la insoportable vaguedad de la palabra "diseño", y servir para que las discusiones alrededor del diseño sean más precisas, permitiendo un compromiso intelectual más profundo con esta fascinante actividad y profundamente humana.

## D.-TEMAS FUNDACIONALES DE DISEÑO EN INGENIERÍA (PETER KROES)

### D.1.- INTRODUCCION

La noción de Homo Faber hace hincapié en el aspecto de la herramienta del agente humano. Estas herramientas son artefactos técnicos, son los resultados materiales de la actividad productiva humana (o trabajo). Debido a su creciente complejidad, la producción de artefactos técnicos ha evolucionado; ha habido un cambio de artesanía basada en la experiencia a profesiones donde el uso está hecho de conocimientos científicos y tecnológicos altamente especializados. Con la profesionalización ha llegado la división del trabajo poniendo de relieve los diferentes tipos de actividades que a menudo permanecen implícitas e inextricablemente entrelazadas en las artesanías. Una de las principales divisiones del trabajo sigue la línea divisoria entre las actividades mentales y físicas implicadas en la fabricación de artefactos técnicos, entre concebir un artefacto técnico y fabricar o producir uno [DYM, 1994, p. 15; Pahl y Beitz, 1996]. El lado de la concepción se denomina diseño y lo realizan profesionales especializados, a saber, los diseñadores. El resultado del trabajo de cualquier diseñador, es un diseño de un artefacto técnico. Un diseño, aproximadamente, es un plan o una descripción (que puede incluir dibujos) de un artefacto técnico. Como tal, un dibujo o modelo no es un artefacto técnico en sí mismo sino una mera representación de los mismos. Un diseño puede incluir un plan o una descripción de cómo hacer el artefacto en cuestión y puede seguir funcionando como un plano para su realización física, es decir, para la manipulación real de la materia para que resulte en un tipo particular de objeto material. Es en esta fase de elaboración que los ingenieros de producción o fabricación y las instalaciones de producción entran en juego. El aspecto de diseño de la fabricación de artefactos técnicos parece ser de particular importancia en los casos en que la realización implica más que simplemente reproducir un tipo existente de artefacto técnico. Copiar el diseño de un artefacto técnico no es realmente diseñar. Hacer diseños o planes para nuevos artefactos técnicos apunta a una característica del agente humano que se extiende mucho más allá del dominio de la producción de materiales. Realizamos todo tipo de planes en el sentido de una serie de acciones consideradas, que pueden o no implicar el uso o la fabricación de artefactos técnicos. La idea Homo Faber presupone que los seres humanos son agentes de planificación, agentes con la capacidad de formar y ejecutar planes [Bratman, 1987]. Según Bratman estamos planeando agentes porque somos, al menos en cierta medida, agentes racionales en que reflexionamos sobre los resultados de posibles cursos de acciones, en otras palabras, sobre la ejecución de posibles planes. Además de eso, necesitamos planear nuestras acciones para coordinar nuestras propias acciones en relación con los diferentes objetivos que perseguimos simultáneamente, mientras coordinamos nuestras acciones con las de los demás. La

fabricación de artefactos técnicos presupone tal capacidad de planificación no sólo en lo que respecta a la producción de un artefacto real sobre la base de un plan o diseño, sino también con respecto a la planificación de cómo utilizar el artefacto técnico en cuestión. En la sección 7 discutiremos con más detalle que el diseño en ingeniería, puede interpretarse como una actividad de hacer 'planes de uso'. Con el fin de evitar malentendidos, es necesario calificar la marcada distinción entre el diseño y la producción de artefactos técnicos en términos de actividades mentales y físicas. Especialmente cuando se trata de productos producidos en masa, el diseño de un artefacto técnico también puede implicar hacer un prototipo. La función de este prototipo es probar y evaluar el diseño propuesto antes de que entre en producción en masa. En muchas prácticas de diseño en ingeniería, demostrando que un diseño propuesto 'obra' mediante la construcción de un prototipo, es visto como una parte integral de la fase de diseño real. En tales casos, la producción masiva real del artefacto técnico sigue siendo externa a la tarea de diseño, pero la parte de diseño en sí misma ya no es una actividad puramente mental ya que implica la construcción y ejecución de pruebas experimentales en prototipos. Sin embargo, el resultado de la fase de diseño, en la medida en que es un plan para un artefacto técnico, es un producto mental. En algunos prototipos de práctica de diseño, la creación puede ser virtualmente imposible (por ejemplo, al diseñar un nuevo puerto). Incluso entonces, trazar una distinción brusca entre el diseño y la producción puede ser problemático porque durante la implementación puede ser necesario rediseñar parte del diseño original para que la actividad de diseño realmente se extienda a la fase de producción. Por lo tanto, aunque conceptualmente podemos distinguir entre la creación mental y física de artefactos técnicos, en la práctica puede ser difícil separarlos. En la siguiente discusión nos limitaremos al aspecto de diseño de crear o hacer artefactos técnicos. Esto se considera generalmente como el aspecto más interesante, ya que se supone que requiere un grado de inteligencia y creatividad, mientras que el lado de producción real simplemente implica la ejecución de un plan (el diseño) mientras se toca el adecuado físico y habilidades organizativas y hacer uso de las instalaciones de producción. Esta actitud hacia los aspectos de diseño y producción de los artefactos técnicos puede reflejar la diferencia bastante generalizada en la forma en que la ciencia y la tecnología se han valorado como parte del pensamiento occidental desde la antigüedad griega. No cuestionaremos esta actitud aquí, sino que sólo reiteraremos nuestra observación de que, al hacer realmente artefactos técnicos, ambos aspectos pueden estar entrelazados de manera inextricable. Nos centraremos en los aspectos de la ingeniería del diseño y no tanto en los aspectos estéticos. Claramente, en algunas prácticas de diseño de ingeniería, como en el diseño industrial y arquitectónico, las consideraciones estéticas a menudo juegan un papel prominente. Allí, las nociones de diseño y dibujo a menudo se asocian principalmente con las cualidades estéticas de los objetos diseñados y los criterios estéticos pueden figurar prominentemente en los criterios utilizados para evaluar los diseños propuestos. Esta práctica de diseño de ingeniería viene muy cerca del arte. Sin embargo, en muchas ramas

del diseño de ingeniería, las consideraciones estéticas sólo juegan un papel menor, si es que. Allí se encuentra el diseño y desarrollo de artefactos técnicos que pueden desempeñar funciones prácticas que se sitúan en el centro del escenario. En estas ramas, las soluciones de diseño propuestas se evalúan principalmente sobre la base de criterios como la efectividad, la eficiencia, los costos y la durabilidad, en lugar de los criterios estéticos. Es este tipo de diseño de ingeniería, en el que la solución a los problemas técnicos tiene un papel importante, que estamos principalmente interesados aquí. Dos cuestiones relacionadas con el diseño de ingeniería nos preocupan: (1) ¿Qué tipo de actividad es el diseño de ingeniería? y (2) ¿Qué es un diseño técnico? La primera pregunta en la que la noción de diseño es verbal, es sobre el proceso de diseño; mientras que la segunda es sobre el diseño en el sentido nominal y por lo tanto se refiere al resultado de un proceso de diseño. Antes de que podamos recurrir a estas preguntas, hay otra cuestión preliminar que debe abordarse. Sólo una breve mirada a la gama de disciplinas de diseño de ingeniería y en la divergencia en el tipo de cosas diseñadas por los ingenieros es suficiente para hacer una pregunta, si es realmente sensato para tratar de caracterizar generalmente el diseño de ingeniería, ya sea como un proceso o como un producto. Hay docenas de diferentes disciplinas de ingeniería (mecánico, eléctrico, civil, químico, agrícola, bio (médico), material, minería, computadora, etc.) que diseñan innumerables productos que van desde computadoras producidas en masa hasta plataformas petrolíferas construidas a propósito, desde teléfonos hasta edificios de gran altura, desde componentes hasta sistemas complejos, desde microorganismos hasta software, desde materiales multiuso hasta dispositivos de un solo uso altamente especializados, etc. En consecuencia, también hay una gran variedad en la práctica de diseño de ingeniería, no sólo en cuanto a las competencias requeridas y las habilidades de los ingenieros de diseño sino también en la composición de los equipos de diseño. Algunos proyectos de diseño pueden ser llevados a cabo por un solo diseñador, mientras que otros requieren grandes equipos multidisciplinarios de ingenieros de diseño. También hay mucha variedad en los tipos de problemas de diseño que necesitan ser resueltos. Vincenti [1990], por ejemplo, distingue entre problemas de diseños normales y radicales y entre tareas de diseño que son altas y bajas en la jerarquía de diseño. ¿Esa variedad refleja alguna unidad? ¿Es posible caracterizar en general los procesos de diseño de ingeniería y determinar los principios independientes del dominio y procedimientos de diseño de ingeniería? Este ha sido un tema de controversia (véase, por ejemplo, [Reymen, 2001]). Naturalmente mucho depende del nivel de abstracción elegida. Es fácil citar estrategias muy generales de resolución de problemas (por ejemplo, analizar, sino todo lo que hace que el diseño de ingeniería de un tipo específico de resolución de problemas se pierda. Por el contrario, si ampliamos demasiado, resulta difícil reconocer los elementos comunes en diferentes prácticas de diseño. Un factor que impulsa la búsqueda en la práctica de ingeniería para los principios de diseño sistemático e independiente del dominio es la complejidad cada vez mayor de los objetos de diseño. En las últimas décadas

esto ha llevado a la aparición de nuevos campos como el diseño de sistemas y la metodología de diseño, que estudian los principios y procedimientos de diseño de ingeniería con el fin de racionalizar y mejorar la práctica de diseño [Sage, 1992; Cruz, 1994 (1989); Hubka y Eder, 1996; Pahl y Beitz, 1996; DYM y Little, 2000]. Dentro de estos campos, los análisis y las propuestas de los métodos de diseño de ingeniería son a menudo independientes del dominio. En la siguiente sección tomaremos como nuestro punto de partida algunas características generales, independientes del dominio del diseño de ingeniería como lo proponen los propios ingenieros.

## D.2.- DISEÑO DE INGENIERÍA Y CIENCIA.

El diseño de ingeniería moderna es una actividad basada en la ciencia, pero eso no lo hace una rama de la ciencia aplicada. De hecho, la resolución de problemas de diseño se toma para ser algo muy diferente de la resolución de problemas científicos. El diseño es incluso considerado por algunos como la característica más destacada de la tecnología que lo distingue de la ciencia [Mitcham, 1994, p. 220]. Discutiremos dos características del diseño de ingeniería que la hacen una actividad intrínsecamente diferente de la investigación científica. La primera se refiere a la naturaleza decisoria del diseño de la ingeniería, la segunda a la amplia variedad de restricciones establecidas para los diseños. Como punto de partida, tomamos la siguiente caracterización general del diseño de ingeniería de la Junta del Consejo de Ingenieros para el Desarrollo Profesional (Accreditation Board for Engineering and Technology ABET); afirma que el diseño de ingeniería: es el proceso de idear un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas. Es un proceso de toma de decisiones (a menudo iterativo), en el que se aplican las ciencias básicas de la ciencia, las matemáticas y la ingeniería para convertir óptimamente los recursos, para cumplir un objetivo declarado. Entre los elementos fundamentales del proceso de diseño se encuentran el establecimiento de objetivos y criterios, síntesis, análisis, construcción, pruebas y evaluación. Aunque no se indique explícitamente, se asume que los sistemas, componentes y procesos concebidos son de naturaleza material; el diseño de (parte de) una organización o institución no se considera que sea el dominio del diseño de ingeniería propiamente dicha. El objetivo declarado se establece en lo que normalmente se denomina una lista de especificaciones. La lista se deriva de la función o de los requisitos funcionales que se espera que satisfaga la cosa a diseñar (es decir, el sistema, componente o proceso). Estos requisitos funcionales están relacionados, a su vez, con ciertos fines humanos (o necesidades). Si el artefacto diseñado cumple con todas las especificaciones, se considera adecuado para la función deseada. Si ese hecho resulta ser el caso, depende en gran parte de si la lista de especificaciones cumple adecuadamente con los requisitos funcionales. Si lo hace y si el razonamiento final de la función, también se ha realizado adecuadamente, entonces se espera que el artefacto diseñado sea un medio confiable para el final especificado. Una

característica sorprendente de la definición de ABET que se ha dado anteriormente, es que caracteriza el diseño de ingeniería como un proceso de toma de decisiones y no simplemente, como se hace comúnmente, como un proceso de resolución de problemas. La caracterización del diseño de ingeniería como mera resolución de problemas puede ser de hecho engañosa debido a la visión dominante de que la resolución de problemas implica encontrar o descubrir la solución "correcta", la solución que, en principio, está determinada exclusivamente por el problema estructural. Esta imagen de descubrimiento se ha asociado tradicionalmente con el tipo de solución problemática que tiene lugar en la ciencia o las matemáticas, pero no se corresponde con el tipo de resolución de problemas peculiar al diseño de ingeniería. Los problemas de diseño a menudo están mal estructurados [Simon, 1984] o problemas malvados [Rittel y Webber, 1984], lo que, por ejemplo, significa que puede no haber una formulación definitiva del problema de diseño en sí, criterios insuficientes para evaluar las soluciones propuestas y no clara idea del espacio de la solución. Como se indica en la definición de ABET, el diseño de ingeniería se trata en parte de establecer claramente objetivos y criterios para juzgar las alternativas propuestas. Así pues, hay que tomar decisiones que, en gran medida, están sub-determinadas por la formulación problemática. Estas decisiones pueden tener un efecto significativo en el objetivo y el resultado del proyecto de diseño. Pero incluso si hay una formulación clara e inequívoca del objetivo en forma de requisitos funcionales junto con una lista de especificaciones, se deben tomar decisiones acerca de las opciones prometedoras para trabajar. Puede resultar que algunas de las especificaciones entran en conflicto en cuyo caso las decisiones sobre las compensaciones deben hacerse. Alternativamente, dada la tecnología de vanguardia o los recursos disponibles, es posible que no se pueda llegar a una solución que satisfaga todas las especificaciones. Uno entonces tiene que decidir cómo se debe ajustar la lista. Cuando hay un conjunto de soluciones alternativas que satisfacen todas las especificaciones, no hay garantía de que una solución en particular pueda ser adoptada como la mejor u óptima solución, por razones bastante fundamentales vinculadas a múltiples evaluaciones de criterios [Franssen, 2005]. En tales casos, la falta de procedimientos racionales que conducen a la determinación de la mejor opción significa que las decisiones de nuevo tienen que tomarse sobre qué opción elegir. Estos diversos tipos de decisiones son parte integral de la práctica de diseño de ingeniería. Las decisiones reales tomadas pueden tener consecuencias de largo alcance para el resultado, ya que van a dar forma al artefacto que está siendo diseñado. Esta naturaleza "decisional" del diseño de ingeniería refleja la idea de que el diseño de ingeniería es mucho más un proceso de invención que un proceso de descubrimiento. Se trata de la creación de nuevos objetos, no el descubrimiento de lo que ya existe. Así que la naturaleza decisoria del diseño de ingeniería no es tanto para ser interpretado como la toma de decisiones entre las opciones pre-dadas, existentes, sino como la creación de diversas opciones de diseño que conducen al artefacto técnico final, mediante la toma de decisiones que fijan sus propiedades. Tenga

en cuenta que no todos los problemas que deben resolverse en el diseño de ingeniería implican necesariamente el tipo de decisiones discutidas anteriormente; por ejemplo, parte de un proceso de diseño puede implicar la "averiguación" de la carga máxima que puede soportar una construcción propuesta. Tales problemas son el dominio de la investigación tecnológica (ingeniería); no son el tipo de decisiones "creativas" que deben hacerse al resolver problemas de diseño. La segunda característica importante del diseño de ingeniería que se discutió aquí es la variedad que existe en los tipos de restricciones que los ingenieros de diseño tienen que tratar al diseñar. De acuerdo con los estudiantes de ingeniería ABET tienen que aprender a resolver problemas de diseño de Ingeniería bajo una (Ibidem) "variedad de restricciones realistas, tales como factores económicos, seguridad, fiabilidad, estética, ética y el impacto social." Esta variedad de restricciones se refleja en la lista de especificaciones, lo que significa que una variedad de factores (económicos, de seguridad, de fiabilidad, éticos, etc.) determina el problema de diseño y la forma definitiva del objeto de diseño. Con problemas científicos, estas limitaciones están virtualmente ausentes; debido a estos problemas de diseño científico y de ingeniería son esencialmente diferentes. Ambos dominios se rigen por diferentes tipos de valores, normas y criterios de éxito. Según el modelo de "torre de Marfil", la ciencia como actividad cognitiva está idealmente guiada por valores epistémicos solamente, tales como la verdad, la adecuación empírica, la simplicidad y el poder explicativo. En la práctica, esta visión de la ciencia puede ser inadecuada, pero sin embargo, destaca una característica importante de la investigación científica, a saber, que desde un punto de vista cognitivo los resultados deben ser básicamente independientes del contexto social más amplio. Más o menos lo mismo puede decirse de la investigación de ingeniería o 'ciencia aplicada': una vez que los temas tecnológicamente interesantes han sido elegidos, la investigación continuará de acuerdo con los mismos valores que los que acaban en la ciencia. La investigación, ya sea científica o tecnológica, se guía principalmente por los valores y normas de racionalidad teórica que se ocupan de la cuestión de qué creer. En contraste con la ciencia, el contexto social más amplio es de suma importancia para el diseño de ingeniería, ya que está incrustado dentro de un marco más amplio de procesos de creación de productos. Como parte de estos procesos, la resolución de problemas en el diseño de ingeniería está sujeta a otros tipos de valores, normas y criterios de éxito. Las soluciones propuestas se evalúan en términos de criterios pragmáticos como la efectividad, la eficiencia, la viabilidad, los costos y la seguridad. De hecho, el diseño de la ingeniería se rige por las exigencias de la racionalidad práctica, con cuestiones relacionadas con el curso de la acción a tomar con el fin de lograr los fines dados. Este tipo de acciones y fines siempre están incrustados en contextos sociales más amplios y cargados de valor que imponen sus propias limitaciones a las soluciones viables. Estas restricciones pueden cambiar en el transcurso del tiempo; por ejemplo, en las últimas décadas la sostenibilidad ha surgido como una nueva restricción importante en el diseño de ingeniería. La siguiente definición independiente del dominio del

diseño de ingeniería de DYM [1994, p. 17] sugiere que el diseño de ingeniería está sujeto a dos tipos diferentes de criterios de éxito: El diseño de ingeniería es la generación sistemática e inteligente y la evaluación de las especificaciones para artefactos cuya forma y función logran objetivos declarados y satisfacen las limitaciones especificadas. Un conjunto de criterios para evaluar las soluciones de diseño propuestas es la lista de especificaciones que debe ser "alcanzada" y se deriva del objetivo declarado y la función relacionada. El otro conjunto consta de restricciones que deben ser "satisfechas". DYM señala que se puede cuestionar si se puede hacer una distinción clara, entre el conjunto de restricciones y la lista de especificaciones. Por ejemplo, la condición de que un motor de automóvil tenga que cumplir un estándar legal en conjunción con la contaminación puede tomarse como un elemento de la lista de especificaciones, pero también puede ser visto como una restricción. Ya sea que la distinción sea significativa o no, es importante la variedad en tipos de restricciones/especificaciones impuestas a las soluciones de diseño. Debido a esta variedad, los conflictos entre restricciones/especificaciones pueden surgir fácilmente (por ejemplo, entre los requisitos de seguridad (más masa) y sostenibilidad (menos masa) para los automóviles). Esta es la razón por la que encontrar compensaciones 'inteligentes' entre las especificaciones/restricciones conflictivas desempeña un papel tan prominente en la práctica del diseño de ingeniería. Estas dos características de la resolución de problemas en el diseño de ingeniería, su naturaleza decisoria y la amplia variedad de restricciones, son lo que la convierten en una actividad que es muy distinta del tipo de resolución de problemas que sucede en la ciencia. Aunque la tecnología moderna está basada en la ciencia, la resolución de problemas en el diseño de ingeniería no es un tipo de "ciencia aplicada". Cualquier caracterización del diseño de ingeniería como una actividad derivada de la ciencia descuida o minimiza la importancia de las características esbozadas anteriormente. A continuación, en la sección 5, discutiremos otra característica que distingue el diseño de la investigación científica. Se refiere a los tipos de razonamiento empleados por los científicos y los ingenieros de diseño en su resolución de problemas. Prácticamente todos los análisis del razonamiento científico son variaciones de las formas de razonamiento inductivas, (hipotéticas) deductivas o abducidas. En el diseño, un tipo diferente de razonamiento ocupa un punto central, a saber, el razonamiento de fin de los medios. Para una explicación más detallada de la naturaleza del diseño de la ingeniería, primero giramos, sin embargo, a la obra de Simon que en su clásico *las Ciencias de lo artificial* [1996 (1969)] presentó un análisis de artefactos técnicos y de diseño que indica muy bien lo que es diseño de ingeniería.

### D.3.- LA NATURALEZA DEL DISEÑO DE INGENIERÍA.

De acuerdo con Simon diseño de ingeniería se ocupa de la síntesis de las cosas artificiales y los ingenieros, en particular los diseñadores, son [1969/1996, p. 4-5] "preocupados por cómo deberían ser las cosas-cómo deben ser para lograr metas, y para

funcionar." En lugar de tomar el mundo para lo que es (como en la ciencia) diseño de ingeniería busca cambiar el mundo para satisfacer las necesidades dadas, deseos o metas. Más concretamente, el diseño de ingeniería contribuye al desarrollo del material, significa que las personas pueden utilizarlo para lograr sus objetivos. Estos medios materiales, artefactos técnicos, tienen una función; cuando funcionan y se utilizan correctamente, se supone que traen consigo efectos que son propicios para lograr los extremos asociados con su función. El carácter normativo de lo que los ingenieros tienen que lidiar se refleja en las declaraciones normativas sobre artefactos técnicos. Un televisor defectuoso o un destornillador malo no son las cosas que deberían ser en el sentido de que no muestran el tipo de comportamiento (cuando se utiliza correctamente) que deben mostrar. Simon analiza la función o el propósito de un artefacto técnico de la siguiente manera [1969/1996, p. 5]: Veamos un poco más de cerca el aspecto funcional o intencional de las cosas artificiales. El cumplimiento de la finalidad o la adaptación a un objetivo implica una relación entre tres términos: el propósito o el objetivo, el carácter del artefacto y el entorno en el que actúa el artefacto. Por ejemplo, el propósito de un reloj es decir la hora y el carácter del reloj, tiene que ver con su maquiillaje físico (engranajes, muelles, etc. en el caso de un reloj mecánico). Por último, el entorno es importante porque no todo tipo de reloj es útil en todos los entornos; los relojes de sol solo pueden desempeñar su función en climas soleados. El análisis de los artefactos de Simon está representado de forma esquemática en la figura 1. Según Simon el ambiente de un artefacto es muy importante porque es lo que moldea el artefacto. Considera que el artefacto es una especie de [1969/1996, p. 6] ' interface ' entre "un ambiente ' interno ', la substancia y organización del artefacto mismo, y un ambiente ' externo ', el entorno en el que opera." El entorno interior del artefacto, su carácter, se forma de tal manera que se da cuenta de los objetivos fijados en el entorno exterior. Por lo tanto, la ciencia de lo artificial debe centrarse en esta interfaz, ya que el [1969/1996, p. 113] "mundo artificial se centra precisamente en esta interfaz entre los ambientes internos y externos; se ocupa de alcanzar los objetivos adaptando el primero a este último". La tarea del diseño en ingeniería, es la de llegar a descripciones de artefactos técnicos para los que el entorno interior es apropiado o adaptado al entorno exterior.

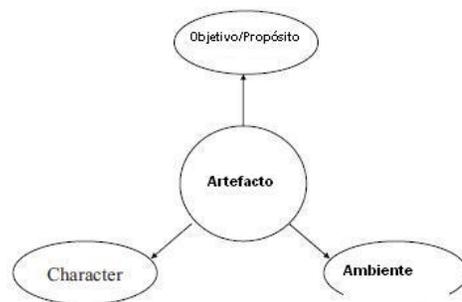


Figure 1. Interpretación de Simon del artefacto técnico

Lo que hace que el análisis de Simon de artefactos técnicos y diseño de ingeniería sea tan interesante es que, llama la atención sobre las tensiones entre los ambientes internos y externos de los artefactos técnicos, la tensión entre lo que los artefactos hacen o son capaces de hacer, y lo que se espera que hagan en algún contexto de acción humana (es decir, el entorno exterior "rico" que impone tantas limitaciones). Es esta tensión la que, según Staudenmaier [1985, p. 103], es la naturaleza definitoria de la tecnología. De hecho, el diseño de ingeniería se trata de llenar la "sustancia y organización" del entorno interno para que cumpla con todos los requisitos o restricciones impuestas desde el entorno exterior. Al hacerlo, los ingenieros tienen que tener en cuenta lo que es físicamente y tecnológicamente posible. Es la tensión entre el conjunto de restricciones físicas y tecnológicas que se aplican al contenido del entorno interno y el conjunto de restricciones que derivan del entorno exterior (restricciones contextuales: especificaciones funcionales y otros requisitos) que define el núcleo del diseño de ingeniería (consulte la figura 2) (para obtener más información, consulte [Kroes, 1996]).



Figura 2.- El diseño y la tensión entre el entorno interior y exterior

Esta tensión es una de las principales fuerzas impulsoras del desarrollo de artefactos técnicos (véase, por ejemplo, el principio de Petroski [1992] de la "forma sigue al fracaso"). Obviamente, aparte de estos factores de "atracción del mercado", los avances tecnológicos también pueden impulsar el desarrollo de artefactos técnicos (el "empuje tecnológico"). Este carácter de interfaz de artefactos técnicos explica las dificultades que tienen los ingenieros para eliminar la ambigüedad y corregir el significado de la noción de función, especialmente en relación con las nociones de comportamiento y propósito. Rosenman y Gero [1994, p. 199], por ejemplo, la observación de que el diseño de ingeniería involucra conceptos de "tanto el entorno sociocultural humano como el medio físico"; Esto significa, en la terminología de Simon, conceptos del entorno exterior e interior. Dentro de la práctica de ingeniería, las funciones suelen representarse en términos de relaciones de entrada-salida. Sin embargo, no hay consenso sobre si las funciones corresponden a las propiedades del sistema físico que componen el entorno interno del artefacto técnico o a las propiedades del entorno exterior en el que se incrusta el artefacto. La interpretación anterior la vincula a las propiedades físicas (capacidades) del artefacto técnico, esta última a los fines perseguidos en el entorno exterior. Pahl y Beitz [1996, p. 31] aplican "la función de

término a la relación de entrada/salida general de un sistema cuyo propósito es llevar a cabo una tarea", mientras que Hubka y Eder [1996] interpretan la noción de función en términos de los procesos internos que tienen lugar dentro de un sistema técnico. Según Roozenburg y Eekels [1995, p. 96] "la función de un sistema es la transformación prevista de entradas en salidas." A veces se hace una distinción entre dos tipos diferentes de funciones, una referida al comportamiento real, la otra al comportamiento pretendido (véase Chandrasekaran [2005] para diversas definiciones de funciones dentro de un contexto de ingeniería; Chandrasekaran y Josephson [2000] distinguen entre las vistas ambientalistas y centradas en el dispositivo en función, que corresponden aproximadamente a funciones que se ven desde los entornos externos e internos). Esta ambigüedad que rodea la noción de función parece estar estrechamente relacionada con el hecho de que los artefactos técnicos actúan como una interfaz entre un entorno social/intencional externo y un entorno físico interior. La distinción de Simon entre el entorno interno y el exterior apunta a dos diferentes formas de contemplar artefactos técnicos. Mirado desde el entorno exterior, que es típicamente la perspectiva del usuario, el artefacto técnico se presenta principalmente, independientemente de su entorno interior, como un medio para lograr un objetivo o fin. Desde esta perspectiva, el artefacto se caracteriza principalmente de manera funcional; el entorno interior sigue siendo una caja negra. Si lo miramos desde el entorno interior y olvidamos que el objeto es el resultado de un proceso de adaptación al entorno exterior, entonces el artefacto se presenta meramente como un sistema físico; desde esta perspectiva, el objetivo que cumple en el medio ambiente sigue siendo una caja negra. Esta es típicamente la forma en que un físico analizaría un artefacto técnico. Como Simón [1969/1996, p. 7] comenta: "dado un avión, o dado un pájaro, podemos analizarlos por los métodos de la ciencia natural sin ninguna atención particular a propósito o adaptación, sin referencia a la interfaz entre lo que he llamado el interior y exterior entornos. " Diferentes tipos de descripciones de artefactos técnicos están asociados con los ambientes internos y externos o con las descripciones físicas y funcionales. Si tomamos el diseño de ingeniería para ser un proceso de idear un artefacto que se adapte a algún entorno específico, entonces comienza desde el exterior y procede al entorno interior. Por lo tanto, el diseño de ingeniería puede interpretarse como un proceso en el que se realiza una transición de una función a una estructura física.

#### D.4.- DISEÑO DE INGENIERÍA: DE FUNCIÓN A ESTRUCTURA.

Desde el punto de vista del objeto de diseño, un proceso de diseño de ingeniería, de hecho comienza con una descripción del comportamiento anticipado de ese objeto, (es decir, su función), y termina con la descripción de una estructura física que se da cuenta de que se espera comportamiento. En el diseño de ingeniería, por lo tanto, una descripción funcional de un objeto debe traducirse en una descripción estructural. Esta última descripción específica, para cada detalle relevante, la geometría y todas las demás

propiedades físicas y químicas del artefacto técnico. Lo que es relevante en la descripción se determina principalmente por la función del artefacto técnico. Cualquier cosa que tenga una incidencia directa en el rendimiento de la función es relevante. Primero echemos un vistazo más de cerca a estas dos formas diferentes de describir. En una descripción funcional, el objeto de diseño se representa como una "caja negra", que es el medio que transforma una entrada determinada en una salida deseada. Bastante cómo esta entrada se transforma en la salida se deja en la oscuridad. Es precisamente el objetivo del proceso de diseño llegar a una propuesta viable sobre cómo puede lograrse realmente. Dependiendo del caso en la mano, la entrada y la salida pueden describirse de forma más cualitativa o cuantitativa. Por ejemplo, en la selección de materiales del manual de ASM y diseño [1997, p. 22 FF] la función de un corta uñas se describe como servir para "eliminar el exceso de longitud en las uñas" y las entradas y salidas de esta función se especifican en términos de energía, flujos de material y señal (véase el cuadro 1; también [Otto y Wood, 2001, CH. 5]). En algunos casos, la relación entre la entrada y la salida puede estar representada en parte por una función matemática, por ejemplo, la relación entre la señal de entrada y salida de un circuito electrónico. Tenga en cuenta, sin embargo, que en estos casos la función matemática no debe confundirse con la función técnica del circuito electrónico. La función matemática sólo puede representar en parte la función técnica porque no incluye el aspecto normativo de la función técnica (es decir, que el dispositivo debe, o está destinado a realizar la relación matemática específica entre la entrada y señal de salida). Una descripción puramente funcional es opaca con respecto a la estructura del objeto que realiza la función. Esto es una consecuencia directa del hecho de que una descripción funcional es el resultado de ver el objeto desde una perspectiva de fin de medio. Lo que es de primordial importancia desde esta perspectiva es que un objeto, independientemente de su Constitución específica, pueda ser utilizado como un medio eficaz y eficiente para un cierto fin. En otras palabras, esto es — como ya se mencionó — típicamente la perspectiva del usuario de un artefacto técnico.

Tabla 1.- La entrada y salida del cortaúñas

	Entrada	Salida
<b>Energía</b>	Fuerza cinética del dedo (movimiento de la mano)	Sonido de energía cinética en uñas
<b>Material</b>	Restos de las uñas de la mano	Cortar uñas, restos en la mano
<b>Señal</b>	Uñas largas, uñas colgadas, uñas ásperas	Uñas con buena apariencia

Cuando ponemos nuestra atención en las descripciones estructurales de los artefactos técnicos, la situación es la inversa: al igual que una descripción funcional es opaca

con respecto a la estructura que realiza la función descrita, por lo que una descripción estructural de un objeto es opaco en lo que respecta a la función realizada por ese objeto. Sólo para ilustrar esto, imagine que el corta uñas de la figura 3 sale de un avión y aterriza a los pies del ingeniero jefe de una tribu aún no descubierta en la selva amazónica. Estudia cuidadosamente las propiedades estructurales de este objeto que es totalmente desconocido para ella y su comportamiento en diversas circunstancias antes de llegar a todo tipo de esquemas de entrada-salida, es decir, con todo tipo de funciones posibles. Si tiene suerte, el esquema de entrada-salida de la tabla 1 estará entre estas funciones. Pero incluso entonces, ¿cómo va a determinar cuál de los muchos esquemas Input/Output es el previsto correspondiente a la función de este objeto? En principio, esto parece imposible sobre la base de una descripción estructural del objeto; incluso la descripción más detallada de todas las propiedades estructurales del objeto y de su comportamiento físico/químico, no permitirá al ingeniero deducir que es una cortadora de uñas. Así, desde un punto de vista funcional, una descripción estructural es también una descripción de la caja negra. La situación es de hecho simétrica desde el punto de vista de que cada modo de descripción de cajas negras a la otra. Las descripciones puramente estructurales de artefactos técnicos son típicamente de interés en el contexto de la producción de artefactos técnicos. Dichas descripciones proporcionan toda la información necesaria para la elaboración de un artefacto técnico; en principio no es necesario conocer la función del objeto que se está realizando. En las normas ISO de los objetos técnicos estandarizados se pueden encontrar ejemplos de descripciones puramente estructurales de artefactos técnicos que subrayen su importancia para la práctica de ingeniería. Con el fin de garantizar que tales objetos técnicos estandarizados puedan sustituirse en la práctica por cualquier otro elemento del mismo tipo, estas normas registran minuciosamente todos los detalles estructurales pertinentes. Las descripciones estructurales y funcionales de los artefactos técnicos corresponden a descripciones de la postura física y de diseño definidas por Dennett [1987, p. 15 FF]. Sin embargo, el papel de tales posturas en la práctica de la ingeniería difiere de la que les atribuye Dennett. Su distinción entre la postura física y la de diseño es de carácter metodológico; se refiere a la mejor estrategia para predecir el comportamiento de los sistemas. Dependiendo de la complejidad del sistema considerado, el comportamiento de un sistema puede predecirse mejor a partir de una postura física o de diseño (aquí no consideramos la postura intencional). Las descripciones desde el punto de vista físico y de diseño siempre proporcionan diferentes maneras de lidiar con el mismo problema de predecir el comportamiento.



Figura 3.- "Objeto físico" donde se representan varias Input/output

Dentro de la práctica de diseño de ingeniería, la descripción estructural (postura física) y descripción funcional (postura de diseño) tienen diferentes roles metodológicos para jugar. A este respecto, no es la predicción del comportamiento de un sistema ya existente lo que está en juego, sino más bien el diseño de un sistema que se espera que exhiba cierto comportamiento. La descripción de un objeto como artefacto técnico, es decir, como un objeto físico con una función, requiere una descripción estructural y funcional, independientemente de la complejidad del sistema pertinente. La diferencia con respecto a la función metodológica de estos dos tipos de descripción se presenta claramente en el primer plano con artefactos técnicos simples. A menudo es posible aplicar la postura física o de diseño para predecir su comportamiento. En tales casos, las descripciones estructurales y funcionales se convierten en descripciones alternativas para predecir el comportamiento. Desde un punto de vista de la ingeniería, sin embargo, no son descripciones alternativas pero se complementan entre sí y cada una es indispensable a la hora de describir el objeto involucrado como un artefacto técnico. La vista anterior del diseño de ingeniería como una traducción de una descripción funcional en una descripción estructural del objeto de diseño, plantea preguntas interesantes sobre cómo los ingenieros, hacen tal traducción y el tipo de relaciones que existen entre el funcional y las descripciones estructurales de un objeto. En cuanto al último punto, cabe señalar aquí, que la función no determina de forma única la estructura, ya que los diferentes objetos pueden realizar la misma función y que lo inverso también es cierto, porque uno y el mismo objeto pueden realizar diferentes funciones. Si se asume que la descripción funcional de un objeto implica reivindicaciones normativas (sobre lo que debería hacer), entonces desde un punto de vista lógico la deducción de una descripción funcional de una descripción estructural es problemática. Tal deducción sería vulnerable a alguna forma de objeción naturalista de falacia de los adherentes a la dicotomía es-probablemente. Además, al igual que generalmente se considera problemático derivar 'debería' de 'es', por lo que se considera problemático hacer lo contrario, es decir, deducir las propiedades físicas reales de un objeto ('lo que es') únicamente de un conocimiento de su función ('lo que debe hacer'). Por lo tanto, parece haber una brecha

lógica entre las descripciones funcionales y estructurales de un objeto. Sin embargo, la función y la estructura de los artefactos técnicos se toman para estar íntimamente relacionados, no sólo en el sentido de que la estructura física se da cuenta (o se supone que debe darse cuenta) de la función, sino también en el sentido de que al parecer los diseñadores son capaces de razonar con éxito de las descripciones funcionales a estructurales o viceversa (por ejemplo, cuando justifican un diseño propuesto explicando por qué se da cuenta de la función requerida).

#### D.5.- RAZONAMIENTO DE FIN DE MEDIO.

¿Qué tipo de razonamiento y conocimiento implica traducir una función en una estructura? En la práctica los diseñadores hacen uso de métodos como la construcción de gráficos morfológicos o función -significa árboles para pasar de una función a la estructura; estos gráficos o árboles dan una representación gráfica de las funciones (y sub-funciones) y las diversas formas conocidas de realizarlas [Cross, 1989/1994, p. 106 FF; DYM y Little, 2000, p. 116, 146 FF]. Presentan, de forma condensada, las alternativas disponibles para rellenar las cajas negras correspondientes a las funciones (sub). Como dispositivos mnemotécnicos que no dan ninguna pista sobre qué tipo de razonamiento puede conducir de una función a una estructura. Al resolver este problema de traducción, el razonamiento de «fin-final» parece ser de suma importancia, ya que el proceso de diseño consiste en encontrar o construir los medios apropiados para alcanzar ciertos fines. A pesar de su importancia para la práctica de la ingeniería y la vida cotidiana en general, el análisis formal (lógico) de las relaciones de fin de los medios y el razonamiento ha recibido relativamente poca atención [von Wright, 1963; 1972; Segerberg, 1992]. Recientemente, la investigación sobre la inteligencia artificial ha provocado más interés en este tipo de razonamiento [Pollock, 2002]. Dentro de la práctica de diseño de ingeniería también hay un gran interés en el análisis formal del razonamiento funcional, un fenómeno que parece estar estrechamente relacionado con el razonamiento de fin de los medios, debido a los intentos de desarrollar herramientas formales para representar los objetos de diseño y apoyando el razonamiento funcional sobre estos objetos [DYM, 1994; Chittaro y Kumar, 1998]. El razonamiento de fin de los medios puede considerarse como una forma de inferencia práctica sobre lo que se debe hacer para lograr un fin. En ese sentido, se toman medidas para ser medios para ciertos fines (Estados de asuntos en el mundo) [Hughes et al., 2007]. Sin embargo, desde un punto de vista tecnológico, los objetos también pueden ser vistos como medios para la acción terminal (por ejemplo, un cuchillo es un medio para cortar el pan, un lápiz un medio para escribir). Todavía debe hacerse un análisis formal de las relaciones de fin de los medios y el razonamiento en el que los objetos y no las acciones son medios. En su artículo seminal sobre inferencias prácticas von Wright [1963, p. 161] analiza el siguiente tipo de razonamiento: Uno quiere alcanzar “x”. A menos que se haga “y”, “x” no será alcanzado. Por lo tanto, “y” debe hacerse. Von Wright llama a “x” el final y “y”, que es una acción, un medio

para ese fin. Este tipo de argumento se refiere a los medios necesarios para terminar y la conclusión, que establece una acción, expresa una necesidad práctica. Esta necesidad práctica se deriva de la declaración de un fin y de una declaración condicional basada en la estructura causal del mundo. La pregunta que uno tiene que hacer es si esos argumentos son lógicamente concluyentes. Prima facie, esto no parece ser el caso, ya que los locales constan de declaraciones descriptivas y la conclusión sigue siendo preceptiva. Pero para von Wright esto no es un argumento convincente contra la conclusividad lógica. Dos características de este tipo de argumentos son de particular interés desde el punto de vista del diseño de ingeniería. El primero tiene que ver con el hecho de que con este tipo de inferencias prácticas se hace una transición de lo descriptivo a las declaraciones prescriptivas. Esto respalda firmemente nuestra afirmación de que este tipo de razonamiento puede desempeñar un papel importante en el diseño de ingeniería. Ya hemos señalado que el razonamiento de la función a la estructura y viceversa es problemático debido a la supuesta brecha lógica entre las descripciones funcionales y estructurales de los artefactos técnicos, una brecha lógica derivada de la dicotomía es-probablemente. Pero aquí nos encontramos con una forma de razonamiento que parece desafiar esta dicotomía y por lo tanto puede abrir posibilidades para el razonamiento de la función a la estructura y viceversa. Sin embargo, todavía hay muchos problemas que resolver. El tipo práctico de inferencia estudiado por von Wright se refiere a la necesidad práctica en relación con las acciones humanas. Pero las declaraciones de función sobre artefactos técnicos están conectadas a una declaración sobre qué objetos, cuando se consideran como medios, deben hacer y no sobre lo que los agentes humanos deben hacer. No está claro cómo estas afirmaciones acerca de los objetos están relacionadas con las declaraciones 'deberían hacer' sobre los seres humanos y si es posible construir inferencias prácticas para los objetos análoga a la anterior sobre las acciones humanas. Por otra parte, el diseño de la ingeniería es principalmente sobre el razonamiento de la función a la estructura, es decir, el razonamiento de la normativa a la descriptiva, mientras que en el ejemplo dado anteriormente sobre la inferencia práctica, el razonamiento procede en la Dirección opuesta. Una vez más, la cuestión de si se pueden construir inferencias prácticas de la normativa a la descriptiva permanece abierta al debate. Por último, habida cuenta de la múltiple realizabilidad de las funciones técnicas, la necesidad práctica parece demasiado para pedir las conclusiones del razonamiento de fin de los medios que se sigue en el diseño de la ingeniería. El segundo rasgo se refiere a la segunda premisa, cuyo contenido es una relación condicional entre los medios y el fin, y que, como señala von Wright, se basa en una relación causal. No es sorprendente que esto vincule estrechamente el razonamiento de fin de los medios a la estructura causal del mundo. Si sabemos que el evento A causa el evento B, entonces podemos darnos cuenta de la ocurrencia del evento B al traer el evento A, si esto es tecnológicamente posible y si no hay circunstancias que interfieran. Así que la acción de traer el evento A, puede ser considerado como un medio para la ocurrencia del evento B,

el fin. La relación causal en sí misma no implica la necesidad práctica, es decir, el evento A no es un medio necesario para el evento B. Para que esto suceda, se requiere una declaración condicional mucho más fuerte, a saber, que la realización de la ocurrencia de A es el único curso de acción prácticamente factible para hacer realidad el evento B. La relación íntima que existe entre el razonamiento de fin de los medios y las relaciones causales explica por qué el conocimiento científico desempeña un papel tan dominante en la práctica del diseño moderno. Esto conduce a la cuestión del tipo de conocimiento utilizado para resolver problemas de diseño. Como se ha argumentado, sería engañoso afirmar que el diseño de ingeniería es simplemente la aplicación de los conocimientos científicos (o el conocimiento producido por las Ciencias de la ingeniería). Un conocimiento de los fenómenos naturales ciertamente no es todo lo que se necesita para resolver problemas de diseño. Hubka y Eder [1996] han intentado desarrollar una ciencia de diseño, que toman para ser un sistema de conocimiento lógicamente relacionado con el diseño y para el diseño. En su enumeración de los diversos tipos de conocimientos necesarios para el diseño de ingeniería, el conocimiento de las Ciencias de la ingeniería es sólo un elemento en una larga lista [1996, p. 72]. En una vena similar, DYM y Little [2000, p. 22-3] comentan que la mayoría de las muchas preguntas que tienen que ser planteadas al diseñar un objeto relativamente simple como una escalera segura, no pueden ser contestadas aplicando los modelos matemáticos de la física. Según Vincenti [1990, CH. 7] la anatomía del conocimiento del diseño de ingeniería incluye al menos seis categorías diferentes de conocimientos, algunos de los cuales no derivan del conocimiento científico en absoluto, como el 'know-how' adquirido en el taller-planta. Todos estos diversos tipos de conocimiento son importantes para convertir una descripción funcional del objeto que se diseñen en una descripción estructural. La distinción de Ryle [1984] entre "saber qué" y "saber cómo" puede ser de particular relevancia al analizar los tipos de conocimientos utilizados para resolver problemas de diseño, debido a la relación íntima entre el diseño y el conocimiento de cómo hacer o hacer las cosas. Para concluir, cuando se compara con la ciencia, el tipo de resolución de problemas prevaleciente en el diseño de ingeniería no sólo parece emplear formas distintivas de razonamiento, sino también formas distintivas de conocimiento. Hasta ahora, la naturaleza del conocimiento del diseño, o más generalmente el conocimiento tecnológico, no ha recibido mucha atención en la epistemología. Esto es aún más cierto en el análisis formal del razonamiento de fin de los medios en la lógica.

#### D.6.- MODELOS DE FASE EN DISEÑO DE INGENIERÍA.

Ahora nos movemos brevemente a un tema que ha recibido mucha más atención, especialmente de los metodólogos de diseño, a saber, la cuestión de la creación de procesos de diseño en términos de etapas o fases prescritas racionalmente y el desarrollo de herramientas de diseño. Estos se supone que los modelos de fase y las herramientas de diseño contribuyen a la mejora de los procesos de diseño reales. La mayoría de los modelos

son variaciones más o menos detalladas en el ciclo básico de análisis-síntesis-evaluación. Mientras el diseño siga siendo una actividad realizada por un solo individuo, estas fases serán principalmente relevantes desde un punto de vista conceptual. Tan pronto como el diseño se convierte en una cuestión de trabajo en equipo, que tiende a ser la situación en la industria moderna donde se abordan los sistemas complejos y grandes, el escalonamiento del proceso de diseño se convierte en una herramienta de gestión importante para organizar, controlar y dirigir el proceso de desarrollo de productos. Una cuestión que obstaculiza las discusiones sobre la utilidad de implementar estos diagramas de fase en la práctica de ingeniería es el criterio para evaluar y medir el éxito del resultado de un proceso de diseño de ingeniería. Desde un punto de vista estricto de la ingeniería, el criterio de éxito más simple es cumplir con la lista de especificaciones al tiempo que satisface las limitaciones dadas. Esto asume que la lista de especificaciones es inmutablemente fijada al comienzo del proceso de diseño, que no es a menudo el caso. Debido a los problemas encontrados en el camino, es posible que deban ajustarse durante el proceso de diseño. Además, como se comentó antes, las decisiones sobre los criterios de rendimiento a utilizar y el desarrollo de métodos para medir dichos criterios de rendimiento son a menudo una parte integral del proceso de diseño. Además de esto, varios participantes en el proceso de diseño pueden evaluar el resultado de diferentes maneras. A pesar de estas dificultades, los metodólogos de diseño afirman que la implementación de enfoques sistemáticos para el diseño mejora el proceso de diseño (véase, por ejemplo, [Pahl y Beitz, 1996, p. 499-501]).

#### D.7.- DISEÑO DE PLANES EN LUGAR DE OBJETOS MATERIALES.

Hasta ahora hemos analizado la naturaleza del diseño de la ingeniería, principalmente desde el punto de vista del objeto del diseño. Nuestra perspectiva general ha sido la elaboración de un (nuevo) artefacto técnico y hemos analizado en particular cómo un artefacto técnico, como objeto de diseño, se describe al principio y al final del proceso de diseño. Esta visión orientada a objetos sobre el diseño de ingeniería es bastante dominante entre los ingenieros. Es cierto que la caracterización habitual del resultado de un proceso de diseño hace hincapié en que se trata de un plan de producción y no de un objeto material real, sino que es simplemente una consecuencia de la división de mano de obra prevaletante. La fase de diseño es seguida por la fase de producción que da como resultado el artefacto técnico real y material al que se ha orientado el diseño. Sin embargo, si uno cambia de perspectiva desde el artefacto técnico, haciendo al lado el uso, uno ve que esto no puede ser toda la historia detrás del diseño de ingeniería. Desde la perspectiva del usuario no es la elaboración de un artefacto técnico lo que importa, sino cómo implementarlo para realizar sus objetivos. Para ello no se trata de un plan de fabricación que el usuario necesite, sino de un manual de instrucciones que describa cómo se puede implementar el artefacto. Se necesita un manual de instrucciones o un plan de uso para hacer la función ' accesible ' al usuario. Un artefacto técnico sin un manual o un plan de uso

no es en principio de ningún uso práctico. Así pues, desde el punto de vista del usuario, no es el plan de producción y el material técnico del artefacto lo que importa, sino su plan manual o de uso. Bien puede ser el caso de que, cuando los diseñadores caracterizan el resultado de los procesos de diseño como planes de producción para artefactos técnicos, toman implícitamente el manual para formar parte del artefacto técnico. Sin embargo, es importante que su función sea explícita porque permite la atención para pasar de objetos materiales a acciones y planes en los que los objetos tienen un rol. Desde una visión orientada a la acción, el diseño de ingeniería consiste en hacer planes de uso con respecto a cómo se pueden realizar los objetivos con la ayuda de artefactos técnicos. Se puede decir que los artefactos técnicos están incrustados dentro de dichos planes de uso. Siguiendo esta línea de razonamiento, Houkes y Vermaas et al [2002; 2004] han desarrollado una cuenta teórica de acción sobre el diseño y uso de artefactos técnicos. En ella se reconstruyen el diseño y el uso de artefactos técnicos en términos de planes, intenciones y razonamiento práctico. Toman planes para ser una serie dirigida por el objetivo de las acciones consideradas y ven un plan de uso para un objeto como una serie de acciones que implican la manipulación del objeto, con el fin de lograr el objetivo del Plan. Dividen el proceso de diseño en dos actividades diferentes, a saber, el diseño del plan de uso y el diseño del artefacto. Cada una de estas actividades se reconstruye en términos de planes y el plan de diseño de artefacto está incrustado en el plan para el diseño del plan de uso. En su cuenta, la interacción entre diseñadores y usuarios no implica simplemente la transferencia de un artefacto técnico, sino también, y principalmente, la comunicación de un plan de uso [Vermaas y Houkes, 2006, p. 7]. Una característica atractiva de esta acción-interpretación teórica del diseño de ingeniería es el papel central que atribuye a la racionalidad/razonamiento práctico. Si los planes son el resultado del diseño de ingeniería, estos planes, independientemente de si implican la manipulación de objetos, deben satisfacer las exigencias de la racionalidad práctica. Esto se aplica al plan de uso, pero también al plan de diseño de artefacto que está incrustado en el plan de uso. Bratman [1987, p. 31] discute dos de las demandas colocadas en los planes. El primero se refiere a las restricciones de coherencia; planes deben ser coherentes internamente (no deben incluir objetivos incompatibles) y coherentes con las creencias del agente que los ejecuta. Además, los planes deberían ser coherentes con los medios, lo que requiere que se dividan en pasos preliminares, sub-planes y medios para que a los ojos del agente se puedan ejecutar con éxito. De acuerdo con Houkes et al. [2002, p. 320] estas demandas de racionalidad práctica pueden conducir a normas para el buen y mal diseño y uso. Sin embargo, cuestionan si tales demandas sobre los planes agotan las normas operativas en el diseño de ingeniería y el uso de artefacto. Señalan que su enfoque de diseño de ingeniería y uso de artefacto tiene un sesgo intelectual: en consonancia con lo que se postuló en la introducción, la ejecución real de los planes no se considera un tema interesante por derecho propio. Esto conduce a una interpretación de las demandas impuestas a la racionalidad práctica que se relaciona

principalmente con la deliberación racional, una situación que también parece ser el caso con respecto a las demandas que Bratman impone a los planes. En realidad, hacer cosas o ejecutar planes puede imponer demandas adicionales. Por ejemplo, no está claro si o en qué medida, la noción de coherencia de fin de los medios puede tener en cuenta de forma independiente el importante papel de la norma de eficiencia en el diseño de la ingeniería. Este enfoque teórico de la acción del diseño de ingeniería analiza la naturaleza del diseño y su producción desde el punto de vista de lo que Simon llama el entorno exterior. Toma como sus prácticas de precepto de la acción humana intencional en la que se utilizan artefactos técnicos para realizar los fines. Sin recurrir a este contexto de acción humana es imposible caracterizar adecuadamente el diseño de la ingeniería y los artefactos técnicos. Lamentablemente, este enfoque genera el mismo problema de cómo traducir una función en una estructura como la que se encuentra en el enfoque orientado a objeto al diseño de ingeniería. Desde el punto de vista teórico de la acción, los artefactos técnicos proporcionan formas de lograr ciertos objetivos; pero, ¿cómo podemos pasar de una descripción del "entorno exterior" del artefacto x en términos de lo que es para (x es para y) a una descripción del 'entorno interno' que especifica el maquillaje físico de x? ¿Cómo logran los ingenieros saltar hacia atrás, por así decirlo, sobre el 'operador' al objeto en sí? Ya sea que examinemos el diseño de ingeniería desde un ángulo orientado a objetos o desde un ángulo orientado a la acción, el problema permanece.

#### D.8.- UN DISEÑO TÉCNICO.

Hasta ahora, la noción de diseño, cuando se utiliza nominalmente, se ha referido principalmente al resultado de un proceso de diseño dado. Desde el punto de vista del proceso de creación de productos, este resultado se suele tomar como un plan de producción para objetos que siguen siendo virtuales. Esta no es la noción de tipo Sustantivo del diseño que nos interesa. Cuando se hace referencia a un diseño de coche, por ejemplo, lo que significa no es generalmente su plan de producción, pero algo que tiene más que ver con las propiedades del coche en sí, independientemente de si ese coche realmente existe o cómo (si realmente existe) se produjo realmente. No es fácil entender lo que es "algo". Sea lo que fuere, el diseño del coche sigue siendo una faceta importante, ya que más o menos determina las propiedades estructurales y funcionales que lo acompañan. Incluso se convierte en una característica definitoria del coche en el sentido de que su diseño hace que el artefacto técnico sea un artefacto de un tipo particular, es decir, el tipo 'coche'. Con el fin de llegar a un acuerdo con lo que, en este sentido, un diseño en realidad es considerar el diseño del motor de vapor Newcomen, que se representa gráficamente en la figura 4. La principal función de este tipo de motor de vapor era alimentar bombas para drenar las minas, y esto se logró produciendo un movimiento alternativo en el gran rayo, que fue activado por el movimiento del pistón, etc. El dibujo no sólo proporciona información sobre las características estructurales del diseño, sino que también presenta parte de la forma y el

diseño u organización de las distintas partes del motor Newcomen. Incluso si tuviéramos que añadir toda la información estructural relevante a este dibujo, todavía no terminaremos con una representación completa del diseño del motor. Como objeto diseñado, el motor Newcomen tiene un propósito, pero ese propósito no está contenido en la representación estructural del diseño. Para una representación de este aspecto del diseño del motor Newcomen es necesario añadir información sobre su función general, las funciones de sus partes, las relaciones medios-fin y cómo funciona la máquina. Con el fin de resaltar el carácter intencional de un diseño, una representación de un diseño por lo tanto tiene que incluir información sobre sus características estructurales y funcionales. Obsérvese que, por el contrario, un diseño como plan de producción para un artefacto técnico todavía virtual no incluye necesariamente información sobre las propiedades funcionales del artefacto y de todas sus partes. Según DYM y Little [2000, p. 10], un plan de producción tiene que ser tal que "las especificaciones de fabricación deben, por sí solas, hacer posible que alguien totalmente desconectada con el diseñador o el proceso de diseño para hacer o fabricar lo que el diseñador pretendía en tal manera que funciona tal como lo pretendía el diseñador." Basta con que los planes de producción contengan una descripción puramente estructural del artefacto técnico. En principio, no es necesario incluir una descripción funcional del artefacto, ya que una descripción funcional no especifica de manera "clara, inequívoca, completa y transparente" (ibid.), las propiedades físicas del objeto que se va a producir. De modo que la noción de un diseño visto como un plan de producción es claramente diferente de la noción de un diseño que es fundamental para determinar la categoría a la que pertenece un artefacto técnico. Todo lo que se llama un diseño en el sentido previsto aquí, puede variar mucho en la práctica de ingeniería en términos de nivel de detalle y puede ser cualquier cosa a partir de un boceto áspero, como se muestra en los dibujos de máquinas de Leonardo da Vinci, a una descripción completa de detalle, cada minuto de un artefacto prospectivo o existente. Supondremos que una representación de un diseño de un artefacto técnico debe ser una descripción combinada de todas sus propiedades físicas y funcionales pertinentes (pertinentes a la luz del desempeño de su función general). Una descripción funcional representa sólo la mitad del diseño de un artefacto técnico ya que diferentes estructuras físicas pueden realizar la misma función y las diferentes realizaciones físicas implican diferentes diseños del artefacto. Lo mismo ocurre con las descripciones estructurales de un artefacto técnico: uno y el mismo objeto físico pueden desempeñar diferentes funciones sobre la base de diferentes diseños (reflejados en diferentes descomposiciones estructurales y funcionales del mismo objeto). Ni las descripciones funcionales ni las estructurales por sí solas capturan completamente el diseño de un artefacto técnico; el diseño funcional omite el lado estructural, mientras que el diseño estructural carece de las propiedades de diseño funcionales. Esto sólo demuestra que cuando se describen los artefactos técnicos, tanto las propiedades estructurales como las funcionales son indispensables en la práctica de la ingeniería [Kroes, 2006, p. 139].

Una dificultad principal a la vez que se aclara la noción de un diseño técnico radica en su asociación con las nociones de propósito y función. Se dice que los artefactos basados en un diseño técnico tienen un propósito y este propósito les es conferido por su diseño. De hecho, la noción de un diseño tiene connotaciones teleológicas fuertes en que un objeto diseñado (es decir, un objeto basado en un diseño) tiene una propiedad específica de 'for-Ness': es para hacer algo o para ser algo. Este carácter teleológico de los diseños puede ser capturado caracterizando como algún tipo de plan ya que los planes están asociados con propósitos y metas. Sin embargo, En este contexto, un plan no es una serie de acciones consideradas. Como artefactos técnicos no ejecutan planes que no tendrían ningún sentido. Un plan puede ser tomado como un "arreglo u organización teleológica o intencionada" de objetos físicos que muestren el ajuste de los medios a un fin. Pero, ¿cómo se interpreta esto? Una forma de interpretar la naturaleza intencionada de un diseño (o de un objeto basado en un diseño) es trazar un diseño, como una especie de plan, de vuelta a su origen. Un plan es una construcción mental que tiene su origen en la mente del diseñador. Se puede tomar para heredar su naturaleza intencionada de su diseñador. Esta línea de razonamiento se utiliza en los argumentos del diseño. En su forma más famosa, es un argumento para la existencia de Dios. El propósito (junto con otras características) de ciertos sistemas naturales, en particular de los organismos biológicos y sus partes, se toma para ser la prueba de que son objetos diseñados, un hecho que luego se utiliza como un argumento para la existencia de un diseñador inteligente [Ratzsch, 2005; Russell, 2005]. Según Ratzsch [2005, p. 2], los argumentos del diseño son bastante poco problemáticos en el caso de artefactos técnicos o, más en general, en el caso de cosas que "la naturaleza no podía o no produciría." Afirma, por ejemplo, que para un reproductor de DVD la conclusión de que fue diseñado por los seres humanos es "casi ineludible". Una reclamación similar se hizo hace más de 200 años por Paley, con respecto a un reloj; afirmó que cuando examinamos un reloj, lo que vemos son [Paley et al., 2006, p. 14]: Artificio, diseño; un fin, un propósito; significa para el final, la adaptación a la finalidad. Y la pregunta, que irresistiblemente presiona sobre nuestros pensamientos, es, de donde este artificio y diseño, lo que se requiere es la mente pretendiendo, la mano de adaptación, la inteligencia por la que se dirigió esa mano.

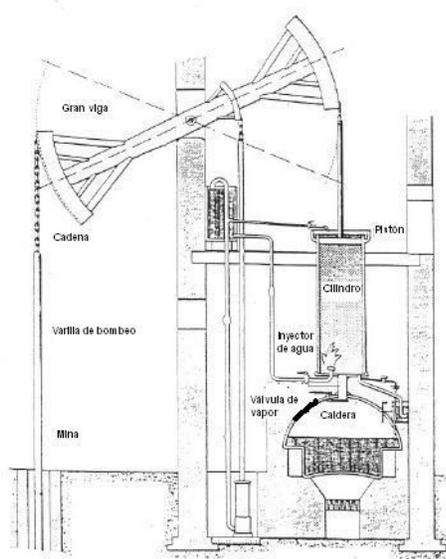


Figura 4.- Diseño de una máquina Hwcomen

De este modo, el propósito de un diseño técnico (y de un artefacto técnico basado en ese mismo diseño) puede estar directamente relacionado con la intencionalidad de un diseñador humano y considerarse derivada de ella. Sin embargo, esto no conduce a una imagen más clara de lo que es un diseño, como una característica definitoria de un artefacto prospectivo o real, es. Las cosas se complican aún más cuando un artefacto técnico, como objeto diseñado, se considera la "encarnación" o "realización material" de un diseño. ¿Qué significa para un objeto físico encarnar un diseño, un plan mental y en qué medida hereda el propósito de un diseño? Esta noción de artefactos técnicos parece transformarlas en objetos hechos de un lado mental (es decir, intencional) y físico; se convierten, por así decirlo, en creaciones de mente y de materia. Las características físicas de los artefactos técnicos son necesarias al contabilizar su eficacia causal y sus características intencionales representan su propósito (es decir, sus funciones). En la medida en que son productos de la mente, heredan la naturaleza teleológica de la acción intencional del diseñador. En consonancia con este hilo de discusión, los artefactos técnicos son objetos con una doble naturaleza; tienen características físicas, así como características intencionales. Para concluir, desde un punto de vista conceptual, todavía no se ha proporcionado un análisis claro del concepto de diseño de un artefacto técnico. En la práctica de la ingeniería, estos problemas conceptuales no parecen ser muy importantes. De hecho, uno puede buscar casi en vano en los manuales de ingeniería para un análisis elaborado de lo que un diseño, en el sentido previsto aquí, incorpora. Desde un punto de vista pragmático, lo que es mucho más importante es cómo se representan inequívocamente los diseños de artefactos técnicos. La creciente complejidad de los artefactos técnicos modernos y el uso de computadoras en

soluciones de apoyo a problemas de diseño de ingeniería, han aumentado la necesidad de representaciones más formales e inequívocas de los diseños. Estas representaciones son vitales para el desarrollo de sistemas de gestión de datos de ingeniería, para el diseño asistido por ordenador (CAD). Es especialmente la representación formal de las funciones que resulta ser problemática [DYM, 1994]. Actualmente se está trabajando mucho en el desarrollo de taxonomías de primitivas funcionales (un campo que a veces se denomina "modelado funcional"), sobre la representación funcional y el razonamiento funcional en la IA-trimestres, el objetivo es apoyar a los ingenieros en su resolución de problemas de diseño y en la representación precisa de los diseños.

#### D.9.- COMPLEJIDAD Y EL PARADIGMA DEL DISEÑO TRADICIONAL.

En esta última sección voy a llamar la atención sobre un nuevo campo de la ingeniería que ha surgido en las últimas décadas, a saber, la ingeniería de sistemas. Se centra en el diseño, desarrollo, mantenimiento y control de sistemas tecnológicos complejos a gran escala (véase, por ejemplo, [Sage, 1992]). Es interesante echar un vistazo más de cerca a este campo porque es donde los ingenieros cumplen con los límites de la aplicabilidad de lo que voy a llamar su paradigma de diseño tradicional. Primero echemos un vistazo más de cerca a este paradigma de diseño. Se compone de tres supuestos sobre el tipo de artefactos técnicos que están diseñados. Esta categoría se ejemplifica con productos de consumo autónomos. La mayoría de los ejemplos utilizados hasta ahora caen en esta categoría. Estos artefactos técnicos pueden ser utilizados por individuos o por grupos, más o menos en aislamiento de su contexto tecnológico y social más amplio. Lo que se requiere para el correcto desempeño de su función es un artefacto técnico que no funciona mal y se implementa correctamente. Para decirlo en la terminología de Simon, los ambientes internos y externos del artefacto técnico deben comportarse como deberían. Esto nos lleva a la primera característica importante del paradigma del diseño tradicional, a saber, la suposición de que es posible separar claramente el objeto de diseño de su entorno. En su análisis del diseño de ingeniería Simon, por ejemplo, simplemente asume que esto no da lugar a ningún problema. La segunda característica se refiere a una suposición sobre la naturaleza del objeto o sistema a diseñar o, más al punto, el contenido del entorno interno. La ingeniería tradicional se refiere al diseño del hardware (el manual está más o menos dado por sentado). Lo que se diseña es un objeto técnico material. La característica final del paradigma de diseño tradicional es que se asume que el comportamiento de los sistemas diseñados puede controlarse por completo controlando el comportamiento de sus piezas, al menos cuando se utiliza el sistema diseñado en las condiciones especificadas en el diseño. Dado que el artefacto se compone de partes físicas, este control equivale al control del comportamiento de estas partes físicas a través de un conjunto de parámetros de control. Estas tres suposiciones sobre los objetos de diseño, que no son independientes entre sí, caracterizan conjuntamente el paradigma del diseño tradicional. Ciertas características del

tipo de sistemas diseñados dentro del campo de la ingeniería de sistemas parecen socavar la aplicabilidad del paradigma de diseño tradicional en este campo. La ingeniería de sistemas surgió en respuesta a los sistemas cada vez más complejos diseñados y desarrollados por los ingenieros. Este desarrollo no sólo desafió a los ingenieros en relación con el diseño de sistemas tan complejos, sino que también presentó preguntas sobre el diseño y la organización del proceso de ingeniería aliado a tales sistemas complejos [Ottens et al., 2006]. Aquí nos concentramos en dos características de los tipos de sistemas diseñados que plantean preguntas en conjunción con la aplicabilidad del paradigma de diseño tradicional. La primera característica se refiere a la naturaleza socio-técnica de los sistemas diseñados, la segunda la posibilidad de un comportamiento emergente en sistemas complejos. Uno de los tipos de sistemas estudiados y diseñados dentro de la ingeniería de sistemas son los sistemas de infraestructura a gran escala, como los sistemas de suministro de energía eléctrica o los sistemas de transporte público. El comportamiento de estos sistemas se ve significativamente afectado por sus elementos técnicos, pero el funcionamiento de los sistemas en su conjunto depende tanto del funcionamiento de estos componentes técnicos como del funcionamiento de las infraestructuras sociales (sistemas jurídicos, sistemas de facturación, sistemas de seguros, etc.) y depende del comportamiento de los actores humanos. Desde un punto de vista de la ingeniería, esto llama la atención sobre la cuestión de si la infraestructura social debe ser considerada como parte del entorno exterior, y modelada como una serie de limitaciones para el diseño de sistemas técnicos o simplemente tomadas como parte del sistema para ser diseñado. Un argumento importante a favor de la inclusión de estos elementos sociales en el sistema es que las infraestructuras tecnológicas y sociales tienen que estar sintonizados entre sí si dichos sistemas funcionan con éxito. Si los elementos sociales se incluyen dentro del sistema, como a menudo se defiende, entonces la implicación es que la ingeniería de sistemas tiene que lidiar con los sistemas socio-técnicos. Se trata de sistemas híbridos formados por elementos de diversa índole, como objetos naturales, artefactos técnicos, actores humanos y entidades sociales como las organizaciones y las normas y leyes que rigen el comportamiento de los actores humanos y las entidades sociales. El paradigma del diseño tradicional ya no parece ser un marco básico adecuado para el diseño y el control de los sistemas socio-técnicos. Para empezar, existe el problema de dónde trazar la línea entre el sistema considerado y su entorno. Este es un problema conceptual que la ingeniería de sistemas hereda de la teoría de sistemas [Kroes et al., 2006]. Si la función de un sistema es la que da cohesión al sistema, entonces es bastante obvio que deben incluirse todos los elementos relevantes para el funcionamiento del sistema. Por lo tanto, los agentes humanos y las instituciones sociales tendrían que convertirse en partes integrales de los sistemas de infraestructura aludido anteriormente. Pero, ¿cómo se define la función de, por ejemplo, un sistema de alimentación eléctrica? Diferentes actores pueden tener diferentes puntos de vista sobre esto y por lo tanto pueden tener diferentes opiniones sobre lo que constituye parte del

sistema y lo que pertenece a su entorno. La naturaleza socio-técnica de los sistemas diseñados también significa que la naturaleza del sistema a diseñar cambia. El entorno interno ya no consistirá únicamente en objetos materiales. El diseño de estos sistemas no sólo implica el diseño de infraestructuras técnicas sino también de redes sociales desde el punto de vista de que están hechas a medida para que coincidan entre sí. Finalmente, la idea de que estos sistemas pueden ser completamente diseñados y controlados tiene que ser abandonado. El comportamiento de los agentes humanos y las instituciones sociales no puede controlarse en la forma en que se puede controlar el comportamiento de los sistemas tecnológicos. En el paradigma del diseño tradicional se asume que hay un punto de vista fuera del sistema diseñado desde el cual el diseño y el control son supervisados. No sucede así con los sistemas socio-técnicos en los que diversos actores, con interpretaciones propias de la función del sistema y su papel en su realización, se han fijado para cambiar o rediseñar partes del sistema desde dentro. Por esta razón, incluso la noción de diseñar sistemas socio-técnicos se vuelve problemática. La segunda característica de sistemas complejos que amenazan la aplicabilidad del paradigma de diseño tradicional, radica en la posible ocurrencia de fenómenos emergentes. En los últimos tiempos, los fenómenos emergentes en sistemas tecnológicos complejos se han convertido en todo un tema de debate en los círculos de ingeniería [Buchli y Santini, 2005; Deguet et al., 2005; Johnson, fecha desconocida]. La ciencia y la ingeniería de los complejos se están convirtiendo en campos en su propio derecho, en los que los fenómenos emergentes son ampliamente vistos como una característica definitoria de la complejidad. Los sistemas complejos pueden exhibir comportamientos no lineales y caóticos que resultan en procesos de auto organización y en propiedades sistémicas emergentes como la adaptabilidad, la robustez y la auto-reparación [Bertuglia y VAIO, 2005]. Desde un punto de vista de ingeniería tales propiedades pueden ser deseables, pero el inconveniente es que su ocurrencia puede ser inesperada e impredecible. Eso dificulta el control de estas características. El deseo de controlar los fenómenos emergentes en sistemas complejos es impulsado por un lado por el hecho de que pueden ser peligrosos (los apagones en los sistemas de suministro de energía eléctrica se afirman a menudo como características emergentes) y, por otro lado, por el hecho de que contribuyen a la propiedad deseada de sistemas tecnológicos complejos (por ejemplo, los sistemas adaptativos complejos pueden ser más robustos en relación con las condiciones cambiantes del medio ambiente). Si los apagones en los sistemas de suministro de energía eléctrica son ejemplos genuinos de fenómenos emergentes o si se pueden dar otros ejemplos reales, queda por decidir. Sin embargo, suponiendo, que los fenómenos emergentes puedan ocurrir en sistemas técnicos complejos, plantean un verdadero desafío al paradigma del diseño tradicional. Este desafío no está relacionado con la primera y segunda características de este paradigma. El comportamiento emergente puede ocurrir en sistemas en los que no es problemático establecer dónde se encuentra el límite con el medio ambiente y donde no hay necesariamente pruebas de sistemas "híbridos" (aunque

los sistemas socio-técnicos discutidos anteriormente pueden resultar ser una clase prometedora de sistemas que exhiben comportamientos emergentes). Es la tercera característica, la suposición sobre el control del comportamiento del sistema que tiene que ser renunciado en relación con el comportamiento emergente. El comportamiento emergente de un sistema no puede, más o menos por definición, reducirse al comportamiento de las partes constituyentes del sistema. Esto significa que las técnicas como la descomposición funcional no se pueden aplicar a las propiedades funcionales de los sistemas que se basan en fenómenos emergentes. También implica que el comportamiento del sistema en su conjunto no puede controlarse por completo controlando el comportamiento de sus partes. Por lo tanto, la emergencia y el control no van de la mano. Según Buchli y Santini [2005, p. 3] "hay un intercambio entre la auto organización [y la emergencia; P.K. por un lado y especificación o capacidad de control por el otro:

Si aumenta el control sobre el sistema, se suprimirá la capacidad de auto organización. De hecho, un nuevo principio de intercambio constituiría una ruptura significativa con el paradigma del diseño tradicional. Dada la creciente complejidad de los sistemas con los que los ingenieros tienen que lidiar, es de esperar que la ingeniería de sistemas se convierta en una rama de la ingeniería cada vez más importante. Esta creciente complejidad planteará nuevos desafíos a la práctica de diseño de ingeniería. Cualquiera que sea la naturaleza precisa de esta complejidad, sin duda, se extenderá la aplicabilidad de los métodos tradicionales de diseño y control de los sistemas técnicos a sus límites o incluso más allá de sus límites. Esto significa que para estos sistemas el paradigma de diseño tradicional con su idea de "control total del diseño" puede tener que dejarse atrás y los paradigmas de diseño alternativos pueden tener que desarrollarse en su lugar.

## E.- REPRESENTACIONES COMPUTACIONALES DE LA FUNCIÓN EN DISEÑO DE INGENIERÍA (William H. Wood)

La función es lo que queremos de cualquier sistema técnico; es lo que el sistema hace por nosotros, la razón por la que fue diseñado, realizado, e introducido en nuestro mundo. Entender la función requiere comprender no sólo el entorno físico en el que opera un sistema, sino también su contexto socioeconómico humano. El diseño y la función están estrechamente vinculados, armados con conocimiento y experiencia en ambos, el diseñador humano se une a los mundos físico/técnico y social/económico. Con la intención de mitigar la creciente complejidad de ambos mundos, los diseñadores confían cada vez más en herramientas computacionales. Mientras que las herramientas que "entienden" el mundo físico se han convertido en un valor incalculable, en la práctica del diseño de ingeniería (los coches completos están diseñados y su rendimiento técnico modelado computacionalmente), el soporte computacional para cerrar el lado humano del diseño sigue estando en su infancia. En este capítulo, exploramos el estado actual de las representaciones informáticas de la función. Empezamos por intentar demarcar la noción humana de la función del comportamiento técnico de los artefactos que logran esa función. Para refinar la transición entre los dos, examinamos la "ciencia" empírica de la ingeniería inversa: los métodos utilizados para realizarla, la información que se extrae y la aplicación de esta información a futuros diseños. En este proceso, la noción de funcionalidad se amplía para tener en cuenta la práctica de ingeniería moderna de la ingeniería de ciclo de vida, mirando la función desde las perspectivas socioeconómicas de todas las personas "tocadas" por un diseño a lo largo de su vida. La abstracción se utiliza para atravesar el espectro entre los aspectos humanos y técnicos de la función.

### E.1.- FUNCIÓN VERSUS COMPORTAMIENTO.

A lo largo de este capítulo, discutimos la función en relación con un artefacto, un objeto físico que interactúa con el resto del mundo físico (incluyendo a los humanos) a través de las leyes de la física. El efecto de estas interacciones se ha denominado el comportamiento de un artefacto. Cualquier objeto físico tiene una infinidad de comportamientos, ya que interactúa con un incontable conjunto de otros objetos en el mundo; vistos de esta manera, los comportamientos tienden a ser muy genéricos y neutrales. Eventualmente, sin embargo, los artefactos

encuentran su camino en contextos en los que agregan valor a la experiencia humana. Las sillas toman espacio, cambian la transferencia de calor local, ejercen fuerzas gravitacionales y exhiben muchos otros comportamientos que se pueden decir de cualquier otro objeto; pero cuando se colocan en la posición correcta sobre una superficie sólida, transfieren el peso de un humano al suelo, mientras que al mismo tiempo apoyan al cuerpo humano en un nivel en el que puede comer/trabajar/jugar/relajarse/etc. Son estos últimos comportamientos los que corresponden a la noción humana de función. Función es el subconjunto de comportamiento que agrega valor al contexto humano. Función es el subconjunto de comportamientos que diseñamos en un artefacto; el resto de los comportamientos son simplemente "a lo largo de la atracción". Es útil discutir la función desde tres puntos de vista. El tratamiento más genérico de la función es el más cercano al marco socioeconómico — Affordance [Gibson, 1979; Maier y Fadel, 2002]. El modelo Affordance de función coloca un actor dentro de un entorno. Al evitar preconcepciones sobre la función de la palabra y abstraer el contexto humano a los actores y al medio ambiente, la noción de affordance elimina la intención del diseñador y con ella cualquier preconcepción sobre lo que se supone que debe hacer un artefacto. En este marco, una silla permite sentarse, permite la concentración para el trabajo, ofrece comodidad, etc. También permite llegar a estantes altos, permite la ventilación al apuntalar una puerta abierta, y puede permitirse la libertad de movimiento por doblar. El concepto de affordance se centra en el actor y el medio ambiente y no en la intención del diseñador. En lugar del subconjunto de comportamientos en el subconjunto de contextos que impulsaron su especificación, examina todos los comportamientos útiles de un artefacto en todos los contextos. Como tales, las affordance pueden ser difíciles de aplicar en un sentido generativo, pero pueden demostrar una construcción valiosa en la identificación y evaluación de comportamientos secundarios útiles que podrían, en algún momento, convertirse en funciones. Una visión ligeramente más centrada en el diseño de la función es la que se ha abrazado por Gero et al. [Gero, 1990; Rosenman y Gero, 1998; Gero y Kannengiesser, 2002] en su modelo de diseño de la función-comportamiento-estructura (FBS). En FBS, el proceso comienza con la intención del diseñador: una exploración de las formas en que el valor se puede Agregar a un contexto humano especificado. Donde la experiencia predice que el valor puede agregarse por el comportamiento de un artefacto, se lleva a cabo el diseño de ese artefacto. Este ' diseño ' es una asignación del comportamiento previsto (es decir, función) a la estructura de un artefacto que tiene lugar, de nuevo,

en gran parte a través de la experiencia de un diseñador. Una vez completada, la estructura del artefacto se utiliza para predecir el comportamiento, no sólo el previsto por el diseñador, sino también otros ' efectos secundarios ' de la estructura elegida. Los efectos secundarios indeseables se eliminan o mitigan a través de cambios en la estructura. Cuando los pequeños cambios estructurales no pueden resolver comportamientos indeseables, se rechaza la estructura y se consideran las estructuras alternas. El modelo FBS se basa en la dicotomía entre el rendimiento de un diseño en un contexto humano y sus interacciones con el mundo físico. La función es intencional por parte del diseñador, se define dentro de un contexto humano, agrega valor; comportamiento es neutro, una consecuencia física de la estructura de un diseño. El debate sobre esta dualidad de los artefactos continúa [Kroes, 2002], sin embargo, el modelo FBS al menos proporciona un marco básico para el desarrollo ulterior de las representaciones computacionales de la función y los procesos que operan sobre ellos. La tercera vista funciona como una compilación de comportamiento. Divorciados del contexto físico, en el que se lleva a cabo el comportamiento mecánico y arquitectónico, el comportamiento electrónico y la estructura están casi completamente alineados. Los avances en este campo han sido sorprendentes: desde el desarrollo de circuitos integrados específicos para aplicaciones (ASICs) hasta matrices de puertas programables en campo (FPGA) y sistemas en un chip (SOC), un único diseñador tiene el poder de construir, con la ayuda de extensas bibliotecas de unidades estructurales (incluidos los microprocesadores), un equipo personalizado. En la superficie, esto parece ser un gran avance en el diseño [Whitney, 1996], escribiendo en los albores de esta tecnología, compara desfavorablemente los avances en la automatización del diseño mecánico a los de la electrónica). En un examen más profundo, el ordenador así construido, todavía tiene poca funcionalidad sin el programa que se ejecuta que, en sí, tiene poca función verdadera fuera de un contexto humano. Así, mientras que los detalles siguen siendo diferentes y el diseño del ' poder ' (en términos de la gran cantidad de componentes que un solo diseñador puede manejar) excede mucho del disponible para los diseñadores mecánicos/arquitectónicos, el resultado sigue siendo el mismo, la función es intencional, concepto humano, desarrollado por la experiencia del diseñador para aportar valor en un contexto humano. El cambio principal aquí desde la perspectiva de Gero et al. ', es que estos módulos electrónicos personalizados, exhiben poco comportamiento fuera de lo que se pretende (una simplificación excesiva a cualquier persona que ha intentado depurar estos sistemas, especialmente como velocidades de temporización elevadas

producen comportamiento no intencional y sin modelar). Tal vez la lección principal para extraer del mundo de la electrónica es el poder que produce la abstracción funcional. Un ingeniero de electrónica puede encadenar unidades funcionales pre-compiladas que van desde chancas (unas cuantas puertas) a microprocesadores (100.000 + puertas) en lugar de crear un diseño VLSI desde el nivel de la puerta hacia arriba. La abstracción es fundamental para representar y calcular la función; el diseño se simplifica cuando la función y el comportamiento se representan en los mismos niveles de abstracción. Esta discusión amplifica al doble la naturaleza de los artefactos técnicos, operan en contextos socioeconómicos tanto físicos como humanos. También refuerza que el diseño es un proceso humano-técnico en el que se requiere la experiencia del diseñador tanto humano como estudiante de comportamiento físico. El diseño podría considerarse como un problema inverso de varias etapas: presentado con un contexto problemático, un diseñador primero identifica un comportamiento o un conjunto de comportamientos que pueden agregar valor. Esto requiere la inversión de una asignación de contexto para agregar valor de comportamiento que un diseñador ha adquirido a través de la experiencia. El segundo paso, según Gero et al., es entonces invertir un mapeo basado en la física entre la estructura y el comportamiento para identificar las estructuras candidatas para generar los comportamientos deseados del candidato. En ambas asignaciones, la experiencia del diseñador es vital para dibujar Generalidades a partir de una experiencia específica y para identificar vínculos de un contexto a otro. La abstracción desempeña un papel clave en la capacidad de un diseñador para encapsular un contexto, para ocultar detalles de poca importancia mientras se enfoca y expande los detalles que unen un contexto a otro, una solución de diseño a otra.

## E.2.- FUNCIÓN DE DISEÑO.

Es difícil corregir un nivel específico de abstracción en el que uno puede diferenciar entre función y comportamiento. Con trazos anchos definimos dos Mappings independientes que se van durante el proceso de diseño: el primer mapeo es el que se necesita para pasar del contexto socioeconómico de un diseño a conjuntos de funciones (es decir, comportamientos previstos) que probablemente proporcionen valor en este contexto. El auge de las técnicas de "voz del cliente" [Pugh, 1991] en el diseño de ingeniería enfatiza la importancia de captar el contexto humano del diseño. Métodos como QFD [Hauser y Clausing, 1988] operan sobre declaraciones directas de clientes, intentando asignarlos a medidas objetivas de

rendimiento de diseño. Es significativo que, durante este proceso, las expresiones relacionadas con las soluciones asumidas se abstraen a nociones más generales de rendimiento (por ejemplo, en lugar de hablar de cuánta potencia tiene un taladro, los ingenieros pueden establecer métricas de tiempo/valor para la creación de agujeros o el ajuste/desmontaje de los sujetadores). El contexto humano a menudo incluye artefactos con los que un diseño debe interactuar y procesos humanos dentro de los cuales se lleva a cabo esta interacción. Mientras QFD se esfuerza por establecer el valor del comportamiento del artefacto en el contexto del diseño, las medidas que propone en los artefactos y procesos también comienzan a identificar funciones clave (es decir, comportamientos previstos) del diseño.

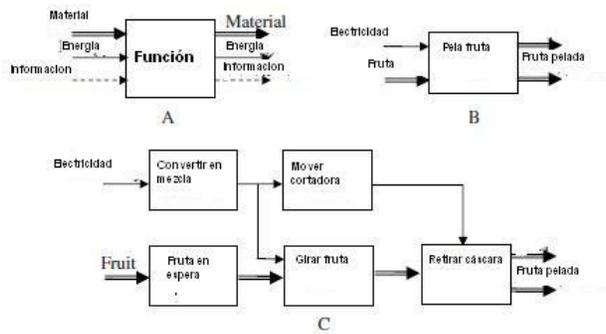


Figura 1. Estructura de la función: A plantilla. B. Caja negra de pelador de frutas C. diseño de pelador de frutas

La segunda asignación de diseño relaciona la función con la estructura. Pahl y Beitz [Pahl y Beitz, 1988] proponen un método de diseño sistemático basado en la representación de la estructura de función. Una estructura de función es una representación de diagrama de bloque del sistema en el que la energía/fuerza, material, y el flujo de información en cada unidad funcional, se transforman por ella, y fluyen hacia fuera y en otras funciones. Las estructuras de función pasan por varias etapas de abstracción: una "caja negra" de nivel superior que representa el sistema como una sola unidad funcional se descompone gradualmente en redes en las que los flujos se separan y se operan de manera sucesiva menos abstracta, Funciones. La Figura 1 muestra una plantilla general para una estructura de función, así como dos niveles de abstracción para un pelador de fruta eléctrica. La descomposición finaliza cuando todas las transformaciones funcionales pueden llevarse a cabo mediante un conjunto de "principios de solución" bien definidos. En términos del modelo FBS de Gero et al., la red resultante de principios de solución define la estructura del

diseño, cuyo comportamiento se define por las formas en que interactúan a través de su diseño topológico y espacial. Este método sistemático propaga la asignación del comportamiento previsto a la estructura en una amplia gama de abstracciones, en el proceso difuminando la distinción entre funciones y estructura. Los principios de la solución cada uno encarnan entidades estructurales, físicas, pero la topología de la función-estructura, también representa los aspectos de la estructura. Por lo tanto, en lugar de una asignación nítida del comportamiento a la estructura, las estructuras de función proporcionan una evolución continua de la estructura del comportamiento previsto.

### E.3.- FUNCIÓN DE COMPUTACIÓN.

Hemos introducido la función como el comportamiento físico de un artefacto destinado a producir valor en un contexto socioeconómico. Para los diseñadores, esto implica dos asignaciones separadas: del valor al comportamiento previsto y del comportamiento previsto a la estructura física. Ahora miramos las representaciones computacionales destinadas a abordar cada una de estas asignaciones.

#### E.3.1.- Asignación de clientes y que necesita para funcionar.

Calcular el comportamiento previsto del valor está en su infancia. El más maduro de estos trabajos es el de McAdams et al. [McAdams, et al., 1999; McAdams y Wood, 2002], como parte de un amplio proyecto para mejorar el cómputo de la función. Al igual que Gero et al., llamar a la experiencia del diseñador para la asignación de valor a comportamiento y comportamiento a la estructura, investigación computacional llama a la experiencia recopilada en una base de datos de diseño. El énfasis aquí está en las representaciones duales de las necesidades del cliente y la función de diseño. Un conjunto de productos existentes está diseñado de forma inversa para extraer información sobre el valor del producto, cuáles fueron las necesidades importantes del cliente que moldearon el diseño (a partir de un análisis de estilo QFD post-hoc del diseño) y la función/estructura del producto: ¿Qué funciones se llevaron a cabo, cómo se relacionan entre sí?. La necesidad y la función se relacionan entre sí a través de un esquema de ponderación que es esencialmente parte del proceso de ingeniería inversa. Otto y Wood [1998] prescriben un modo de "eliminar y operar" de ingeniería inversa en el que se identifican los flujos principales del sistema, los componentes a lo largo de ese flujo se eliminan sucesivamente y el artefacto 'operado' conceptualmente. Las diferencias en el

comportamiento operativo con y sin el componente se atribuyen a la función de ese componente. Al mismo tiempo, las diferencias en el valor del artefacto con y sin una función se estiman y un valor atribuido a cada función también. En el ejemplo de un taladro inalámbrico, el regulador convertidor podría ser removido, reemplazado por un simple interruptor de encendido-apagado. A continuación, se evalúa la capacidad de un taladro de encendido/apagado para satisfacer las necesidades del cliente y las especificaciones del producto degradadas por el cambio (por ejemplo, la precisión de la profundidad del sujetador, la facilidad de inicio de un agujero) se asocian con esa función. Este proceso es relativamente sencillo para un solo artefacto cuyas funciones y flujos se capturan lingüísticamente, pero la computación sobre representaciones de múltiples artefactos invertidos por varias personas es más problemática. Para resolver esta dificultad, Stone y Wood [2000] ofrecen un lenguaje de base jerárquica para estandarizar la codificación tanto de la función como del flujo. Aquí la función se describe generalmente con verbos de acción (por ejemplo, rama, canal, conexión, magnitud de control, conversión, provisión, señal, soporte) y flujo con sustantivos (por ejemplo, material: humano, gas, líquido, sólido; señal: Estado, control; energía: humano, acústico, biológicos, químicos, eléctricos, electromagnéticos, hidráulicos, magnéticos, mecánicos, neumáticos, radioactivos, térmicos). La ingeniería inversa produce un conjunto de frases verbo-objeto Unidas por el objeto. Utilizando esta codificación junto con el modo 'eliminar y operar' de ingeniería inversa, Kurfman et al. [2003] encontrar hasta un 70% de acuerdo entre los ingenieros inversos para los mismos artefactos y hasta un 50% de acuerdo entre los diseñadores que identifican funciones para el mismo contexto de diseño.

### E.3.2.- Función de mapeo a estructura: abstracta.

Verma y Wood [2006] aplican esta misma metodología de ingeniería inversa, ampliando la noción de función de artefacto para incluir la fabricación, otro "cliente" importante del ciclo de vida de un artefacto. El diseño de artefactos físicos es siempre un compromiso entre su funcionalidad a los ojos del usuario final y la eficiencia de su producción por parte del fabricante. En un esfuerzo por identificar el nivel de abstracción en el que reside la "funcionalidad" de fabricación, los productos se diseñaron con ingeniería inversa en el subsistema (basado en la descomposición funcional), parte (una unidad formada por el fabricante o ensamblada como una sola unidad en el artefacto final), y la característica geométrica (una entidad CAD básica como 'Boss') niveles de detalle. A continuación, se determinó la función de cada elemento y se asignó a una de las cuatro categorías: usuario principal

(funciones que agregan directamente valor en el contexto de usuario), usuario secundario (funciones que admiten la funcionalidad principal pero no son esenciales), ensamblado (funciones que facilitar el montaje pero no afectan a la función del usuario) y la formación (funciones que facilitan los procesos de formación de piezas, pero que no influyen directamente en la función del usuario). La función se registró en lenguajes de base lingüística y funcional; se permitieron varias asignaciones de funciones para cada subsistema/pieza/característica. Los hallazgos de este trabajo incluyen:

1. La descomposición del subsistema no es fiable en los ingenieros inversos. La coincidencia de los niveles de abstracción físicos y funcionales es el problema principal: algunos módulos realizan una única función principal, otros simplemente comparan un sub-ensamblaje útil para la fabricación que realiza varias funciones.

2. La descomposición de características no es fiable en los ingenieros inversos. De nuevo la abstracción es la principal dificultad, en este caso la abstracción de un conjunto de entidades geométricas individuales en una característica reconocible: ¿es una tapa abovedada en un pasador de una entidad separada de la clavija o es una operación de ensamblaje para ayudar en la localización de una parte de acoplamiento?

3. La descomposición de la pieza es generalmente fiable en los ingenieros inversos. Dadas algunas sencillas instrucciones, todos los ingenieros inversos son capaces de identificar las piezas en un producto. La mayoría también coinciden en la etiqueta de los flujos a los que se conecta una pieza; nombrar cómo realmente transforma esos flujos es menos confiable. De hecho, una gran medida de la confiabilidad reportada por Kurfman et al. Puede atribuirse a flujos de entrada y salida del sistema, fácilmente reconocibles. Cada una está asociada con una función de 'importación' o 'exportación'; Estos colectivamente representan alrededor del 25% de todas las funciones para los productos relativamente simples típicos de la base de datos. Con un 25% de inicio de la cabeza, poco más de la mitad de las funciones restantes se asigna de forma fiable.

4. La fabricación impulsa la geometría de la pieza. Más de la mitad de todas las entidades de pieza no tienen ninguna relación con la funcionalidad del usuario (primaria o secundaria). El detalle geométrico más reconocible es, de hecho, difícil de relacionar con la función en absoluto-gran parte de ella se asocia con los

componentes mecánicos ' Ground ' (carcasas, Marcos, placas base, etc.) que proporcionan la referencia espacial y las fuerzas de reacción generadas por el principal y unidades funcionales. Debido a que a menudo forman la columna vertebral del producto pero no tienen un impacto funcional directo, estos componentes son objetivos listos para el diseño para técnicas de fabricación que buscan minimizar el conteo de piezas en un producto.

5. Las funciones de fabricación son genéricas. Los pasadores cónicos ayudan en la ubicación de la pieza; redondeos facilitan el flujo de material en moldes de piezas, etc. El comercio entre la capacidad de fabricación y la función del usuario se produce principalmente en las funciones secundarias, las funciones de usuario primario rara vez se ven afectadas por las preocupaciones de fabricación. En lugar de intentar capturar un conjunto de reglas genéricas de los casos de producto, la ingeniería inversa puede ser más eficaz capturando la información de geometría/fabricación/ensamblaje relacionada con una función específica. Stahovich y Kara [2001] también estudian la relación entre la característica geométrica y la función. Su sistema no funciona con artefactos físicos, sino con representaciones de geometría sólida de su equipo. Aplican el mismo paradigma de "eliminar y operar" para inducir la función, pero a niveles más bajos de abstracción, mediante la realización de simulaciones de comportamiento basadas en la física en partes antes y después de la eliminación de entidades geométricas identificadas. De este trabajo surgen varios problemas: una entidad geométrica se identifica como parte del árbol de geometría sólida constructiva para una pieza. Debido a que sólo se pueden eliminar las entidades que se agregan o restan de una pieza base para la simulación, la función atribuir a la parte básica o dimensiones específicas de la misma puede no ser inducida. Además, con gran parte del detalle geométrico relacionado con el ensamblaje y la funcionalidad de conformar chapa que no se simula, gran parte de la geometría seguirá siendo un misterio para el sistema. Por último, dado que la eliminación de una característica geométrica puede dar lugar a un comportamiento nulo, la asignación de la geometría al comportamiento puede resultar difícil. Como resultado, estos esfuerzos basados en características refuerzan la práctica de la ingeniería inversa realizada por el ser humano en el nivel de la abstracción. Dado un enfoque práctico para inducir la función de artefactos existentes, los dos pasos restantes implican el almacenamiento de esta información y su recuperación y uso en un nuevo contexto de diseño.

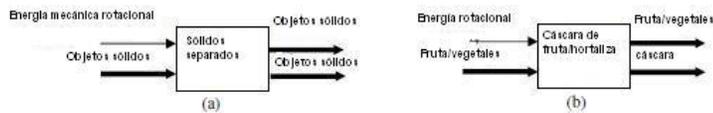


Figura 2.: (a) estructura de la función elegida a partir del modelo funcional de un pelador de frutas y hortalizas utilizando la base funcional. Es difícil interpretar si un sólido está siendo cortado a trozos de dos tamaños diferentes o la cáscara se está retirando; (b) la misma estructura de función recogida en el modelo funcional de un pelador de frutas y hortalizas utilizando texto sin restricciones.

Almacenar la función capturada desde la ingeniería inversa es una proposición sencilla: almacene cada bloque de estructura de función por función y asocie sus flujos de entrada y salida con él. En cuestión, es el lenguaje de expresión para la función y el flujo. La base funcional de Stone et al proporciona un conjunto jerárquico de términos utilizados para describir la función y el flujo. En el lado de la función, hay ocho clases de funciones principales, cada una con subclases y sinónimos asociados. La codificación tiene lugar en el nivel de abstracción más bajo posible (el sinónimo), con rutas a niveles más altos de abstracción funcional directamente codificadas en el lenguaje. Un motor eléctrico ' convierte la energía eléctrica en rotación mecánica ', un codificador ' detecta la rotación mecánica '. La captura de información de flujo es similar: los tres tipos de flujo principales (material, energía e información) se descomponen en subclases (energía: eléctrica, mecánica, térmica, etc.) que se subdividen aún más (energía mecánica: traducción, rotación, neumática/hidráulica, etc.). La base funcional es principalmente descriptiva; no se asocian modelos de simulación a unidades funcionales, no se prescribe ningún tipo de flujo de entrada o salida para una función determinada. Aisladamente, la representación crea "oraciones" funcionales usando una gramática y vocabulario prescritos. Conectadas entre sí por sus flujos de entrada y salida, las cadenas funcionales producen "párrafos" que definen el subsistema general y la función del sistema. Mientras que la gramática permanece fija bajo el modelo de la función-estructura, podemos variar el lenguaje de expresión dentro y fuera de la base funcional. Dentro de la base funcional, el nivel de abstracción para cada frase funcional puede ser variado: limite los resúmenes para regular que abstrae aún más para controlar la magnitud. La abstracción se puede variar en función, flujo o en ambos. Además, podríamos optar por no utilizar la base funcional en absoluto, en lugar de utilizar texto libre para el vocabulario de la estructura de la función. Verma y Wood [2003] exploran estas posibilidades utilizando métricas de recuperación de información para evaluar su rendimiento. En una base de unos 50 artefactos de ingeniería inversa (aproximadamente 1000 funciones totales), las unidades

funcionales dibujadas aleatoriamente se presentaron a la base de datos para la recuperación de funciones "like". La relevancia del conjunto de recuperación fue determinada por un grupo de expertos en diseño que utiliza la orientación general: ¿el conocimiento de la unidad funcional recuperada ayuda en el diseño de la unidad funcional de destino? Las dos medidas comunes de rendimiento de recuperación son la precisión (es decir, la fracción de las funciones recuperadas relevantes para la función de destino) y la recuperación (es decir, la fracción de todas las funciones relevantes que están en el conjunto de recuperación). Se utilizaron tres niveles de abstracción para el experimento de recuperación: texto libre, base funcional de bajo nivel, (ambos ilustrados en la figura 2 para un pelador de frutas/verduras) y base funcional abstracta 'familia' (es decir, incluyendo los padres jerárquicos y abuelos ' de la función y el flujo). La expectativa es que la expresión más genérica de la función, el nivel más abstracto de expresión de base funcional, tendría la mayor recuperación pero la precisión más baja y que la expresión más específica (texto libre) tendría la más alta precisión, pero la menor recuperación. Las pruebas se ejecutaban recuperando por función, flujo y flujo de función ' oraciones ', variando la abstracción de la expresión. La figura 3 muestra un interesante patrón de resultados para el que el rendimiento ideal está en la esquina superior derecha:

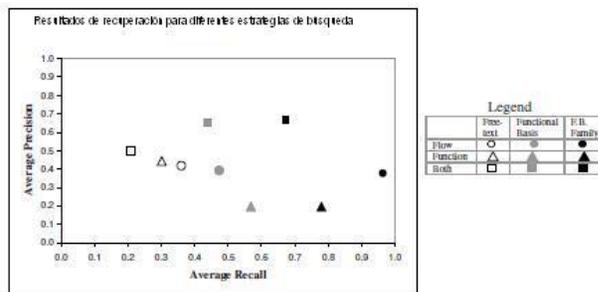


Figura 3. La recuperación promediada genera más de diez consultas. Pareto-optimalidad de precisión y la recuperación deben tenerse en cuenta en la comparación (punto óptimo en la parte superior derecha).

1. Como se esperaba, el texto libre produce una buena precisión, pero con un llamado bajo.

2. Aumento de la abstracción de texto libre a base funcional y luego a la base funcional familia mejora aún más la recuperación, pero no produce la disminución esperada en la precisión para el flujo o la función + flujo.

3. Se alcanza el mejor rendimiento para funciones y flujos altamente abstractos, impulsados en gran medida por el alto rendimiento de recuperación del componente ' Flow '. Estos hallazgos se aplican a la recuperación de la función almacenada y consultada en el ' nivel de partes ' de la abstracción del diseño. En un estudio paralelo de recuperación, a través de los niveles de abstracción de diseño, Gietka et al. [2002] consultan la base de datos a nivel de partes utilizando representaciones más abstractas de la función: el nivel de "caja negra" donde las entradas, la función y las salidas se enumeran pero no están conectadas y ' diseño ' donde se especifican las trayectorias de flujo/función preliminares dentro del sistema. Encuentran un rendimiento de recuperación extremadamente deficiente (cerca de cero recall y precisión) para la mayoría de las representaciones, pero una buena recuperación en las consultas de solo flujo (aunque con baja precisión).

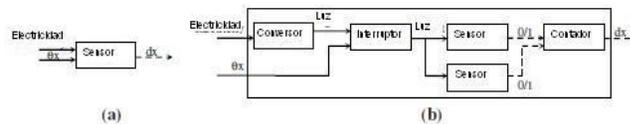


Figura 4. Estructuras de función para la generación de desplazamiento (DX) de un ratón de ordenador dado el desplazamiento angular ( $\theta x$ ) de la 'pelota': (a) una función abstracta; (b) la unidad funcional real en el ratón de bola, ingeniería inversa a nivel de 'partes'.

La figura 4 ayuda a explicar este resultado mostrando la función de "sentido" del nivel de caja negra dentro de un ratón mecánico de computadora en los niveles de abstracción "diseño" y "partes". La ingeniería inversa en el nivel de "partes" está en línea con la noción de comportamiento de Gero derivada de la estructura; examinar el objeto real proporciona un marco mecanicista desde el que se construye la función. Sin el conocimiento de la mecánica subyacente, la estructura de la función ' diseño ' codifica el comportamiento previsto. Los principales vínculos entre las dos representaciones son la identificación de los flujos primarios dentro y fuera del subsistema; la estructura, la conectividad e incluso la presencia de flujos adicionales dentro de la representación de nivel de piezas difieren entre los dos niveles (y en diferentes diseños). Verma y Wood examinan más esta cuestión desarrollando y probando métodos para extraer estructuras abstractas de estructuras de función a nivel de ' partes ' codificadas en el vocabulario de la base funcional. Dentro de una estructura de funciones, la ' estructura ' proviene en gran medida de la información de flujo: cómo los flujos entran en el sistema, los nuevos flujos creados dentro del sistema a través de

transformaciones, donde los flujos se unen o dividen. Todo esto establece la topología general de la función-estructura sin mucha preocupación para la descripción funcional subyacente. Se estudiaron varios enfoques para agregar la función de bajo nivel en estructuras más abstractas:

1. Modularidad del producto — Stone et al [1999] proponen reglas heurísticas para extraer posibles módulos físicos de las estructuras de función. La idea es identificar subestructuras cuyas funciones se aislen fácilmente del resto del diseño.

2. Especificación del producto: similar al enfoque de McAdams y Wood, la agregación se centra en las cadenas funcionales estrechamente relacionadas con las medidas clave del rendimiento del diseño. La idea aquí es que las funciones que tienen una gran influencia en la satisfacción del cliente son las partes más críticas de un diseño.

3. entrada/salida: Las unidades funcionales se contraen desde el exterior, a lo largo de los flujos que entran y salen del sistema como un todo. Estos capturan la estructura general del diseño identificando los puntos de interacción para los flujos principales del sistema.

4. Los flujos internos — los flujos que están presentes solamente en el interior del sistema se agregan de adentro hacia afuera. Los flujos internos no forman parte del requisito general de diseño, son introducidos por el diseñador y, como tal, representan la toma de decisiones de diseño.

5. Distancia: las funciones se agregan alrededor de cada unidad funcional en distancias sucesivamente mayores. Este método de agregación de fuerza bruta es un súper conjunto de todos los otros métodos. En el proceso de agregación funcional, la víctima principal es "función": como las cadenas funcionales y las redes están encapsuladas, los términos que describen las funciones individuales pierden significado. Sin embargo, basado en estudios de recuperación a nivel de partes, esto puede no ser un problema tan grande como pareciera. Los dos conjuntos de estudios mostrados en la figura 5 se realizaron en la base de datos de estructuras de función agregadas (ahora con unas 30.000 unidades "funcionales" totales) hacia la recuperación utilizando funciones más abstractas como consultas. Construyendo desde el nivel más bajo, las primeras funciones usadas desde menos estructuras de función de nivel de diseño abstractas (similar al estudio de Gietka et al.); para estos,

la agregación IF resulta superior a todos los demás métodos. La segunda utilizaba funciones de nivel de caja negra muy abstractas para las que el rendimiento de recuperación era bueno tanto para la agregación de entrada/salida (I/O) como para la agregación de flujos internos (si, un súper conjunto de e/s). En conjunto, estos estudios demuestran que la recuperación por patrón de flujo sobre las funciones agregadas de IF derivadas de la ingeniería inversa a nivel de piezas es un medio viable para computarizar la experiencia de "función" de ingeniería que requiere el modelo de diseño FBS de Gero.

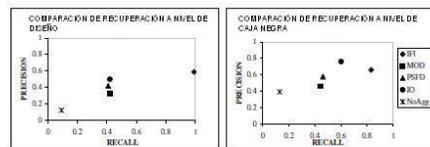


Figura 5. Comparación de la recuperación entre las diferentes técnicas de agregación tanto en el diseño como en el nivel de caja negra. La misma leyenda es válida para ambos (F = método basado en flujos internal, MOD = basado en módulos, PSFD = funcionalidad de especificaciones de producto descomposición, IO = flujos de entrada-salida basados en métodos, NoAgg = sin agregación).

La figura 4 proporciona una demostración simple de la agregación funcional IF. Dos subsistemas de diseño con la misma funcionalidad se diseñan en reversa al nivel de abstracción de las 'partes'. Función-la estructura (a) muestra un codificador fuera de la plataforma; estructura de función (b) se deriva de un diseño en el que se utiliza un conjunto de piezas personalizadas para medir la rotación de un eje. Cada uno cumple la misma función. Al contraer los flujos internos a la función-estructura (b), se obtiene el mismo patrón de flujos de entrada/salida que en la función-estructura (a). Al dirigir al diseñador a ambas estructuras de función, estamos apoyando la toma/compra de decisiones en el núcleo del diseño de detalles. Sin agregación, estos dos no responderían generalmente a la misma consulta. También es evidente la importancia del patrón de flujo de entrada/salida: la rotación entra, la información sale. Evidentemente, el término funcional «medida» (que no aparece en la estructura de la función (b) y no podía ser inducido razonablemente en su agregación) está implícito en la estructura de flujo de la función agregada. Al intentar capturar y codificar la función, como Stone et al., parece obvio que uno debe concentrarse en la función. Los resultados anteriores indican que la función es más difícil para los ingenieros inversos, para acordar que los flujos son y que, como las estructuras de función se agregan a partir de su bajo nivel, codificación de ingeniería inversa, la función es difícil de combinar. Centrándose más directamente en el componente de flujo de las estructuras de función, un estudio final busca

mejorar una debilidad deslumbrante en la representación del flujo dentro de la base funcional: "objetos sólidos". Los sólidos representan alrededor del 70% de los flujos de material en la base de datos de ingeniería inversa, pero la base funcional no puede diferenciar fácilmente un objeto sólido de otro. Dentro de los artefactos, los sólidos pueden atravesar (en cuyo caso son manejados por el artefacto) o pueden ser modificados por el artefacto (por ejemplo, la patata separada en una patata pelada y pelar en la figura 2). Tiene sentido que los objetos sólidos de tamaño y forma similares serían manejados por medios similares. También tiene sentido que estos objetos respondieran físicamente a este manejo de maneras similares. Verma et al., añadir tres parámetros a cada sólido: **tamaño** (calculado como volumen total); **forma** (basado en la tecnología de grupo de clasificación de complejidad de las clasificaciones de revolución, prismática o delgada- artefactos de pared [SWIFT y Booker, 1997]); y el **modelo mecánico** (basado en los tipos de modelos mecánicos de conchas, placas, vigas, sólidos, etc.). La figura 6 muestra los resultados de recuperación en la base de datos de función agregada IF para varias funciones basadas en diferentes codificaciones de sus flujos de material de entrada y salida. Si bien no muestra un mejor parámetro adicional claro para aumentar los objetos sólidos, muestra mucha mejor precisión y recuperación en comparación con los flujos sólidos no aumentados. Resumen del cómputo de la función en el marco de la función estructura de Pahl y Beitz:

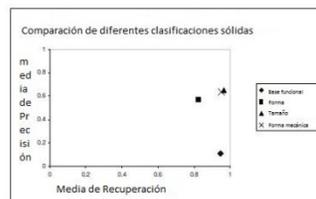


Figura 6.- Los resultados de las consultas realizadas para materiales sólidos que fluyen desde la base de casos. Se presentan los promedios de precisión y recuperación sobre las diferentes clasificaciones.

1. las estructuras de función proporcionan un formalismo flexible que abarca los niveles de abstracción desde justo debajo de las necesidades del cliente hasta justo por encima de la estructura del artefacto.

2. La computación sobre las estructuras de función es difícil; su flexibilidad permite la expresión de cualquier función, pero no admite fácilmente el modelado físico del sistema. Un vocabulario controlado para expresar las estructuras de función ayuda en la computación.

3. Los artefactos de ingeniería inversa para crear estructuras de función son más consistentes cuando se realizan en el nivel de abstracción de las 'partes'.

4. Las estructuras de función a nivel de piezas, independientemente del vocabulario utilizado para codificarlas, son difíciles de recuperar en etapas de diseño más abstractas.

5. Los estudios de recuperación que varían el vocabulario controlado, la abstracción funcional, la agregación de funciones y la representación de flujo refuerzan la importancia del "flujo" en contraposición a la "función" en la función informática.

### 3,3 Función de mapeo a estructura: Andamiaje.

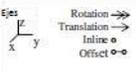
Las estructuras de función se utilizan para pasar de nociones socioeconómicas abstractas del comportamiento previsto a representaciones vinculadas estrechamente con el comportamiento físico. La ingeniería inversa proporciona una base de "comportamiento en contexto" descompuesto: un conjunto de bloques de creación que conducen directamente a las partes cuyo comportamiento físico se puede predecir. Pero el paradigma de diseño basado en casos sugerido por Gero et al., y asumido en la discusión anterior de recuperación de casos ofrece sólo la forma más débil de los modelos-abstracciones de piezas que se han hecho y combinado en el pasado. A medida que la computación funcional avanza más estrechamente al comportamiento físico real de las partes implicadas en los casos de diseño, debe adoptar representaciones que ofrecen formas más sólidas de razonamiento: principios físicos. Dado que los primeros principios físicos son más útiles para simular el comportamiento de un diseño totalmente especificado, las representaciones deben interligar entre los flujos de estructuras de función y los componentes con sus modelos de comportamiento. Este puente se construye como parte del proceso de ingeniería inversa. La agregación IF primero 'contrae' cadenas largas sobre las cuales el sub-tipo de un flujo no cambia (por ejemplo, la magnitud de cambio de energía rotacional, dirección, y/o posición en un diseño). La estructura "núcleo" restante del dispositivo, a continuación, contiene transformaciones a través del tipo de flujo (por ejemplo, energía a la información) o el subtipo de flujo (por ejemplo, energía eléctrica a la energía mecánica). Tales transformaciones se logran típicamente por fenómenos físicos (en este contexto, un fenómeno es un efecto físico elemental que cambia los dominios energéticos, por ejemplo la

generación de voltaje en respuesta a la luz en una célula fotovoltaica). El proceso de abstracción continúa contrayendo las transformaciones restantes hasta que solo permanecen los flujos de entrada y salida de nivel de caja negra (y su estructura). En cada punto del proceso, el diseño abstracto se introduce en la base de datos como una estructura de transformaciones de flujo de entrada/salida. De manera similar, Sycara et al. [1991] porciones de soluciones de diseño generadas en CADET como relaciones cualitativas sobre un conjunto canónico de parámetros de flujo físico, reduciendo el esfuerzo de diseño mediante la compilación de subsistemas comunes como comportamiento encapsulado. Las consultas sobre esta base de datos devuelven estructuras de flujo parciales que se pueden expandir en diseños más completos. El primer modo de expansión identifica los fenómenos físicos utilizados para puentes de tipos de flujo especificados como entradas/salidas del sistema. Mediante la introducción de tipos de flujo no presentes en la especificación de diseño, la elección de los fenómenos representa decisiones de diseño significativas no implícitas directamente por las especificaciones de diseño. La base de la caja de ingeniería inversa puede ser una herramienta eficaz para la gestión de la generación de diseños: centrándose en las transformaciones de flujo útiles en el pasado, produce buenos puntos de partida para el trabajo de diseño adicional. Sin una base experiencial para usar como guía, podríamos interponer un número infinito de fenómenos físicos entre el flujo de entrada y salida. La falta de capacidad de modelado en las estructuras de función genera topologías de diseño candidatas, sin tener en cuenta las magnitudes de los flujos que entran o salen del fenómeno. Para completar estos diseños, los componentes de un solo dominio se pueden introducir en los flujos para cambiar la magnitud, la dirección, la subclase de flujo o la posición de los flujos requeridos para que coincidan con los generados o consumidos por los fenómenos designados. Los componentes típicos del dominio mecánico incluyen pares de engranajes, correas en v, tornillos de plomo, vinculaciones, etc. Kota y Chiou [1992; 1999] proponen un método para el diseño del mecanismo mecánico en el que cada componente se representa mediante un mapeo de matriz cartesiana traslacional y transformaciones de flujo de entrada/salida rotacional para una biblioteca de componentes. La información secundaria como la reversibilidad, la linealidad y los rangos de ganancia acompañan a la matriz de transformación básica para el modelado conductual básico del sistema resultante. Dentro de una representación cartesiana similar, Chakrabarti y Bligh [1994; 1996a; 1996b], agrega información espacial como desplazamientos de eje al modelado de comportamiento de flujo mecánico. Los modelos de física cualitativa de CADET también operan sobre

variables cartesianas. La tabla 1 muestra representaciones para un catálogo de componentes mecánicos que transforman la rotación en traducción, cambiando el sub-tipo de energía mecánica (este es un subconjunto de unos 40 componentes identificados en el dominio mecánico de energía). En este caso, un fenómeno que transforma la energía eléctrica en energía mecánica (es decir, un motor eléctrico) ha sido identificado como una posible solución de diseño para un ratón de ordenador de retroalimentación de fuerza (también se genera un fenómeno de motor lineal adicional, pero el caso base 'prefiere' motores rotatorios). La energía rotacional debe transformarse en energía traslacional a lo largo de los dos ejes de movimiento para el ratón. Las tres representaciones mostradas en cada ayuda componen los componentes y simulan el comportamiento del sistema mecánicamente, espacialmente y/o cualitativamente. El encadenamiento de múltiples componentes (rotacional-rotacional antes de estos o traslacional- Traslacional después de estos) puede reparar la fuerza del sistema o el comportamiento de desplazamiento inadecuado.

Los gráficos de bonos ofrecen una alternativa a estas representaciones para modelar la energía mecánica. Usando una extensión de circuitos eléctricos, los gráficos de bonos modelan el flujo de energía generalizado usando análogos mecánicos/fluidos a resistencia, capacitancia e inductancia, así como motores y transformadores. Conectan estos elementos básicos con arcos que representan ' corriente ' y/o ' voltaje ', produciendo una red entre dominios cuyo comportamiento es fácilmente simulado. Hoover y Rinderle [Hoover y Rinderle, 1989] utilizan una gramática para encadenar estructuras de gráficos de bonos, probando los resultados contra el comportamiento deseado. Limitar la representación a los flujos de energía permite a los gráficos de bonos modelar el comportamiento transitorio del sistema, una capacidad inigualable por las estructuras de función. El precio pagado por esta potencia es una dificultad que coincide con la parte de la funcionalidad "intención". Para abordar esto, Ulrich y Seering [Ulrich y Seering, 1989] fusionan gráficos de bonos con estructuras de función para desarrollar nuevos sensores y actuadores. Aunque los gráficos de bonos caen firmemente en el lado del cálculo del comportamiento en lugar de representar la función, proporcionan una visión útil de los flujos de energía: dividiendo las variables energéticas en esfuerzo (voltaje, fuerza, presión) y flujo (corriente, velocidad, flujo de fluido) las categorías se adoptan por la representación de base funcional.

Tabla 1.- Configuración de diseño de Bloques de construcción

Unidad funcional	Kota et al.	Chakrabarti & Bligh	CADET
Clave	In: $\{x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2\}$ Out: $\{x_2, y_2, z_2, x_1, y_1, z_1\}$ C: $\{cos, sin, cos, \{r, \theta\}\}$		$A = B^T$ A es una función creciente de B
Deslizador de manivela	In: $\{0, 0, 0, 1, 0, 0\}$ Out: $\{0, 1, 0, 0, 0, 0\}$ C: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$		$T_y = R_x^+$
Tornillo de plomo	In: $\{0, 0, 0, 1, 0, 0\}$ Out: $\{0, 0, 0, 0, 0, 0\}$ C: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$		$T_x = R_x^+$
Rejilla y piñón	In: $\{0, 0, 0, 1, 0, 0\}$ Out: $\{0, 1, 0, 0, 0, 0\}$ C: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$		$T_y = R_x^+$

En general, las estructuras de función proporcionan mejores modelos para sistemas con tipos de energía de "flujo" porque se puede predecir la dirección de este flujo; "esfuerzo" a menudo actúa en paralelo a través de varias sub-funciones, lo que hace que sea más difícil modelar como un flujo de estructura de función. La distinción entre representaciones útiles para la función de computación, como comportamiento previsto y aquellas que calculan el comportamiento de la estructura es importante en el diseño. El uso de componentes de un solo dominio como bloques de creación, como los de la tabla 1, produce topologías de componentes parametrizados cuyos modelos se pueden componer para producir modelos generales de comportamiento del sistema. El comportamiento final del diseño requiere un diseño paramétrico adicional para seleccionar el conjunto correcto de componentes reales (un proceso de optimización) respondiendo al comportamiento deseado (expresado como una función objetiva). La composición de componentes y la evaluación de su comportamiento ideal es solo un paso en el camino hacia un diseño; el comportamiento real depende fuertemente de cómo estas unidades funcionales están conectadas entre sí y/o a una referencia común.

### 3.4.- Mapeo de la función concreta para diseñar detalles.

Además del comportamiento previsto desde el punto de vista de la estructura de función, se encuentran nociones adicionales de función durante todo el ciclo de vida del producto. El artefacto debe ser fabricado; el valor del cliente en la fabricación generalmente significa prescribir formas y materiales que son fáciles de producir y fácil de montar. El artefacto debe ser distribuido; valor de cliente aquí

significa que es fácil de enviar, almacén y exhibición. El artefacto debe ser mantenido y reparado; valor del cliente implica procedimientos de mantenimiento más simples, así como fácil diagnóstico y reparación de problemas. Finalmente el artefacto debe ser retirado; valor del cliente significa una larga vida útil (tal vez con actualizaciones planificadas) y un bajo impacto ambiental (reduciendo materiales tóxicos, aumentando el contenido de reciclaje, haciendo que los materiales sean fáciles de separar, etc.). La mayoría de estos aspectos de la funcionalidad no se capturan en la fase de la función-estructura. La mayoría no se modelan utilizando principios primarios. La mayoría requiere estructura en forma de geometría de pieza final, material y secuencia de ensamblaje para predecir el comportamiento de la estructura. Para muchas de las partes de los clientes del ciclo de vida son partes, la función del usuario final desempeña poco papel en el rendimiento. Nos centraremos en la fabricación como ejemplo de un "cliente" del ciclo de vida. La funcionalidad en la fabricación es genérica: las piezas deben formarse a partir de materias primas y deben montarse en un artefacto final. Los procesos básicos para modelar piezas son la deformación, la solidificación y la eliminación de materiales; estos procesos implican una funcionalidad adicional; por ejemplo en procesos de solidificación, el material es fundido, introducido en un molde, se solidifica, se retira del molde, y se limpia y se procesa en una parte final. La geometría de la pieza debe diseñarse para que cada uno de estos pasos se cumpla eficazmente. Una vez formadas las piezas, se ensamblan en el artefacto final; procesos de ensamblaje genérico identifican una pieza, la agarran, la orientan, la insertan y la sujetan al artefacto. Una vez más, la geometría de la pieza desempeña un papel importante en la facilidad con la que se realiza cada paso. Los detalles de diseño impulsan la funcionalidad de fabricación; representación de estos detalles es típicamente en la geometría computacional subyacente del software CAD. Al igual que con el texto en el nivel más alto de abstracción, la geometría computacional puede representar prácticamente cualquier forma que se pueda imaginar; no todas estas formas se pueden fabricar. Por lo tanto, el paso de generación debe estar sesgado hacia la creación de una forma fabricable, operando sobre una representación que encarna la experiencia del mundo real. De nuevo, la ingeniería inversa puede proporcionar esta experiencia en forma de información de geometría, procesamiento y ensamblaje de piezas. Los detalles de diseño sirven (en nuestra discusión actual) dos maestros: función del sistema y función de fabricación. La entrada hacia la generación de detalles de diseño es un conjunto de componentes (incluida la geometría parcial) y su topología. Desde el punto de vista de la función del sistema, el diseño de entrada al detalle es

una topología de componentes (incluida la geometría parcial), así como restricciones de movimiento relativas entre sí y a un "terreno" mecánico (normalmente) indefinido. Desde el punto de vista de la fabricación, cada uno de estos componentes debe ser formado y luego montado en el artefacto. Roth [1987] ha catalogado conexiones entre componentes mecánicos mediante el modelado de 'contacto' entre ellos. Matrices de contacto similares a las matrices de transformación propuestas por Kota et al., definen el comportamiento de una geometría dada: tres filas corresponden a los ejes y, x y z, cuatro columnas denotan libertad de movimiento general (por una entrada binaria: 1 para fijo, 0 libre) en positivo y la traducción negativa y la rotación positiva y negativa para cada eje. En un nivel de detalle más fino, las matrices de tipo de contacto reemplazan las entradas libres/fijas genéricas con códigos más específicos para el tipo de libertad/accesorio: forma, gravedad, fricción, misma parte, rigidez, etc. Al igual que en los niveles más altos de abstracción, las representaciones para generar diseños (contacto) son más abstractas que las representaciones para modelar su comportamiento (tipo de contacto). Las representaciones de Roth ayudan a generar el nivel de función más detallado al proporcionar un mapeo del movimiento a la forma. Una vez más, no hay una teoría general para realizar este mapeo, por lo que las piezas de ingeniería inversa son catalogadas por matriz de contacto, tipos de contacto definidos para cada interfaz que soportan el movimiento que permiten (p. ej., juntas de flexión dentro de una sola pieza). Estas interfaces y funciones desempeñan un papel importante en la realización de la funcionalidad de los mecanismos especificados en los niveles más altos de abstracción al proporcionar uniones cinemáticas tanto dentro como entre componentes. Debido a que la función de fabricación es genérica, el comportamiento se captura en términos del proceso de conformado (p. ej., fundición/moldeo, forja, mecanizado), ejes de proceso primarios y secundarios (p. ej., eje de separación de moldes, plano de fijación para mecanizado), número de tolerancias características [Fagade y Kazmer, 1999], y ejes de montaje primarios y secundarios. Toda la información espacial se define en relación con los ejes funcionales de la matriz de contacto para asegurar la orientación de la pieza portátil. La tabla 2 muestra una representación típica del catálogo para un único grado de libertad de articulación rotacional, como la requerida en el mecanismo del deslizador de manivela de la tabla 1.

Tabla 2.- Detalle de construcción de los bloques de diseño

Conexiones de juntas DOF únicas					
Matriz de contacto = $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ (sejende : $\begin{bmatrix} x+ & x- & xx+ & xx- \\ y+ & y- & yy+ & yy- \\ z+ & z- & zz+ & zz- \end{bmatrix}$ )					
Tipo de contacto	Forma	# Parte	eje del proceso		Eje asistido
			Parte	Conexión / Referencia	
$\begin{bmatrix} s & s & E & E \\ s & s & s & s \\ s & s & s & s \end{bmatrix}$		1			
$\begin{bmatrix} f & f & r & r \\ f & f & f & f \\ f & f & f & f \end{bmatrix}$		2			
$\begin{bmatrix} f & f & r & r \\ f & f & f & f \\ f & f & f & f \end{bmatrix}$		5			

El comportamiento de fabricación y montaje (es decir, la complejidad de la pieza y la facilidad de montaje) puede ser "simulado" sin conocimiento de la geometría de la pieza final a través de un simple proceso de conteo del número de piezas requeridas, el número de entidades para cada parte, y el número de ejes de proceso y de ensamblaje primarios y secundarios. Las entradas de diseño de detalle son catalogadas por matriz de contacto, pero cada una tiene su propio tipo de contacto, recuento de piezas, eje formador de piezas y eje de ensamblaje. Las interfaces de matriz de contacto con la función de componente, el tipo de contacto contiene tanto el comportamiento físico y de fabricación detallado de cada articulación de ingeniería inversa dentro del sistema. El diseño de detalle alimenta el comportamiento físico de nuevo para informar a los modelos de componentes ideales con comportamiento real. Por ejemplo, la entrada superior de la tabla 2 utiliza una sola pieza para la articulación en el deslizador de manivela. Esta flexión trae consigo una constante de resorte — un ratón de retroalimentación de fuerza con un deslizador de manivela elástica naturalmente se auto-centra, un comportamiento físico no deseable que es un efecto secundario de buen comportamiento de fabricación. Todas las demás opciones producen diferentes grados de fricción o juegan en la articulación, causando un arrastre en el movimiento del ratón o la reacción violenta en su movimiento.

#### E.4.- RESUMEN.

Hemos rastreado la representación de la función desde sus orígenes en las necesidades del cliente, hasta la caja negra de los flujos de entrada/salida que estas necesidades implican, a varios niveles de abstracción en las estructuras de función, a la identificación de fenómenos físicos para el dominio cruzado de transformaciones,

a los modelos generativos de primer principio para las transformaciones de flujo dentro del dominio, a los modelos de formación y ensamblaje de piezas para el diseño de detalle. Las representaciones dentro de cada etapa existen en varias abstracciones: una representación abstracta responde al comportamiento previsto generando una posible estructura, generalmente a través de una asignación basada en la experiencia; cada estructura posible genera abstracciones de comportamiento de diseño para que se puedan identificar y rectificar las discrepancias entre la intención y el comportamiento. Las representaciones en diferentes etapas ofrecen diferentes compensaciones entre la capacidad de generar diseños y la capacidad de modelar los diseños generados. En los niveles más abstractos, el modelado solo puede verificar entradas y salidas apropiadas: el comportamiento real del sistema está oculto en los "significados" semánticos de las funciones. Dado que el modelado solo se relaciona con los flujos en esta etapa, ¿cuál es el uso de la función de captura? Además, los principales métodos de captura de la función lo hacen a un nivel tan detallado que la función general del sistema (el bosque) está oculto por las funciones detalladas requeridas para lograrlo (los árboles). Parece bastante extraño que, incluso en este nivel más alto de abstracción, es difícil codificar 'función' en el lenguaje del diseñador y difícil de aplicar 'función' como se deduce por el ingeniero inverso de una manera rigurosa. En los niveles más bajos de abstracción, la 'función' se pierde casi por completo a medida que las representaciones aplican representaciones más formales, modelando la transformación del flujo de entrada en el flujo de salida. La pregunta entonces plantea- ¿es función como el comportamiento previsto útil en cualquier nivel o el comportamiento previsto, sólo plantean objetivos que se satisfagan a través de la búsqueda y verificado a través de la simulación estructural?

#### E.5.- CONCLUSIONES.

Gero define la función como el comportamiento previsto y propone un proceso de diseño en el que la experiencia se utiliza para: identificar el comportamiento que puede proporcionar valor dentro de un contexto socioeconómico especificado, componer sistemas que prometen entregar tal comportamiento, y, desde el estructura de estos sistemas, predecir qué aspectos del comportamiento del sistema son contrarios a proporcionar valor. La noción subyacente es que la estructura es el nivel básico de abstracción y que el comportamiento se puede predecir a partir de la estructura. Algunos han observado inconsistencia en la descripción del modelo de diseño de la función-comportamiento

de la estructura de Gero [Dorst y Vermaas, 2005], encontrando una distinción borrosa entre representaciones conductuales y estructurales. Uno de los temas para la producción de modelos computacionales del proceso de diseño es que las representaciones rígidas y manipulaciones formales requeridas para la computación a menudo elucidan los caprichos de un proceso muy humano. En el caso del diseño, el proceso humano implica una progresión natural en la que el comportamiento abstracto previsto conduce a la estructura abstracta. Esta estructura proporciona información adicional sobre el comportamiento, que ayuda a identificar candidatos para un mayor refinamiento del diseño en niveles más bajos de abstracción: una evolución continua de la función, la estructura y el comportamiento en cada nivel de abstracción. Las representaciones dentro del diseño de ingeniería utilizan la abstracción para ocultar una progresión de las cadenas de comportamiento necesario-función-estructura-. Las representaciones específicas requeridas de un diseño son altamente dependientes del problema/dominio/solución no puede haber representación genérica del diseño porque el sesgo representacional se requiere [Mitchell, 1997] para destilar la experiencia y revertir su mapeo de nuevo sobre Estructura. La búsqueda en el diseño computacional se define mediante dos medidas: la integridad: la capacidad de generar todas las soluciones de diseño posibles; y solidez, la capacidad de evitar la generación de diseños que no son soluciones a la situación dada. Sólo en los mundos matemáticos puros puede uno tener ambos, en el diseño debemos intercambiar entre la integridad y la solidez. El proceso de diseño recursivo de generación-prueba, es una adaptación para la búsqueda computacional: favorecer la integridad al buscar inicialmente en un espacio de diseño abstracto para que se generen tantos diseños como sea posible y se asignen a soluciones menos abstractas, garanticen una medida de solidez al 'simular' estas soluciones y descartar diseños no factibles o ineficaces. Este es un caso de buenas noticias/malas noticias para el diseño computacional. La buena noticia es que podemos identificar un proceso general para el cálculo del diseño y tomar medidas para darse cuenta en dominios circunscritos en niveles definidos de abstracción. Al hacerlo, podemos esperar mejorar el rendimiento del diseño, mediante la búsqueda de conjuntos de soluciones mucho mayores de lo que puede ser explorado por un diseñador humano. La mala noticia es que las representaciones requeridas para este proceso, al menos en los niveles intermedios, son específicas del dominio. Además, el nivel de conocimiento "combustible" de diseño no viene de teorías bien definidas, sino de la experiencia adquirida mediante la evaluación de las simulaciones de "mundo real" de las soluciones de diseño.

## F.- RACIONALIDAD EN EL DISEÑO

Racionalidad EPIST.

(del latín ratio, cálculo y, en sentido derivado, razón, explicación, justificación, argumentación, teoría) Capacidad humana que se manifiesta en las creencias, las decisiones y las conductas que se consideran acordes con la razón, o simplemente racionales. Algo es conforme a la razón si se adecua a la función primaria del entendimiento humano, que es el conocimiento o el saber, o a la obtención de los diversos fines que el hombre se propone en sus actuaciones y, sobre todo, de su fin último. En el primer caso se habla de racionalidad en las creencias o de racionalidad teórica y, en el segundo, de racionalidad práctica. En el aspecto teórico, la racionalidad se entiende, no tanto como la capacidad de pensar o de ser racional, sino más bien como el método con que se consigue obtener un máximo de creencias racionales verdaderas reduciendo al mínimo el número de creencias erróneas (ver texto ). La racionalidad coincide, en este caso, con la llamada creencia racional que consiste sustancialmente en tener y mantener opiniones o creencias justificadas, esto es, apoyadas en razones. Una creencia está teóricamente justificada si

- a) Se fundamenta en una deducción o es una verdad analítica
- b) Se apoya en pruebas concluyentes: la propia experiencia el conocimiento científico, la autoridad fiable, o el testimonio de los demás y
- c) Si, además de ser un enunciado de a) o de b), es consistente con otras creencias racionales.

La racionalidad teórica exige sostener como verdadera aquella opinión que creemos que es fundadamente verdadera, rechazar la que creemos falsa o no fundada en razones y abstenernos de opinar en aquello que no sabemos si es verdadero o falso, no habiendo razones para sostener más lo uno que lo otro.

La insistencia en que la racionalidad es un método, más que una facultad, pone de relieve no sólo que la sustancia de la racionalidad consiste en la decisión o el saber tomar decisiones, sino también que las creencias, las decisiones y las conductas humanas pueden ser y pueden no ser racionales. En este sentido, el hombre no es, pues, propiamente el animal racional, sino «el animal que es racional o irracional» (ver cita).

Además de la racionalidad teórica en general (individual), existe la racionalidad científica en particular (colectiva). La ciencia no es la única creencia racional, pero es la más racional de las creencias y modelo de toda creencia. Aunque entre los epistemólogos se discute acerca del fundamento en que se apoya la racionalidad de la ciencia, esto es, de la justificación del

conocimiento, a las razones en que se apoya el conocimiento científico se las denomina contexto de justificación de las hipótesis. Las tres clases de justificaciones fundamentales de las hipótesis científicas son el inductivismo, el deductivismo y el abductivismo.

La racionalidad práctica, entendida también como método o estrategia, es el razonamiento práctico con que se sabe determinar los fines adecuados y los medios adecuados. No es, por consiguiente, una mera discusión acerca de qué medios son los más útiles para obtener los fines propuestos, sino también la consideración reflexiva acerca de qué tipos de fines se propone el sujeto humano, cómo se subordinan o restringen los fines entre sí y respecto del fin último o superior, que es innegablemente la felicidad del individuo, o si acaso son mutuamente inconsistentes. De la racionalidad práctica, en general, trata la ética.

Característica intrínseca de la racionalidad es la revisión crítica y constante de las propias creencias racionales y de las conductas o actitudes basadas en ellas. Según una larga tradición que ya empieza en Aristóteles, la racionalidad práctica supone, y depende de, la teórica.

En general, se entiende que alguien es racional si basa sus creencias, sus decisiones y su conducta en buenas razones. Y a esta teoría de la racionalidad se la llama «teoría de la elección racional». Se la acusa, no obstante, de ser una racionalidad instrumental, esto es, limitada a escoger los medios adecuados para los fines queridos. Frente a ella, se propone una racionalidad completa, integral.

#### F.1.- INTRODUCCIÓN (Peter Kroes, Maarten Franssen and Louis Bucciarelli)

El diseño de ingeniería tiene muchas caras, que van desde el diseño casi exclusivamente, funcionalmente orientado de nuevos materiales y dispositivos técnicos en campos como la ingeniería mecánica y eléctrica, a proyectos de diseño fuertemente orientados a la estética que pueden ser encontrados en el diseño industrial y arquitectónico. Asimismo, la racionalidad tiene muchas caras, algunas de las cuales están orientadas a campos o disciplinas específicos, como la racionalidad económica, científica y tecnológica, mientras que otras se refieren a concepciones generales de racionalidad, como la racionalidad teórica y práctica. Por un lado, esta situación hace que una discusión de racionalidad en el diseño de ingeniería, no sea una cuestión fácil; por otro lado, puede explicar por qué hay tantas opiniones divergentes sobre el papel de la racionalidad en el diseño de ingeniería. Algunos autores toman racionalidad para ser de suma importancia para el diseño de ingeniería; es una suposición básica de uno de los principales paradigmas en la metodología de diseño que la práctica de diseño de ingeniería es, o debe ser una forma de resolución racional de problemas [Simon, 1969/1996; Dorst, 1997]. Pero también existe un reconocimiento generalizado de la importancia de los diseños innovadores de aspectos artísticos y/o creativos que se supone que no son susceptibles a los métodos

racionales de resolución de problemas. Nuestro objetivo es presentar una visión sistemática de los diferentes tipos de cuestiones de racionalidad que pueden surgir con respecto a la práctica de diseño de ingeniería. La principal pregunta que exploramos es en qué sentido y en qué medida un proceso de diseño puede considerarse un proceso racional. Es una premisa de mucho trabajo realizado en el campo de la metodología de diseño y diseño de ingeniería en sí misma, que la racionalidad desempeña un papel importante en los procesos de diseño, no sólo en el nivel de la organización de los procesos de diseño, sino también en el nivel del diseño de los productos. La idea subyacente es que muchas de las decisiones que se toman en relación con el diseño, independientemente de si se refieren a la elaboración y ejecución del proceso de diseño o al objeto del propio diseño, pueden justificarse sobre la base de razones (argumentos). Se supone que estas razones demuestran que, dado el objetivo del proceso de diseño y dadas las diversas posibles medidas de actuación, es preferible un curso de acción específico sobre todos los posibles, porque conduce de manera más directa o efectiva al objetivo perseguido. Este curso de acción es, entonces, la forma más "racional" de proceder, y un ingeniero 'racional' se supone que debe elegir esa acción. Sin embargo, como vamos a mostrar, la práctica de ingeniería es más complicada de lo que sugiere esta sencilla imagen.

#### F.2.- DISEÑO EN INGENIERÍA.

El diseño de ingeniería, definido por el Consejo de acreditación para ingeniería y tecnología (ABET), "es el proceso de idear un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas. Es un proceso de toma de decisiones (a menudo iterativo), en el que se aplican las ciencias básicas de la ciencia y las matemáticas y la ingeniería para convertir los recursos de manera óptima para cumplir con un objetivo declarado. "Las «necesidades deseadas» mencionadas en este componente, se denominan habitualmente necesidades del cliente. En un proceso de traducción, especificación y reducción, estas necesidades se transforman en requisitos funcionales y de nuevo en las especificaciones de diseño. La lista de especificaciones de diseño, normalmente una lista de parámetros físicos, se puede tomar para ser el indicado objetivo de un proyecto de diseño de ingeniería. Si el objeto diseñado cumple con todas las especificaciones, se supone que es capaz de realizar la función deseada. Si ese es realmente el caso, depende de si la lista de especificaciones de diseño capta adecuadamente los requisitos funcionales. Si, además, hay una buena coincidencia entre las necesidades del cliente y la lista de requisitos funcionales, el objeto diseñado contribuirá a satisfacer las necesidades del cliente. La definición anterior caracteriza las cosas que son diseñadas por los ingenieros muy ampliamente como "sistemas, componentes o procesos". De hecho, tales cosas van desde computadoras producidas en masa hasta plataformas petroleras únicas, desde teléfonos hasta edificios de gran altura, desde componentes hasta sistemas complejos, desde microorganismos hasta software, etc. Correspondientemente también hay mucha variedad en las prácticas de

diseño de ingeniería. En algunas prácticas, la fase de diseño incluye la realización y pruebas reales de prototipos del objeto diseñado, en otros, la fabricación de un espécimen del objeto diseñado no se considera parte de la fase de diseño. En algunos, los criterios estéticos son de suma importancia, en otros no. Algunos proyectos de diseño pueden ser realizados por un solo diseñador, otros requieren grandes equipos multidisciplinarios de ingenieros de diseño. También hay mucha variedad en el tipo de problemas de diseño a resolver. Vincenti [1990, p. 60], por ejemplo, distingue entre diseño normal y radical y entre tareas de diseño altas y bajas en la jerarquía de diseño. A pesar de esta variedad, se pueden distinguir varios tipos diferentes de actividades en los procesos de diseño de ingeniería, a saber;

- Traducción de las necesidades de los clientes en requisitos funcionales y estas de nuevo en las especificaciones de diseño;

- Generación de una gama de opciones viables;

- Selección de una de las opciones; y

- Justificación de la propuesta de diseño final. Estas actividades no son necesariamente linealmente ordenadas a tiempo; procesos de diseño pueden contener muchas iteraciones y bucles de retroalimentación entre estos diferentes tipos de actividades. Una mirada más cuidadosa en el resultado de los procesos de diseño muestra que no es simplemente una descripción de un artefacto técnico, sino que también comprende el manual, es decir, instrucciones que indican al usuario cómo manejar el artefacto técnico de tal manera que realizará su función técnica correctamente. Tanto el manual como el artefacto técnico pueden ser vistos como elementos de un plan de uso. Un plan de uso es una serie de acciones consideradas para lograr un final determinado con la ayuda de un artefacto técnico necesario para ejecutar el plan de uso (para más detalles sobre los planes de uso, véase [Houkes et al., 2002]). Por lo tanto, el diseño de artefactos técnicos por parte de los ingenieros puede verse vinculado a la especificación, o incluso al diseño, de los planes de uso. Si la atención está restringida al objeto a diseñar, el proceso de diseño de ingeniería comienza con una fase en la que una descripción funcional de este objeto se 'traduce' en una descripción estructural. Una descripción puramente funcional de un objeto 'cajas negras' de su estructura interna; se orienta hacia el entorno del objeto y lo describe en términos de relaciones deseadas de entrada-salida. En cambio, una descripción estructural se concentra en las características físicas del objeto. Esto puede tomar dos formas. El resultado del proceso de diseño suele ser una descripción del objeto, el esquemático del artefacto, que especifica todo lo que debe conocerse para poder fabricarlo. Esta descripción se limita a menudo a la especificación de los materiales que se utilizarán y a las propiedades geométricas de los diversos componentes. Implícita en esta descripción está

una descripción estructural del artefacto en otro sentido, que contiene todas sus propiedades físicas y químicas que permiten a los ingenieros de diseño predecir cómo se comportará el artefacto bajo diversas condiciones de entrada. ¿Cuánto del contenido de la caja negra?, es decir, qué parte de las muchas características físicas del objeto bajo diseño, está en la práctica de diseño real ya fijada al principio del proceso de diseño, depende fuertemente de la naturaleza (radical o normal) del diseño de la Tarea. Finalmente, como la definición de ABET lo describe, el diseño de ingeniería es un proceso de toma de decisiones. Esto implica la toma de decisiones en diferentes niveles, en diferentes etapas y sobre diferentes tipos de cuestiones. Hay que tomar decisiones sobre el establecimiento del objetivo del proceso de diseño, la redefinición del objetivo cuando el objetivo original resulta no ser factible, sobre cómo gastar los recursos disponibles, sobre cuántas opciones hay que perseguir, sobre qué opciones soltar porque son demasiado problemáticas, sobre qué opciones seguir desarrollándose porque son prometedoras, sobre qué criterios de evaluación utilizar para hacer la elección final, en qué opción elegir, y así sucesivamente. Estos diferentes tipos de situaciones de decisión, a menudo mal definidas e interconectadas, junto con cambios impredecibles en el contexto del proceso de diseño que pueden afectar a los recursos y a los horarios, hacen que las prácticas de diseño de ingeniería a menudo sean desordenadas e indisciplinadamente dispuestas. ¿Qué espacio para la toma de decisiones racional hay en tales prácticas?

### F.3.- APLICAR NORMAS DE RACIONALIDAD AL DISEÑO EN INGENIERÍA.

Los ingenieros y los metodólogos de diseño están interesados en estudiar la racionalidad en los procesos de diseño principalmente porque esperan y prevén que al explicar y articular las diversas funciones de la racionalidad y aplicando la racionalidad en los procedimientos sistemáticos para diseño, podrán mejorar la práctica del diseño. La noción intuitiva de racionalidad subyacente a esta línea de pensamiento está relacionada con la idea de que hay formas mejores y peores — formas relativamente sistemáticas y relativamente caóticas — de resolver problemas de diseño de ingeniería y de tomar decisiones de diseño de ingeniería. De acuerdo con tal interpretación de la racionalidad, la racionalización de la práctica de diseño mejorará la probabilidad de que el proceso de diseño termine en un diseño exitoso. Con esta idea aproximada de la racionalidad en mente, comencemos preguntando cómo se puede analizar la racionalidad de la forma en que se realizan o se configuran los procesos de diseño reales. Sobre este tema puede ser útil tomar prestada la noción de reconstrucción racional de la filosofía de la ciencia. En las discusiones sobre la racionalidad en la ciencia se ha convertido en una práctica más o menos estándar para distinguir entre las reconstrucciones racionales de la ciencia y las prácticas científicas reales. Esta distinción se remonta a Carnap. Describe una reconstrucción racional de la formación de un concepto como "una descripción esquematizada de un procedimiento imaginario, consistente en medidas racionalmente prescritas, que conducirían

esencialmente a los mismos resultados que el proceso psicológico real" [Carnap, 1963, pág. 16]. Una reconstrucción racional de la formación de una teoría en la ciencia, por ejemplo, es una serie prescrita racionalmente de pasos, que pueden implicar la realización de experimentos y opciones entre conjuntos de teorías alternativas, que lleva 'lógicamente' al mismo resultado final que terminó el proceso histórico. Estos pasos prescritos racionalmente a menudo no son claramente identificables en las acciones y decisiones reales de los científicos que han contribuido al descubrimiento de la teoría. Esto no hace que sus acciones y procesos de razonamiento real por definición irracionales. En este punto tenemos que tener en cuenta la diferencia entre el razonamiento racional y el comportamiento racional (para más detalles, véase la sub-sección 4.3.-). La reconstrucción racional concierne a esta última: una reconstrucción racional describe la serie más racional de pasos que conducen al resultado final dado (como el objetivo del proceso). Si las acciones y el razonamiento real de los científicos implicados son racionales o no es otra cuestión, que se decidirá sobre la base de las normas de razonamiento teórico y práctico. La racionalidad del proceso científico real, como una serie de pasos previos a la teoría final, puede evaluarse comparando estos pasos con los pasos que se han reconstruido racionalmente. En una vena similar, las reconstrucciones racionales se pueden utilizar para analizar la racionalidad en los procesos de diseño. Los pasos de diseño y las decisiones que conducen al diseño final en un proceso de diseño real pueden ser muy diferentes de los pasos y las decisiones prescritas por su reconstrucción racional. Una vez más, esto no implica que los diseñadores involucrados en el proceso de diseño real estuvieran actuando o razonando irracionalmente. De hecho, puede ocurrir que tengan que evaluar algunos de los pasos intermedios y decisiones que toman sin tener una idea muy clara de la solución final del problema de diseño. Así que para ellos, puede haber sido racional introducir pasos y tomar decisiones que al final del proceso, a la luz de la solución que se les ocurrió, resultó ser erróneo o superfluo y por lo tanto no figurará en la reconstrucción racional del proceso. A partir del resultado final de un proceso de diseño, una reconstrucción racional de ese proceso de diseño filtra tanto como sea posible sus elementos "irrelevantes" e intentos de reconstruir cómo habría procedido ese proceso de diseño si se hubieran tomado todas las medidas y decisiones desde el punto de vista de cómo conducen al resultado final. Una suposición subyacente a las reconstrucciones racionales de los procesos de diseño es que varios métodos para resolver problemas de diseño pueden compararse en términos de su éxito; algunos métodos son mejores que otros e incluso puede haber una manera 'mejor' para resolver problemas de diseño. Esta mejor manera sería una o la forma racionalmente reconstruida, satisfaciendo las prescripciones o normas de resolución racional de problemas. Una pregunta básica sobre la racionalidad en el diseño de ingeniería es si estas reconstrucciones racionales de la práctica de diseño de ingeniería tienen sentido en absoluto. Si es así, entonces inmediatamente surge la pregunta de cómo se relacionan con los procesos de diseño reales. Los defensores de las reconstrucciones racionales toman una

postura normativa con respecto a la práctica de diseño real y, en consecuencia, tienden a interpretar las teorías de la racionalidad de una manera normativa. Ellos vienen con esquemas prescriptivos de cómo los problemas de diseño deben resolverse, siguiendo los cánones de las teorías de la resolución racional del problema. Los que rechazan las reconstrucciones racionales usualmente toman una postura descriptiva hacia la práctica del diseño, e interpretan las teorías de la racionalidad de una manera descriptiva: partiendo de una postura descriptiva hacia teorías de razonamiento racional o comportamiento que analizan y describen qué tipo de comportamiento se considera racional para las personas involucradas en la práctica de diseño. Pueden proponer análisis detallados de cómo los diseñadores resuelven realmente los problemas de diseño, de cómo establecen si una solución propuesta es una buena solución o no, e incluso de lo que los diseñadores consideran métodos racionales de resolución de problemas, pero niegan que haya cualquier punto Arquimediano fijo, es decir, una teoría de la resolución racional de problemas, de la que esta práctica puede ser evaluada críticamente y consecuentemente mejorada. Así que la cuestión de si las reconstrucciones racionales de los procesos de diseño de ingeniería tienen sentido, está ligada a la cuestión de si las teorías de racionalidad son normativas o descriptivas. Un problema que es clave para todas las discusiones sobre la racionalidad en el diseño se refiere a los criterios para juzgar el éxito general del resultado de un proceso de diseño de ingeniería. ¿Cuáles son estos criterios? ¿Y en qué medida es posible poner en práctica estos criterios de manera objetiva? La noción intuitiva de racionalidad utilizada hasta ahora es fuertemente instrumental en la naturaleza: se trata de la realización efectiva y eficiente de los objetivos (ver sección 5.- para una discusión más extensa). Una condición previa para la evaluación racional instrumentalmente de las acciones, es la disponibilidad de objetivos claramente definidos, de modo que los resultados de las acciones puedan evaluarse con respecto a estos objetivos. De lo contrario, no será posible establecer inequívocamente si una acción ha contribuido eficazmente a la realización de estos objetivos. En este contexto, a menudo se hace una distinción entre bien definido y mal definido, bien estructurado y problemas mal estructurados. Para los problemas mal definidos, no está claro qué se debe lograr y qué determina si una acción concreta constituye una solución al problema. En la práctica abundan los problemas mal estructurados; una cosa es exigir, por ejemplo, que una solución de diseño sea un éxito de mercado, innovadora o hermosa, es otra cosa para llegar a resultados objetivos (inter-subjetivos) para el éxito del mercado, la innovación y la belleza. Al analizar el objetivo de los procesos de diseño, varios niveles pueden tener que distinguirse. Dentro de las empresas comerciales, los procesos de diseño se integran dentro de procesos más amplios que tienen como objetivo el beneficio y la continuidad de la empresa. En el nivel de la empresa, por lo tanto, el éxito de los procesos de diseño se juzgará principalmente por el éxito comercial del producto diseñado. Aunque los ingenieros de diseño pueden estar de acuerdo en este objetivo muy general, no es el tipo de meta que tienen que lidiar en sus actividades de

diseño diarias. A nivel del proyecto de diseño, su objetivo generalmente es llegar a un artefacto técnico que cumpla con una lista de requisitos funcionales, es decir, una lista de criterios que un diseño debe cumplir. En proyectos de diseño con participantes de diferentes disciplinas, con diversos intereses en el diseño en cuestión, la declaración explícita y detallada de un solo objetivo común, más allá de cumplir los requisitos funcionales, puede ser difícil debido a intereses conflictivos, pero tampoco parece necesario, ya que la lista de requisitos puede actuar como una piedra angular común para evaluar el éxito de un diseño. La lista de requisitos, una vez más, debe transformarse en una lista de especificaciones de diseño, hasta las especificaciones para los componentes detallados. Estas últimas actúan como (sub) metas para las actividades de diseño detalladas. En este nivel, denominado el nivel de los mundos de objetos por Bucciarelli [1996], (sub) los objetivos pueden entrar en conflicto, de hecho, normalmente lo hacen. En esas situaciones, se tendrán que hacer compensaciones entre las especificaciones contradictorias. Esto hace que juzgar el éxito de un diseño sea un asunto particularmente complicado. Contrariamente a lo que se ha sugerido anteriormente, incluso una lista completa de requisitos funcionales no siempre ofrece un criterio claro para juzgar el éxito de un diseño. Esto es así por dos razones: en primer lugar, hay diferencias importantes entre las diversas tradiciones de diseño de ingeniería en el tipo de requisitos que tienen que tratar, y segundo, se asume implícitamente que la lista de requisitos se da y fija en el inicio de los procesos de diseño. En cuanto al primer punto, algunas tradiciones de diseño de ingeniería, por ejemplo el diseño de componentes eléctricos, están dominadas por listas de requisitos para los objetos a diseñar que se centran en la forma, el ajuste y la función, en los códigos y estándares que tienen que ser cumplidos, en los costos, etc. Para muchos, si no la mayoría de estos requisitos, las pruebas estandarizadas están disponibles, en términos de las operacionalizaciones de las especificaciones, que sirven para medir cuantitativamente el rendimiento de las soluciones propuestas. En tales contextos de diseño de ingeniería, las medidas de éxito fiables y generalmente aceptadas (intersubjetivamente válidas) están en principio a la mano. Esto puede allanar el camino para opciones racionales entre las soluciones de diseño propuestas. Pero incluso en estos casos, como veremos más adelante en la sub-sección 6.3.-, pueden surgir problemas cuando hay que hacer concesiones entre las actuaciones de un dispositivo en diferentes criterios. En otras prácticas de diseño, las situaciones pueden ser mucho más complicadas. Tomar el diseño arquitectónico, por ejemplo, el diseño de una casa. ¿Cuál es la función de una casa y cómo se establece esta función en la lista de requisitos funcionales? En contraste con la función de un componente eléctrico, que puede ser caracterizado como una función técnica, la función de una casa tiene importantes características psicológicas y sociales, que son difíciles de describir inequívocamente y/o objetivamente. Por supuesto, la lista de requisitos para la casa también contendrá elementos "duros", como el espacio total en metros cuadrados, el costo por metro cuadrado y el cumplimiento de los códigos y estándares pertinentes. Para hacer

las cosas aún más complicadas, los criterios estéticos pueden desempeñar un papel destacado en la evaluación de las diversas opciones propuestas por el arquitecto. En tales situaciones, las perspectivas de llegar a una elección racional entre las alternativas, en particular si una decisión ha de ser alcanzada por varias personas conjuntamente, parecen atenuantes. Una diferencia significativa con el diseño de un componente eléctrico descrito anteriormente es que en este contexto la pregunta que consigue decir en la toma de la decisión final, se convierte en una de suma importancia. Ilustra que los elementos subjetivos desempeñan un papel mucho más importante en estas situaciones. En la sección 5.-, se argumentará, sin embargo, que los elementos subjetivos no se interpondrán en el camino de una elección racional, siempre y cuando esta elección sea hecha por un solo individuo; sus preferencias, subjetivas como son, entonces las únicas que cuentan. Pero si más personas con diferentes preferencias están involucradas, una elección racional entre las alternativas se vuelve problemática porque diferentes órdenes de preferencia tienen que ser agregadas o porque algunas personas tienen que revisar y cambiar sus preferencias. El segundo problema con el uso de la lista de requisitos funcionales como una norma contra la que se debe medir el valor de un proceso de diseño, se refiere al hecho de que esta lista a menudo se reajusta durante el proceso de diseño. En esos casos, el objetivo perseguido, concebido como la reunión de la lista de requisitos, cambia «sobre la marcha». Estos reajustes pueden deberse a cambios en el conocimiento o a cambios en el contexto del proceso de diseño, pero también pueden ser necesarios porque los procesos de diseño comenzaron con un problema mal estructurado [Simon, 1984; Nozick, 1993]. En este último caso, una de las tareas a realizar durante el proceso de diseño es convertir el problema de diseño original en un problema bien estructurado. Hacer esto de una manera racional sólo es posible si la teoría de la racionalidad se extiende a la fijación de los extremos. Sin embargo, ha sido negado por muchos, que se extiende tan lejos. Esto es lo que los ingenieros están haciendo en la práctica diaria todo el tiempo y parece muy exagerado afirmar que este tipo de actividad no es susceptible a una evaluación racional en absoluto. Antes de debatir cuestiones de racionalidad en el diseño de la ingeniería con más detalle, en primer lugar se presentará una visión general de las opiniones sobre la naturaleza de la racionalidad, lo que aclarará que no hay un relato general de la racionalidad que pueda tomarse por sentado.

#### F.4.- ASPECTOS DE LA RACIONALIDAD.

##### F.4.1.- Nociones generales y estrechas de racionalidad.

La racionalidad se puede ver amplia y estrechamente. La interpretación amplia es la expresada por el famoso edicto de Aristóteles, que el hombre es un animal racional. Esto significa que los humanos, en contraste con la mayoría de los animales, no sólo muestran el comportamiento, es decir, los movimientos observables externamente de su cuerpo, que se

pueden explicar completamente por referencia a la forma física de sus cuerpos y el funcionamiento de las leyes causales. En cambio, los seres humanos actúan, es decir, su comportamiento típicamente es la manifestación de acciones que son elegidas voluntaria y deliberativamente para ciertos propósitos, para realizar sus fines o satisfacer sus deseos. Lo hacen, además, sobre la base de un conjunto (coherente) de creencias sobre el mundo, y estas creencias se forman a su vez para igualar su percepción y otras creencias ya entretenidas. En esta concepción amplia, la racionalidad está muy cerca de la intencionalidad: decir que las personas son racionales es decir que se pueden describir intencionalmente, es decir, que las creencias, los deseos y las (intenciones de) acciones pueden atribuirse a ellos que son en gran medida coherentes tanto en el sentido de ser coherentes en sí mismos (un conjunto coherente de creencias o de objetivos) como en el sentido en que las acciones son justificables por creencias y deseos particulares. Al revés, para poder atribuir creencias y deseos u objetivos a las personas, debemos suponer que son ampliamente racionales. Esto es lo que Donald Davidson [1984] ha resumido en su "principio de caridad". En nuestro trato ordinario con otros seres humanos, por lo tanto, se presupone la racionalidad en un sentido amplio. En este sentido amplio, la noción de racionalidad tiene una dimensión tanto descriptiva como normativa. En forma, la amplia suposición de racionalidad de otras personas es de un tipo descriptivo, y las expectativas que crea son similarmente descriptivas, pero al mismo tiempo, juzgamos a las personas en la medida en que se desvían de ella. Esperamos y podemos esperar que alguien típicamente cree una creencia sobre el mundo externo (incluyendo las personas que lo habitan) no sólo por capricho o porque se adapte a él o ella, sino sobre la base de alguna forma de evidencia. Esperamos y podemos esperar que si alguien interfiere con el mundo esto típicamente sucede no sólo sobre la base de un impulso, sino por lo menos alguna razón. La dimensión normativa cobra importancia en la medida en que depende más de la racionalidad de alguien, si no de la persona en cuestión, al menos para las personas que potencialmente se ven afectadas por el comportamiento de esta persona. La ciencia y la tecnología son dominios en los que mucho depende de la racionalidad de las personas involucradas en ella. En un sentido más estrecho, la evaluación de dos aspectos básicos de la visión amplia de la racionalidad se agudiza tanto como sea posible: la formación de creencias y la elección de acciones. La racionalidad estrecha es, por lo tanto, mucho más claramente que una racionalidad amplia, un concepto normativo. Las teorías de racionalidad en el sentido estrecho apuntan, ante todo, a dar una respuesta a las preguntas qué creer y qué hacer, dadas las circunstancias particulares. Cuando se restringe a la pregunta qué creer, el tipo de racionalidad involucrado se llama teórico racionalidad, y cuando se limita a la cuestión de qué hacer, la racionalidad práctica. Es una cuestión importante, ya sea que la racionalidad realmente cubra estos y sólo estos dos aspectos, y si incluso estos dos aspectos diferentes merecen ser distinguidos. De la imagen de la racionalidad tal como se esbozó anteriormente, se podría pensar que también hay una forma de racionalidad restringida a la

pregunta qué desear o a qué aspirar. Sin embargo, este no es el caso. Hay una tradición importante en la filosofía que sostiene que la racionalidad establece en la mayoría de las restricciones formales a lo que podemos desear o aspirar, pero no sustanciales. No debemos desear lo imposible, o desear de tal manera que realmente se pueda decir que deseamos algo, y qué es lo que deseamos, pero aparte de esto, no necesitamos justificar nunca por qué deseamos o aspiramos a las cosas que nos resultan desear o aspirar. Volveremos a este tema en la sub-sección 4.4.-. Ocasionalmente, el término "racional" se utiliza para caracterizar algo que no es una acción o una creencia o un deseo. Los ingenieros a veces hablan de un artefacto racional o un diseño racional en el sentido del concepto de diseño o solución de diseño. De hecho, uno podría elegir definir un artefacto racional en un sentido derivado como un artefacto resultante de un proceso de diseño racionalmente realizado. Sin embargo, hacerlo conduce a problemas. Si una acción en particular (por ejemplo, girar a la izquierda o comprar un ticket) se denomina racional, solo puede serlo en las circunstancias concretas en las que se realiza la acción. Esto por lo general no plantea problemas ya que rara vez se nos presentan acciones fuera de su contexto. Sin embargo, en ingeniería se presenta un producto fuera del contexto en el que fue desarrollado o fabricado, es la regla en lugar de la excepción. Un artefacto técnico en particular puede parecer bastante adecuado para un trabajo que un usuario tiene en mente para él, pero que en sí mismo no lo hace un producto racional, ya que para que lo sea también debe haber sido diseñado para este trabajo. Incluso si este es el caso, sin embargo, esto todavía no es suficiente, porque puede ser que otro artefacto habría sido aún mejor para esta función, y si nada había impedido que el diseñador elija esa opción de diseño, esto hace que el producto actual no es una decisión racional. Por otro lado, la existencia de incertidumbre puede hacer que sea el caso de que un artefacto, que parece ser perfecto para su trabajo fue sólo el resultado afortunado de un trabajo de diseño suspendido, o que un artefacto que no realiza su función prevista fue el desafortunado resultado de un proceso de diseño que incluía nada más que decisiones racionales. Para hablar de un diseño racional, por lo tanto, más a menudo puede confundir en lugar de ayudar a nuestro entendimiento, y por lo tanto debe ser desalentado. Sin embargo, si el "diseño" no se refiere a un producto, sino a un plan para realizar un artefacto técnico con una funcionalidad particular, el diseño de acercamiento puede llamarse racional o irracional, ya que se puede considerar que un plan es una serie de acciones consideradas.

#### F.4.2.- La racionalidad teórica y práctica.

La noción de racionalidad afecta a casi todos los aspectos de la conducta humana intencional e inteligente, y por lo tanto es necesario introducir algunas distinciones más finas que se centran en aspectos particulares. En la sub-sección anterior ya se mencionó que una clasificación generalmente reconocida, distingue entre racionalidad teórica y práctica. Esta distinción refleja una distinción en qué racionalidad se considera y de qué se trata.

Nozick [1993, p. XII], por ejemplo, distingue entre racionalidad como herramienta para adquirir conocimiento y racionalidad como herramienta para la mejora de nuestras acciones. Racionalidad teórica, entonces, se refiere a qué creencias sobre el mundo es racional para entretener, mientras que la racionalidad práctica se refiere a qué acciones son racionales para desempeñar. Ambas formas de racionalidad son de suma importancia para la práctica de la ingeniería. Dado que esta práctica está orientada principalmente a la acción en el sentido de cambiar nuestro entorno físico, la racionalidad práctica es de significación directa, pero la racionalidad teórica es igualmente relevante, porque la ingeniería sin conocimiento del estado real de lo que se va a cambiar o de las relaciones de fin de los medios, difícilmente son concebibles. Dentro de un contexto de ingeniería, el conocimiento confiable es una condición previa necesaria (pero no suficiente) para una acción eficaz y eficiente. Sin embargo, en este capítulo nos limitaremos principalmente a cuestiones relativas a la racionalidad práctica. Se ha cuestionado la solidez de la distinción entre racionalidad teórica y práctica. Si vemos el resultado de la deliberación sobre qué creer, como la adopción de una creencia particular, ¿no debería considerarse esto como una acción? ¿Y entonces no todo es racionalidad práctica? Esto requeriría la introducción de deseos o metas que dirijan nuestra adopción de creencias. Sin embargo, esto es problemático porque podemos tener muchos objetivos, y algunos objetivos bien pueden hacernos adoptar falsas creencias. La sub-importancia de la racionalidad teórica bajo la racionalidad práctica requeriría, presumiblemente, la adopción del objetivo universal de creer todo y sólo las cosas que son verdaderas, y por lo tanto introduciría un objetivo o deseo racional especial junto con todos los otros. Este enfoque es tomado por algunos [Levi, 1980; Nozick, 1993] pero no es estándar. Esto no obstante, la racionalidad teórica y la racionalidad práctica no son independientes. Parte de la racionalidad práctica debe ser la formación de creencias sobre la situación en la que se encuentra, sobre las opciones que están abiertas a una, y sobre las consecuencias de estas opciones. En contraste, la deliberación sobre qué creer puede continuar sin que exista una ocasión o una necesidad de hacer algo. Esta distinción refleja la distinción entre ciencia y tecnología. En la ciencia, la investigación generalmente se dirige puramente a la formación del conocimiento, en forma de creencias verdaderas o justificadas, sin un contexto de acción que estas creencias deben apoyar. La investigación es también de suma importancia en la tecnología, pero aquí se dirige típicamente, precisamente al conocimiento que se requiere para apoyar acciones particulares, es decir, las decisiones de diseño. En cambio, también se ha argumentado que la racionalidad práctica debe subsumirse en la racionalidad teórica. Algunos sostenemos que si deliberamos sobre qué hacer, la deliberación termina en la creencia de que un curso de acción en particular es el adecuado para elegir. Una distinción real entre racionalidad teórica y práctica requeriría que la deliberación sobre qué hacer termina en una acción, más que en una creencia sobre una acción. No está claro, sin embargo, cómo podemos tener esquemas de razonamiento "mixtos", en los que los locales consisten o incluyen elementos

teóricos como creencias y la conclusión es un elemento de otro tipo: ya sea un acto o una intención de realizar una ley. La cuestión de qué práctica de los resultados de la deliberación, exactamente, no pueden considerarse resueltos. En filosofía, la división básica de la racionalidad en lo teórico y lo práctico es, sin embargo, casi universalmente adoptada.

#### F.4.3.- Teorías de razonamiento racional versus comportamiento racional.

Aparte de la distinción entre racionalidad teórica y práctica, que aborda diferentes aspectos de la experiencia humana, hay que hacer una distinción entre dos tipos de teorías de racionalidad (cf. [Hampton, 1994, p. 197; Nozick, 1993, p. 65]). Una clase es acerca de los procesos mentales que conducen a o precedieron a una creencia o una acción. Estas teorías de racionalidad son sobre el razonamiento humano, ya sea teórica o práctica; analizan cómo los seres humanos razonan o deben razonar. Se les denominará teorías de razonamiento racional. El otro tipo evalúa las acciones humanas a la luz de los fines o deseos dados. Estas teorías describen qué acción entre todas las acciones que están abiertas a una persona, es racional en el sentido de ser la acción que mejor se da cuenta de los fines de la persona o mejor satisface sus deseos, independientemente de los procesos de razonamiento que condujeron a, o conducirá a la acción. Las teorías que se centran en la identificación de las mejores acciones serán llamadas aquí teorías de comportamiento racional. Un ejemplo de una teoría del comportamiento racional es la teoría de la elección racional, ya que determina qué acción entre un conjunto de opciones maximiza la utilidad esperada. La distinción entre teorías de razonamiento racional y teorías de comportamiento racional es importante para, como comentarios de Nozick [1993, p. 65], "una acción podría alcanzar metas o maximizar la utilidad esperada sin haber sido llegado a eso racionalmente. Podría tropezarse por accidente o hecho inadvertidamente o resultar de una serie de errores de cálculo que se cancelan mutuamente. Esa acción, entonces, habría sido lo mejor (dadas las metas de esa persona), pero no se habría hecho racionalmente. "De hecho, esa acción no sería racional desde el punto de vista de las teorías de razonamiento racional, sino que sería racional desde el punto de vista de la teoría de elección racional estándar en el sentido de hacer lo mejor. Pero también puede ser el caso inverso. Debido a la información incorrecta, por ejemplo, una persona puede razonar correctamente que debe realizar una determinada acción, y puede actuar en consecuencia, mientras que esa acción no es racional en el sentido de maximizar la utilidad esperada. Al debatir la racionalidad en diseño de ingeniería, estos dos sentidos de la racionalidad tienen que distinguirse claramente. Por ejemplo, un ingeniero de diseño puede optar por una solución particular para un problema de diseño sobre la base de su conocimiento sobre las soluciones disponibles. Su razonamiento que resulta en esta elección puede ser racional dadas las opciones conocidas por ella, pero no puede conducir a la solución que maximiza la utilidad esperada, porque sobre la base de algunas creencias falsas rechaza una solución que habría maximizado su utilidad esperada. Por lo tanto, se puede decir que el enfoque racional de la racionalidad toma una perspectiva

interna con respecto al agente interino, mientras que el enfoque de comportamiento racional toma un punto de vista externo [Bratman, 1987, p. 46].

#### F.4.4.- Fijación de los medios frente a la fijación de los extremos.

Una cuestión de larga data en los debates sobre la racionalidad, se refiere a si las normas de racionalidad sólo se aplican a la fijación de los medios, una vez que se dan los fines, o si la fijación de los extremos también puede estar sujeta a una evaluación racional. La concepción más dominante de la racionalidad restringe el dominio de la racionalidad a la realización efectiva y eficiente de los fines o deseos, donde la eficiencia o efectividad de una realización particular se juzga en el contexto de las creencias de uno. Esta concepción se llama racionalidad instrumental, ya que la racionalidad de una persona sirve como un instrumento al servicio de los fines o deseos de esta persona. Las creencias de la persona se pueden ver como parte del instrumento y, por lo tanto, están sujetas a críticas racionales y candidatos para ser reemplazados por mejores. En línea con el dictum de Hume "la razón es, y sólo debe ser, el esclavo de las pasiones..." [Hume, 1969 (1739-40), p. 462], la concepción instrumental de la racionalidad presupone que la fijación de las metas o los fines queda fuera de la provincia de racionalidad (razón). En esta concepción, no es contraria a la razón, como ha señalado Hume [ibidem, p. 463], "preferir la destrucción del mundo entero al rasguño de mi dedo". La racionalidad instrumental se refiere únicamente a los medios más eficaces y eficientes para alcanzar los fines dados. Como Simón, un defensor moderno de la concepción instrumental de la racionalidad lo pone [1983, PP. 7-8]: "[R] Eason es totalmente instrumental. No nos puede decir a dónde ir; en el mejor de los casos, nos puede decir cómo llegar allí. Es un arma de alquiler que se puede emplear al servicio de cualquier objetivo que tengamos, bueno o malo. "Aun los adherentes de la racionalidad como racionalidad instrumental deben, sin embargo, otorgar la posibilidad de una cierta crítica racional de los fines. Por ejemplo, se consideraría generalmente irracional para sostener los fines que son imposibles sobre la base de las creencias de uno, por ejemplo, tener como fin, ser el primer hombre en la luna (después de 1969, es decir), o ser el primer hombre en pisar el sol, o para construir un móvil Perpetuo. En consecuencia, siempre debe haber espacio para las condiciones generales de coherencia en los extremos que reflejen parte de lo que queremos decir con racionalidad. En la teoría de elección racional, que puede ser considerada como la articulación formal más sofisticada de la racionalidad instrumental, el papel de los fines o deseos se juega por la relación de preferencia o función de utilidad definida en el dominio de los posibles resultados de las opciones de acción, de las que se tiene que hacer una elección. Esta teoría requiere que estas preferencias sean, mínimamente, completas y transitivas, y que las preferencias completas y transitorias, por lo tanto, en este relato, sean una condición previa de acción racional. Para las creencias hay criterios similares, afirmando que la totalidad de las creencias de uno debe ser consistente y que uno también debe creer las consecuencias lógicas de lo que uno (ya) cree. Tales condiciones en las creencias de uno,

a veces se refieren a representar la racionalidad epistémica, y análogamente cualquier condición planteada en los fines o preferencias podría decirse que representan la racionalidad crítica. Tal vez las condiciones de Edvardsson y Hansson sobre objetivos racionales [2005] o de Searle [2001] afirman que los deseos, a diferencia de las creencias, no necesitan ser consistentes, y una discusión sobre la cuestión de si esto se extiende a metas o fines, son buenos ejemplos de este último. Hay que subrayar que existe una clara distinción entre la racionalidad epistémica y la crítica, por una parte, y la racionalidad teórica y práctica, por otra, como se define aquí. Los dos primeros se refieren a la coherencia o coherencia del conjunto completo de creencias y deseos, independientemente de un contexto particular de acción. Estos dos últimos se refieren a la adopción de creencias específicas o cursos de acción, dados conjuntos específicos de creencias actuales y los fines actuales en circunstancias específicas. En particular, se refieren a la actualización de las creencias dadas nuevas evidencias, o al ajuste de los planes, dada la realización de los estados intermedios. Las nociones de racionalidad teórica y práctica, por lo tanto, cubren plenamente el contenido o la sustancia de la racionalidad de acuerdo con la visión instrumental.

#### F.4.5.- La racionalidad procesal y sustantiva.

La cuestión de la racionalidad y la fijación de medios y fines está estrechamente relacionada con la distinción entre la racionalidad procesal y sustantiva, tal como lo hizo Hooker y Streumer [2004, p. 60]. Según los proceduralistas, la fijación de los fines (o deseos) o bien se refiere a la fijación de extremos no instrumentales, fundamentales, que cae fuera del alcance de la racionalidad (práctica), o a la fijación de los fines instrumentales (instrumental para la realización de los extremos fundamentales), que están sujetos a críticas racionales. Los sustantivos, por el contrario, asumen que un agente puede estar abierto a la crítica racional también en los casos en los que no se puede alcanzar el final de los fines previos (fundamentales). Según los fundamentalistas, todo el establecimiento de los extremos está sujeto a un escrutinio racional. Esta distinción es muy paralela a la distinción entre el internalismo y el externalismo sobre las razones de la actuación introducida por Williams (véase [Wallace, 2003]). En relación con la teoría de la elección racional, la noción de racionalidad procesal se utiliza en un sentido completamente diferente. Sobre la base de la obra de Simon, la noción de racionalidad procesal está asociada con las nociones de racionalidad delimitada y satisfacción [Hargreaves et al., 1992]. Teniendo en cuenta que vivimos en un mundo con incertidumbre y complejidad cognitiva y que los seres humanos tienen capacidades limitadas de procesamiento de información, Simon [1978, p. 9] introdujo la distinción entre la racionalidad sustantiva y procesal en las siguientes: "en un mundo así, debemos dar cuenta no sólo de la racionalidad sustantiva, de la medida en que se eligen los cursos de acción apropiados, sino también de la racionalidad procesal: la efectividad, a la luz de las facultades y limitaciones cognitivas humanas, de los

procedimientos utilizados para elegir acciones". La racionalidad sustantiva, según Simón, es la racionalidad de un agente omnisciente que percibe al mundo en todos sus detalles relevantes y, por lo tanto, es capaz de hacer la elección verdaderamente óptima. Pero los seres humanos no son agentes omniscientes que tienen conocimiento de todos los detalles relevantes del estado del mundo. En situaciones reales, se deben tomar decisiones preparatorias sobre si continuar recopilando información adicional sobre la situación actual o si hay suficiente información disponible para tomar una decisión óptima, o una que sea suficientemente buena, o acerca de si se deben agregar más opciones al conjunto de selección o si es probable que el conjunto actual contenga la opción más adecuada o una opción lo suficientemente buena. En la racionalidad procesal, el énfasis radica en el escrutinio racional al que se pueden someter los procedimientos que se utilizan para tomar estas decisiones preparatorias. No hace falta decir que, dada la incertidumbre y la complejidad cognitiva de muchos proyectos de diseño de ingeniería, esta forma de racionalidad puede ser de gran importancia para la práctica de diseño de ingeniería.

#### F.5.- LA CONCEPCIÓN INSTRUMENTAL DE LA RACIONALIDAD.

##### F.5.1.- La teoría de elección racional.

Ya se mencionó que los problemas de diseño de ingeniería son abrumadoramente centrados en el extremo, ya que el objetivo básico es llegar al plano o prototipo, de un artefacto que cumpla con ciertos requisitos. Esto concuerda con la concepción instrumental de la racionalidad. La articulación de teorías de racionalidad instrumental ha tomado al menos dos formas. Una es la teoría del razonamiento de los medios extremos, la otra, tal vez la más conocida, es la teoría de la elección racional, que se discutió primero. El debate sobre el razonamiento de fin de los medios y la comparación de los dos enfoques seguirán este debate. La teoría de la elección racional se ha desarrollado principalmente como una teoría básica para la ciencia de la economía, pero encuentra amplia aplicación también en áreas como la investigación de operaciones, análisis de riesgo, teoría organizacional, y así sucesivamente. Aparte de la teoría racional de elección, el nombre esperado, teoría de utilidad, también es muy en uso. Esta teoría modela el problema de decidir sobre un curso de acción como un problema de elegir el mejor entre un conjunto de posibles cursos de acción u opciones para la elección. De donde provienen estas opciones no es algo que la teoría de la elección racional tenga algo que decir. Para ser aplicable, la teoría simplemente requiere un conjunto de opciones que se definirán. Con el fin de poder elegir la mejor opción, las consecuencias o los resultados de cada opción tienen que ser listados y valorados. La orden de preferencia o medida de preferencia sobre el conjunto de posibles resultados agota la articulación de los fines o deseos del creador de decisiones; se pueden tomar más resultados preferidos para estar "más cerca" de sus fines. Una vez que una lista de todos los resultados posibles está disponible, lo que determina cuál es la mejor opción

para elegir, y por lo tanto la elección racional, es cómo estos posibles resultados se evalúan en relación entre sí. Lo que se requiere mínimamente es un orden de preferencia de todos los resultados posibles. Para que exista un orden de preferencia de los resultados, la relación binaria de comparación entre dos resultados — si tuviera que elegir entre dos resultados concretos, que uno preferiría — debe ser completa y transitiva. La transitividad es la propiedad que, cuando el resultado a, se juzga como superior al resultado b y el resultado b superior al resultado c, entonces en una comparación directa de los resultados a y c, el resultado a, se considera mejor acertado o preferible al resultado c., la exhaustividad significa que para cualquier dos situaciones, debe ser claro cuál de los dos es mejor o si son tal vez igual de buenos. Esta última posibilidad se llama indiferencia, que debe distinguirse marcadamente del caso en que dos resultados se declaran incomparables. Con indiferencia, los resultados se consideran igualmente buenos o malos y, en consecuencia, se considera irrelevante cuál de las dos opciones se elige, y cómo se hace esta elección, siempre que se elija alguna opción. En el caso de la incomparabilidad, una persona siente que sí importa cuál de las dos opciones se elige pero es, tal vez sólo por el momento, incapaz de fijar su preferencia. Un orden de preferencia de los resultados es suficiente para resolver un problema de toma de decisiones con certeza, es decir, un problema en el que la elección de una opción conduce con certeza a un resultado en particular, la situación en la que se ha realizado la opción. Dado que las opciones se relacionan una a una con los resultados, la opción racional es elegir la opción que resulte en el resultado mejor o más preferido. Sin embargo, esto no se hará para la toma de decisiones bajo incertidumbre o riesgo. En general, la toma de decisiones bajo incertidumbre o riesgo es una situación en la que la elección de una opción puede conducir a varios resultados mutuamente excluyentes y el tomador de decisiones no puede saber de antemano cuál de estos posibles resultados será, de hecho, el resultado de su elección. La distinción entre las dos formas es que, en un caso de toma de decisiones bajo riesgo, él se puede suponer que las probabilidades de la realización de los diversos resultados posibles son conocidas o dadas, mientras que con la toma de decisiones bajo incertidumbre esto no es así. Se considera que el enfoque de la toma de decisiones en riesgo es la contribución principal de la teoría de la utilidad esperada. Prima facie el diseño de ingeniería no parece ser el lugar para su aplicación. Las opciones de diseño que los ingenieros deben elegir, no conducen a un diseño particular sólo en un porcentaje de todos los casos, cuando de hecho se ha elegido. Sin embargo, un diseño en particular, una vez fabricado, bien puede funcionar como se pretendía sólo en un porcentaje de todos los casos. Esto es lo más probable, mientras que todavía en las primeras fases de una tarea de diseño, cuando sólo están disponibles los prototipos. Por lo tanto, habrá oportunidad para la aplicación de modelos para la toma de decisiones bajo riesgo en las primeras fases del diseño, con el fin de estimar el valor relativo de seguir desarrollando sugerencias para posibles soluciones de diseño, dado que no está seguro de si de hecho dará lugar a soluciones factibles dentro de un tiempo determinado y con recursos limitados

para gastar. Además, habrá oportunidad para su aplicación en la evaluación de diversas soluciones de diseño con respecto a posibles fallas futuras, que nunca se puede descartar por completo. Un problema importante en el diseño de ingeniería es hacer compensaciones, es decir, sopesar las ventajas y desventajas de una solución de diseño contra otra. Si este problema implica o no incertidumbres, también no es resolver uno para la teoría de utilidad esperada. Esta teoría sigue siendo relevante aquí, sin embargo, ya que el pesaje de los valores relativos de las opciones de diseño sólo tiene sentido si se dispone de valores cuantitativos mínimamente ásperos, y la teoría de elección racional contiene indirectamente un método para llegar a un escala de medida para el valor relativo de las opciones de diseño, pidiendo al diseñador que haga comparaciones de sorteos en parejas, que implican soluciones de diseño en lugar de las comparaciones directas de las soluciones de pares. Este procedimiento, sin embargo, sólo se ha introducido recientemente en el diseño de ingeniería; véase, por ejemplo, [Thurston, 1991]. El problema de hacer compensaciones se retoma de nuevo en la sub-sección 6.3.-.

#### F.5.2.- El razonamiento de los medios extremos.

La teoría de la elección racional contrasta fuertemente con el razonamiento de los medios extremos como un enfoque de la racionalidad instrumental. En el lenguaje de los medios y de los fines, la teoría de la elección comienza con los medios: los cursos de acción abiertos a la persona que enfrenta la situación problemática — como se ha dado, y luego procede hacia los extremos posibles — los eventuales resultados de las opciones. Estos posibles resultados corresponden a los fines, porque su evaluación por la persona en cuestión determina qué significa, es decir, qué opción, es la racional a elegir. En el caso de elección bajo riesgo esto se determina en realidad por dos medidas, una midiendo el grado de incertidumbre, la otra la fuerza de medida de preferencia, pero sólo la última medida es evaluativa. En el razonamiento de los fines extremos, uno comienza con el fin — un estado del mundo que uno desea realizar — y luego avanza hacia los medios — los posibles cursos de acción que conducen al final. El objetivo del análisis múltiple, es generar una lista de medios potenciales y establecer que los medios de hecho resultarán en el final, o para investigar las circunstancias en las que se traduciría en el final, o la forma en que resultan en los fines, ya que el estado del mundo resultante de la adopción de un curso de acción en particular, por lo general, incluirá más que sólo la finalidad.

#### F.5.3.- Significa que el razonamiento es complementario a la elección racional.

Al proceder racionalmente en un proceso de diseño, o en la reconstrucción racional de uno, el razonamiento de los fines y la teoría de elección racional no son, tantos enfoques competidores, sino más bien complementarios. El razonamiento de fin de los medios será instrumental en la generación de un conjunto de soluciones de diseño

potenciales, o cursos de acción hacia una solución, mientras que la teoría de elección racional se puede utilizar para justificar la elección de una solución de diseño en particular como la mejor de ese conjunto, dado una evaluación de los resultados de la adopción de cualquiera de las soluciones factibles. A diferencia de la teoría de elección racional, no existe una teoría común o estándar de razonamiento de fin de los medios. Los medios de razonamiento de los puntos centrales lo que en la teoría de elección racional es sólo un margen: nuestro conocimiento de las conexiones causales entre los medios y los fines, o entre los cursos de acción y sus resultados. La teoría de la elección racional asume que estas conexiones causales son conocidas o dadas, mínimamente en forma de probabilidades, y ve su trabajo como especificar lo que racionalmente se desprende de estas conexiones y la evaluación de los resultados por parte del tomador de decisiones. Aunque, de acuerdo con el punto de partida de la racionalidad instrumental, la fijación de los extremos se encuentra fuera de la teoría, las restricciones formales en la forma en que una persona racional puede entretener a sus fines juegan un papel importante. En el razonamiento de los extremos, estas limitaciones son en el mejor de los márgenes. El punto de partida es por lo general un extremo en particular que se debe realizar, no se han hecho más preguntas. Es sólo en la evaluación de un medio que las preguntas de lo que más resulta de la aplicación de los medios, aparte del final deseado, pueden surgir para la evaluación. Por lo tanto, el razonamiento de fin de los medios puede considerarse como la articulación más explícita de la racionalidad instrumental, en el sentido de que aborda la cuestión de cómo realizar un fin directamente.

#### F.5.4.- Razonamiento sobre los fines.

En ambos enfoques podemos mantener el principio básico de racionalidad instrumental — que la racionalidad instrumental arregla medios pero no fines, o que las preferencias son exógenas a la teoría de la elección racional — al mismo tiempo que amplían el alcance de la racional deliberación para incluir la deliberación sobre los fines. En el razonamiento de los fines extremos, esto se puede hacer introduciendo una jerarquía de extremos, donde los fines en un nivel inferior, para los que a ese nivel se buscan medios, se tratan como medios para terminar más en un nivel superior. Esto se conoce como fin (significa reversión): lo que inicialmente se tratan como extremos son después de un poco más de reflexión que se consideran medios. Esto pone una considerable presión en una conceptualización adecuada de los problemas de decisión, ya que en todos los niveles intermedios uno debe concebir las entidades, de modo que de hecho puedan ser medios, así como fines. En la teoría de elección racional, hay varias posibilidades. Puesto que el papel de los fines se juega por los valores relativos asociados a los posibles resultados de las acciones, la manera de elaborar el decir de los resultados en la determinación de la elección es introducir descripciones cada vez más refinadas de los estados del mundo, resultantes de cursos de acción elegidos. Estas descripciones refinadas pueden conducir a una revisión de

los valores relativos atribuidos a los resultados. Otra forma es introducir representaciones dinámicas de las situaciones de decisión e impulsar estas descripciones en el tiempo, ampliando así gradualmente el alcance de las consideraciones consideradas relevantes.

#### F.5.5.- La crítica y las alternativas a la racionalidad instrumental.

La teoría de elección racional estándar ha sido atacada desde diferentes direcciones. Un tipo de crítica, presentado por Simon y ya mencionada en la sub-sección 4.5.-, señala que la teoría impone severas exigencias al "organismo de elección" con respecto al acceso a la información y sus capacidades computacionales. Debe ser capaz de especificar exactamente la naturaleza de los resultados, los pagos o las cantidades de satisfacción que ofrece cada resultado, estos tienen que ser ordenados por completo, y debe ser capaz de predecir con certeza o con probabilidades definitivas los resultados. Simon duda de si en situaciones reales de elección humana de cualquier complejidad, esta información está a la mano y si los cálculos requeridos "pueden ser, o de hecho, se realizan" [1955, p. 104]. Es, por supuesto, posible tratar de llenar los vacíos de información, pero la recopilación de información tiene sus propios costos, y habrá un punto en el que los costos de reunir más información serán más altos que la posible ganancia en utilidad debido a una mejor solución del problema original de elección. Por lo tanto, la teoría racional de la elección tiene que ser simplificada, para ser útil en la práctica. Las simplificaciones se pueden lograr mediante el uso de procedimientos como las reglas generales como base para las decisiones y mediante la sustitución de la noción de racionalidad sin restricciones, basada en información ilimitada y el principio de optimización por el concepto de "racionalidad limitada" que tiene en cuenta las limitaciones de las capacidades de conocimiento y computación. Satisfactorio es una noción clave para la racionalidad delimitada; se fijan los niveles de aspiración y se elige la primera opción que satisfaga el nivel de aspiración [Simon, 1982]. Por lo tanto, deben establecerse procedimientos para la forma de tomar las decisiones, lo que significa que la racionalidad sustantiva debe sustituirse por la racionalidad procesal. La crítica de Simon a la teoría de elección racional sigue estando directamente dentro del campo instrumental: no cuestiona la naturaleza instrumental de la racionalidad. La concepción instrumental de la racionalidad misma, sin embargo, también ha sido criticada por su alcance demasiado limitado. Se cuestiona, por ejemplo, si se puede hacer frente a las situaciones de interacción estratégica entre las personas como modeladas en la teoría del juego. Otros enfoques de la racionalidad, como la racionalidad comunicativa de Habermas [1984; 1987] y Dreyfus y La racionalidad deliberativa de Dreyfus [1986; 1992], rechazan la idea de que la racionalidad instrumental agota toda la noción de racionalidad. Otro intento de un acercamiento para hacer la deliberación sobre los extremos, caen bajo un concepto amplio de la racionalidad, fue emprendido por Richardson [1994]. Repitiendo algunas de las críticas de Richardson, Searle [2001] también ha atacado la exclusión de la deliberación racional sobre los extremos de las

teorías de racionalidad instrumental, en particular la teoría de elección racional. Esta teoría asume que un cronograma de preferencias bien ordenado se da de antemano, mientras que en la vida real "un conjunto bien ordenado de preferencias es típicamente el resultado de una deliberación exitosa, y no es su condición previa" (PP. 30-31). Para hacer esta suposición, es negar la deliberación racional lo que en la toma de decisiones humanas reales es su materia prima (PP. 125-126): "la mayor parte de la dificultad de la deliberación racional es decidir lo que realmente quieres, y lo que realmente quieres hacer. [. . .] La parte realmente difícil de la razón práctica es averiguar cuáles son los extremos en primer lugar". Searle, sin embargo, no nos ofrece una teoría o un esquema de cómo resolver esto, y no queda claro qué concepciones son posibles de lo que podría llamarse racionalidad racional, junto a racionalidad teórica y racionalidad práctica, o lo que podría llamarse racionalidad final junto a la racionalidad instrumental.

## F.6.- RACIONALIDAD EN LA PRÁCTICA DE INGENIERÍA DE DISEÑO.

### F.6.1.- Creatividad y racionalidad en el diseño de ingeniería

El diseño de ingeniería se trata de la creación de nuevas cosas técnicas, la incorporación de lo que no existía antes. Es una actividad creativa y requiere pensamiento creativo y hacer en algún nivel o en algunos aspectos. ¿Cómo se relaciona el diseño de ingeniería como actividad creativa con el diseño de ingeniería como una actividad racional (suponiendo que es, en cierta medida, una actividad racional)? ¿Hay una tensión entre la creatividad y la racionalidad en el diseño, o pueden, o incluso necesitan, ir juntas? Para empezar, la imagen vulgar de la creatividad en el diseño de ingeniería difícilmente hace justicia a la práctica real. El drama de un individuo empapado en una búsqueda, que de repente, en un instante, evoca una brillante idea, que lleva la promesa de resolver el problema con el que ha estado luchando, apenas raye la superficie. Las ideas son importantes, pero en la práctica de ingeniería las ideas tienen que ser puestas a trabajar; son esenciales ideas viables. La localización de toda la creatividad en el flash brillante se pierde el punto de que la implementación de ideas, su traducción en hardware, requiere el ejercicio continuo de pensamiento creativo y constructivo a lo largo del camino. Sólo en la final, las etapas de detalle de los problemas de diseño pueden ser solucionables sobre la base de la rutina existente, anuales o libros de reglas. Lo anterior también se aplica a formas más "artísticas" de diseño de ingeniería como el diseño industrial o arquitectónico. En estos dominios, el diseño puede acercarse a la creación de una obra de arte, pero aquí también las ideas tienen que transformarse en objetos reales, un proceso que puede requerir mucha creatividad propia. Pero si la creatividad es indispensable para el diseño de ingeniería, también lo es la racionalidad. En las primeras etapas, varias ideas, creativas o no, deben ser evaluadas en contra de los recursos disponibles, las necesidades del cliente y los requisitos funcionales, en el estado de la casa del arte de la tecnología, las instalaciones de producción

y así sucesivamente. Más tarde, se deben tomar todas las decisiones sobre cómo dividir la función general del artefacto en sub-funciones y qué componentes elegir para realizar estas sub-funciones. La creación de propuestas alternativas puede requerir un pensamiento creativo, pero una vez que las propuestas están sobre la mesa, hay que tomar decisiones y éstas no son (ser) hechas a capricho, sino en parte basadas en su evaluación racional. El diseño de ingeniería, como una actividad de resolución de problemas, requiere creatividad y racionalidad y no parece que haya tensión. Las observaciones anteriores sugieren una opinión sobre el papel de la creatividad y la racionalidad en el diseño de ingeniería muy similar a la opinión de Popper sobre su papel en la ciencia. Según Popper [1959, PP. 31-32] no hay "lógica", en el sentido del método racional, del descubrimiento científico. La racionalidad de la ciencia reside completamente en someter nuevas ideas, conjeturas, a severas críticas. La forma en que se generan las ideas científicas no es susceptible de un análisis racional, sólo la justificación de estas ideas es, evaluando sus consecuencias lógicas a la luz de las pruebas disponibles. En la visión de Popper de la ciencia, la creatividad y la racionalidad se han desacoplado. Sea cual fuere la tensión que pueda haber entre la creatividad y la racionalidad, no hay nada problemático en que la ciencia sea un proceso creativo y racional, ya que la creatividad y la racionalidad desempeñan un papel en diferentes contextos: las reglas de la creatividad en el contexto del descubrimiento, mientras que la racionalidad tiene influencia en el contexto de la justificación. La aplicación de estas opiniones al diseño de la ingeniería conduce a la opinión de que no existe una "lógica de la invención tecnológica"; racionalidad no desempeña ningún papel en la creación de nuevas ideas para resolver problemas de diseño. Sólo desempeña un papel en la elección entre estas ideas. Una vez más, como en el caso de la ciencia, no habría nada problemático en afirmar que el diseño de ingeniería es una actividad creativa y racional, ya que la creatividad y la racionalidad juegan un papel en diferentes contextos. Sin embargo, hay serios problemas con estas interpretaciones del papel de la racionalidad y la creatividad en la ciencia y la tecnología. Se concede la distinción entre el contexto del descubrimiento y el contexto de la justificación. La validez de esta distinción se ha puesto en entredicho, en particular la idea de que el contexto de la justificación es independiente del contexto del descubrimiento, [Hoyningen-Huene, 1987]. Si, en efecto, no es posible, en principio, separar el contexto de la justificación del contexto del descubrimiento, debe reconsiderarse la opinión anterior sobre el papel de la creatividad y la racionalidad en los procesos de diseño. Un problema adicional con esta opinión es que parece reconocer sólo una forma de racionalidad, a saber, la racionalidad instrumental, más concretamente su articulación como teoría de elección racional. Como se discute en la sección 5.-, en esta teoría se presupone que se dan todas las opciones; es un procedimiento para establecer cuál de las alternativas maximiza la utilidad esperada. Por su propia elección, entonces, esta forma de racionalidad no tiene ningún papel que desempeñar en la creación de nuevas opciones o alternativas. Pero como hemos observado supra, los críticos de racionalidad instrumental sostienen con

precisión que en este dominio las formas de racionalidad pueden ser operativas también, ya sean otras formas. Esto abre la posibilidad de que la creatividad y las formas no instrumentales de racionalidad sean compatibles, no simplemente porque operan en contextos diferentes, sino porque la racionalidad contribuye de manera constructiva a la generación de nuevas ideas o nuevas opciones. Según estos críticos, la creatividad y la racionalidad pueden no sólo tolerarse mutuamente, sino que incluso pueden ir de la mano en el diseño de ingeniería, aunque tienen poco que decir sobre la forma precisa en la que interactúan. Los problemas con la extensión de las teorías de racionalidad instrumental para cubrir la creación de nuevas opciones o las creaciones de nuevos medios para las opciones existentes pueden ser una de las razones por las que esto a menudo se considera el dominio del pensamiento creativo, no restringido por las consideraciones racionales. Pero esta última posición conduce a una imagen bastante insatisfactoria del papel de la racionalidad en el diseño de la ingeniería. No sólo los procesos por los cuales se añaden nuevas opciones a la agenda de los ingenieros (artefactos con nuevas funcionalidades, o con mejores especificaciones que sus predecesores), sino también los procesos que conducen a nuevas formas de realización de artefactos existentes (sobre la base de nuevos principios operacionales, con menos componentes, mayor facilidad de producción y mantenimiento, etc.), todos estos procesos caerán fuera del ámbito de la evaluación racional. Pero precisamente en esas situaciones hay que tomar decisiones acerca de lo que, dadas las evaluaciones de todas las limitaciones e incertidumbres imperantes, puede ser posible lograr y que vale la pena perseguir. Las limitaciones involucradas hacen de este un proceso creativo: sin limitaciones en las posibles soluciones, sin creatividad. Algunas de estas decisiones, o evaluaciones, pueden basarse en expectativas más o menos racionales, otras en la esperanza ciega. Parece que la creatividad y la racionalidad van de la mano en la búsqueda de nuevas posibilidades tecnológicas. Parafraseando a Kant, podríamos decir que la creatividad sin racionalidad es ciega, mientras que la racionalidad sin creatividad es estéril.

#### F.6.2.- La imagen del proceso de ingeniería de diseño.

Examinemos ahora más detenidamente algunas sugerencias presentadas por los ingenieros y los metodólogos de diseño para estructurar racionalmente los procesos de diseño de ingeniería. Considere el diagrama de fase para resolver problemas de diseño de la figura 1. Los diagramas de fase como éste abundan en la literatura. La mayoría de ellos afirman la validez implícita o explícita universal dentro del campo del diseño de ingeniería, ya que generalmente se presenta un diagrama de fase independiente de la tecnología. Distinguen claramente varias sub-tareas y el orden en el que se deben realizar (con la posibilidad de iteraciones). En los manuales que van con estos diagramas de fase, las sub-tareas suelen especificarse detalladamente y se describe el tipo de herramientas de diseño que se utilizarán en las distintas sub-tareas. Y aunque los autores de estos diagramas suelen

tener cuidado al subrayar que después de estos diagramas de fase no garantiza que el diseño resultante será exitoso, el espíritu detrás de estas propuestas es, sin embargo, que la implementación de este diagrama de fase mejorará el rendimiento del diseño. Si estos diagramas de fase se aplican en la práctica, establecen un vocabulario y un lenguaje para abordar cualquier tarea de diseño en particular. Los ingenieros saben que las especificaciones deben entregarse al principio de un proyecto; saben que el proceso está casi terminado cuando el diseño está "congelado" y se deben producir diseños definitivos y documentación. Pero el diagrama de bloques sugiere una progresión más mecánica y lineal de lo que suele ser el caso. Aunque se permite la iteración (ver el bloque vertical de texto en el extremo izquierdo), parece que la versión posterior está restringida para volver a trazar los pasos de uno, un paso a la vez. También son engañosas en que apenas proporcionan una indicación de la dificultad relativa o la intensidad del esfuerzo necesario para completar cada fase. ¿Es la 'búsqueda para los principios de la solución y sus combinaciones como una tarea directa como completa disposición general? ¿Es el trabajo de dividir el diseño en "módulos realizables" como libre de ambigüedad como el siguiente paso, es decir, 'desarrollar el diseño' de estos módulos? ¿Y qué recursos son necesarios para llevar a cabo cada paso? En particular, es sólo una persona responsable de todas las fases; o es un equipo de cuatro o cinco trabajando dentro de la empresa; o un ensamblado globalmente disperso de uno, 200 participantes; ¿o el diagrama representa el funcionamiento de un algoritmo informático? Como dispositivos de instrucción, son representaciones altamente idealizadas de lo que se trasluce en el diseño y, como tal, el minimizar, si no se ignora por completo, la negociación y el intercambio entre los participantes requeridos para llevar un diseño a la terminación. Una característica intrigante de estos diagramas de fase es que se abordan sólo el nivel de proceso de diseño y completamente abstracto de la sustancia de los problemas de diseño. En comparación con las reconstrucciones racionales de los procesos de diseño, estos esquemas exhiben un nivel de generalidad mucho mayor. Las reconstrucciones racionales son siempre de un diseño en particular. Este no es el caso de estos diagramas de fase; como se observó anteriormente, son incluso independientes de la tecnología. Exhiben lo que podría llamarse racionalidad del proceso: la forma más racional de estructurar el proceso de diseño que proceso para el diseño exitoso. Como tal, la racionalidad del proceso es una forma de racionalidad instrumental: los diagramas de fase representan el mejor procedimiento o secuencia de varios pasos para lograr una meta o un estado deseado de asuntos. Pero, ¿cuál es la conexión, si existe, entre una implementación exitosa de estos diagramas de fase y un diseño exitoso como resultado de ese proceso? En la metodología de diseño se suele suponer simplemente que seguir estos diagramas de fase contribuirá a mejores diseños. Sin embargo, este punto necesita aclaración. Una implementación exitosa no parece necesaria ni suficiente para un diseño exitoso. La historia de la ingeniería abunda con ejemplos que apoyan esta afirmación. El problema con estos diagramas de fase es que se basan en una noción muy abstracta de un proceso de diseño, lo

que resulta en una forma extremadamente abstracta de racionalidad del proceso. Pero, ¿cuál es la relación, si la hay, entre las decisiones racionales que afectan a la estructura del proceso de diseño y las decisiones racionales que afectan el objeto del diseño? Estos últimos determinan las propiedades del objeto de diseño; en otras palabras, en última instancia, este último determina la selección de la opción óptima/mejor de todas las opciones posibles. Mientras esta relación permanezca oscura, no está claro en absoluto cuál podría ser el valor de tales diagramas de fase prescriptivos para la práctica de diseño de ingeniería.

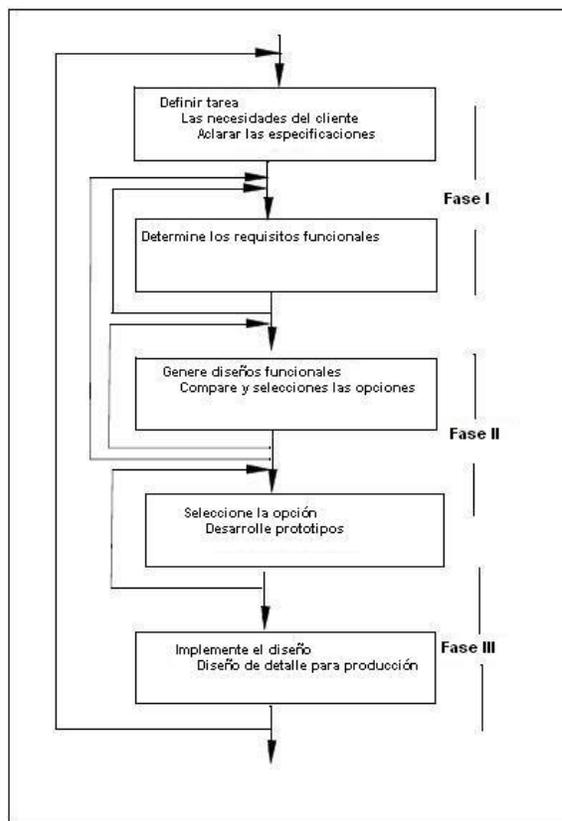


Figura 1.- Diagrama de fase del diseño de ingeniería

### F.6.3.- Las decisiones de racionalidad y diseño.

F.6.3.1.- Diseñar como un proceso de decisión racional de selección de la mejor opción cuando se trata de especificar una vista del proceso de diseño racional, en particular una visión normativa o prescriptiva que se puede aplicar en la práctica de diseño, es común ver el proceso de diseño como una de toma de decisiones racional, donde la tarea del

diseñador es elegir un diseño en particular como el mejor para darse cuenta. Teniendo en cuenta que la teoría de la elección presupone que se dan estas opciones (véase la subsección 5.1.-), esto puede parecer reinstalar la intuición de que el aspecto creativo del diseño escapa de las consideraciones de racionalidad instrumental. Sin embargo, hay maneras de llevar el proceso de generación de opciones dentro del ámbito de la racionalidad instrumental. Este proceso se puede modelar como un proceso de toma de decisiones en un nivel superior, donde la elección es entre los tipos o familias de soluciones, o entre las rutinas de búsqueda, o lo que se utiliza. Varios tipos o familias de soluciones o varias rutinas de búsqueda generarán entonces un conjunto de mejores primeros candidatos para ser comparados directamente para la decisión final. Dado que el proceso de diseño debe dar como resultado un diseño particular, es decir, un esquemático o un prototipo del producto a fabricar y comercializar, las opciones a decidir son de la forma "hacer el producto de la siguiente manera:... "Si tal acción se puede tomar para dar lugar a la certeza en el producto correspondiente, tenemos un caso de toma de decisiones con certeza y el problema de toma de decisiones es trivial: decidir hacer el mejor producto. El problema de diseño entonces equivale a establecer una clasificación de todos los conceptos de diseño posibles, que van desde el mejor hasta el peor. Para lograr esto no es un asunto trivial, por supuesto, e incluso puede ser considerado uno de los principales aspectos de la tarea de diseño. De hecho, como se muestra a continuación, es una tarea que se puede concebir como un problema en la toma de decisiones racionales.

F.6.3.2.- la toma de decisiones racional de los equipos de diseño. Ya en el caso de un solo diseñador, por lo tanto, la disponibilidad de una escala de preferencia cualitativa o cuantitativa para los conceptos de diseño no es un asunto sencillo. Muchas tareas de diseño, sin embargo, si no la mayoría, son llevadas a cabo por un equipo de diseñadores, o incluso por equipos de diseñadores. Cuando varios diseñadores tienen que decidir conjuntamente sobre qué acción de diseño hay que llevar a cabo lo que se requiere, con el fin de resolver su problema utilizando la teoría de elección racional es una escala de preferencia conjunta. El problema de construir una escala de preferencia conjunta a partir de varias escalas de preferencia individuales puede ser visto como un problema en la toma de decisiones racional. El problema se conoce a partir de la teoría de la elección social, donde la cuestión es elegir una opción de un conjunto de opciones propuestas conjuntamente, como un colectivo, como sucede, por ejemplo, en las elecciones. Desde la perspectiva de la toma de decisiones racional, la cuestión central es cuál es la mejor traducción de una colección de órdenes de preferencia de opciones en un único orden de preferencia de las mismas opciones, de modo que el orden resultante puede tomarse como para representar las preferencias sociales o las preferencias del "colectivo". Tenga en cuenta que desde la concepción de una orden de preferencia y desde la forma en que uno llega a escalas de preferencias cualitativas y cuantitativas, se deduce que nunca se pueden añadir

valores de preferencia individuales para llegar a un valor colectivo. Las escalas de preferencia individuales miden cantidades separadas para cada individuo, y para agregar los valores de dos escalas separadas es como agregar metros a kilogramos. De hecho, el esfuerzo por construir un procedimiento que agrupa múltiples clasificaciones individuales en una colectiva tiene su punto de partida en el reconocimiento de este hecho. En 1950 fue demostrado por el economista Arrow, que no existe una solución general a este problema de agregar preferencias en un orden global. Más precisamente, Arrow demostró que no existe ninguna función, tomando conjuntos de preferencias ordenados como entrada y entregando exactamente una orden de preferencia como salida, que satisface una serie de requisitos que se consideran necesarios para que el procedimiento se llame racional (véase [Arrow, 1963]). En otras palabras, generalmente no sabemos cómo dar sentido a la noción de una escala de preferencia colectiva cuando sólo se dan escalas individuales, y por lo tanto la teoría de la elección racional no es generalmente aplicable cuando varios diseñadores están en el trabajo. Se puede pensar que en lugar de construir la orden de preferencia general a través de un procedimiento racional, es mejor pedir "el equipo" directamente por sus preferencias. Esto dará una respuesta directa cuando los diseñadores individuales son unánimes en sus preferencias, pero ¿qué diría el equipo cuando sus miembros discrepan? Para responder como un equipo en primer lugar, es decir, con una sola voz, los miembros del equipo deben empezar a discutir la respuesta que van a dar. En la sección 7.-, se dice más sobre la dimensión social del diseño de ingeniería introducida por la necesidad de negociar las decisiones de diseño cuando el diseño es un esfuerzo de equipo (y casi universalmente es hoy en día). Aquí sólo se hará notar que la discusión y el proceso de negociación también se pueden hacer de maneras más y menos racionales. En particular, los métodos de la teoría de juegos se pueden aplicar con el fin de mostrar a los miembros de un equipo cómo pueden racionalmente, en el sentido de maximización de la utilidad instrumental, 'resolver' un caso donde deben decidir conjuntamente sobre una solución de diseño, mientras que difieren sus evaluaciones de la varias posibles soluciones de diseño [Franssen y Bucciarelli, 2004]. Dependiendo del método utilizado, no hay nada en contra de aceptar las preferencias resultantes como preferencias racionales del equipo para el caso particular en cuestión. Sin embargo, si los resultados consecutivos de muchas de esas negociaciones se interpretan como una creación conjunta de una función que traduce todo tipo de combinaciones de preferencias individuales en las preferencias del equipo, esta función debe violar al menos una de las requisitos que Arrow pensaba que dicha función debía satisfacer para ser aceptable como procedimiento universalmente aplicable.

#### F.6.3.3.- Toma de decisiones racional multi-criterio.

El famoso teorema de Arrow también desempeña un papel cuando el proceso de llegar a una única orden de preferencia para un conjunto dado de soluciones de diseño se pone a escrutinio racional. Por lo general, la evaluación de los conceptos de diseño está

sujeta a un gran número de criterios, que se originan en los requisitos funcionales al inicio del proceso de diseño. Estos requisitos funcionales no siempre deben traducirse en especificaciones de diseño que tengan el carácter de restricciones que se cumplen o no se cumplen, por ejemplo, 'ser capaz de soportar una presión de 2000 pa'. A menudo, los requisitos funcionales conducen a criterios en los que deben anotarse y compararse diversos conceptos de diseño, por ejemplo, "ser los más ligeros posible", "ser lo más robustos posible", y así sucesivamente. Cuando hay varios de estos criterios, una comparación de un número de posibles soluciones de diseño da lugar a tantas órdenes de preferencia de todas las soluciones posibles, ya que hay criterios. Una solución de diseño que está clasificada relativamente alta en el criterio del peso puede ser clasificada relativamente baja en el criterio de la robustez, y viceversa. Con el fin de determinar cuál es la mejor solución de diseño general, un diseñador individual ahora enfrenta el problema de agregar estas diversas órdenes de preferencia en una sola que 'mejor' representa el conjunto de clasificaciones individuales. Es la medida en que el orden agregado "fielmente" refleja el conjunto de clasificaciones individuales que determina si la solución de diseño que está más arriba en el ranking global es de hecho el mejor diseño, ya que las clasificaciones individuales reflejan exactamente lo que el diseñador considera importante y relevante en relación con el problema del diseño. Este problema no sólo es isomórfico para el problema de agregar las clasificaciones de personas individuales a una clasificación colectiva o social general, como muestran las figuras 2 y 3, sino el tipo de requisitos que un procedimiento agregante, debe satisfacer mínimamente para que el procedimiento puede contar como racional son idénticos. Y fue comprobado con precisión por Arrow, que ningún procedimiento de agregación puede satisfacer todos estos requisitos. Por lo tanto, como consecuencia del teorema de Arrow, no hay solución algorítmica disponible para este problema.

Rango de orden individual de x1	Rango de orden individual de x2	Rango de orden individual de x3	.....	Orden de clasificación colectiva
$a_1$	$a_j$	$a_p$	...	?
$a_2$	$a_k$	$a_g$	...	
$a_3$	$a_l$	$a_t$	...	
...	...	...	...	
.	.	.	...	
.	.	.	...	
.	.	.	...	

Figura 2. Presentación esquemática de una decisión problema con múltiples tomadores de decisiones

Se podría pensar que la razón por la que no existe una solución algorítmica para este problema es que la información que se va a agregar es demasiado escasa, por así decirlo, que consiste sólo en órdenes de rango de las opciones de acuerdo con los diversos

criterios. Si las medidas cuantitativas del valor relativo de las opciones estuvieran disponibles, uno por criterio, una solución algorítmica podría ser posible. Sin embargo, este no es el caso: se han comprobado varios teoremas de imposibilidad para la agregación de medidas de valor a escala de intervalo en una única orden o medida de rango, análoga a la original de Arrow; para más detalles, véase [Franssen, 2005]. Para que la agregación sea en general posible, se requiere cualquier medición en la misma escala o relación de medida de la escala de todos los valores, y la mayoría de los problemas de diseño no satisfacen las condiciones para que este sea el caso. Evidentemente, el recurso a la negociación que se mencionó para la toma de decisiones por equipos no está disponible en el problema de los criterios múltiples. Cualquier negociación entre los criterios — que da un paso atrás, cuya opinión es más importante — debe hacerse por apoderado, por así decirlo, por el propio diseñador. Es el diseñador que debe hacer compensaciones entre los criterios. El marco para este tipo de problema desarrollado por Arrow deja claro que no hay un procedimiento racional general para hacer concesiones en el diseño de ingeniería. Por supuesto, un ingeniero de diseño puede adoptar todo tipo de rutinas y reglas-de-pulgar para llegar a las compensaciones, pero estos métodos difícilmente pueden servir para justificar, desde el punto de vista de una teoría de la racionalidad, las compensaciones hechas realmente. Sobre este problema parece que se ha hecho poco trabajo teórico; para un argumento más detallado, véase nuevamente [Franssen, 2005]. El caso más difícil, por último, es donde un equipo de diseño tiene que resolver un problema de diseño multi-criterio. La complejidad de este problema, desde un punto de vista racional, ahora será apreciada. En la siguiente y última sección vamos a abordar algunas de las consecuencias de esta complejidad.

Orden de clasificación por criterio X1	Orden de clasificación por criterio X2	Orden de clasificación por criterio X3	.....	Orden de clasificación general
$a_1$	$a_j$	$a_r$	..	?
$a_2$	$a_k$	$a_g$	..	
$a_3$	$a_l$	$a_t$	..	
...	...	...	..	
.	.	.	..	
.	.	.	..	
.	.	.	..	

Figura 3.- Presentación esquemática de un problema de los tomadores de decisiones multicriterio

## F.7.- DISEÑO COMO PROCESO SOCIAL.

### F.7.1.- Aspectos sociales del diseño frente a la sociedad

Resolver problemas de diseño de ingeniería, generalmente no es una actividad que se lleva a cabo en el espléndido aislamiento de una sola persona frente a ese problema. Un diseñador es típicamente un miembro de un equipo de diseño que opera dentro de una

empresa, que en sí mismo opera dentro de un contexto social específico. Esta incrustación de diseño de ingeniería dentro de contextos sociales más amplios puede tener consecuencias de largo alcance para la forma en que se resuelven los problemas de diseño de ingeniería. Al analizar el papel de estos factores sociales en el diseño de la ingeniería, en particular en relación con cuestiones de racionalidad, hay que distinguir varias formas en que se utiliza la palabra "social". Una forma es ejemplificada por Vincenti cuando afirma [1992, p. 32] que en los niveles de definición de proyecto y diseño conceptual — es decir, en la parte superior de la jerarquía — los factores sociales obviamente tienen un amplio margen de influencia. Vincenti utiliza la noción de social principalmente en el sentido de no-técnica; factores sociales incluyen todos los factores que no son de tipo técnico. Señala que el objeto del diseño está a menudo incrustado dentro de un sistema socio-técnico más amplio y contribuye al funcionamiento de este sistema. El aspecto social de los sistemas socio-técnicos abarca todos los demás factores (como las leyes, las instituciones sociales, etc.) que son necesarios para que los sistemas técnicos desempeñen su función. Más cerca de la práctica de diseño, uno puede hablar de las normas y creencias sociales prevalecientes, ya que afectan el pensamiento corporativo sobre diseños sostenibles, efectos ambientales o retornos financieros a sus accionistas. Aún así, esto no es lo 'social' que nos concierne aquí. El alcance de nuestro social, es el entorno inmediato de los participantes en el diseño a medida que van sobre su trabajo dentro de la empresa. Estamos interesados en cómo los ingenieros y otros participantes interactúan y se relacionan a medida que negocian sus análisis y propuestas; sobre qué bases deciden; ¿Cómo justifican sus reclamos; Qué normas rigen su intercambio, su discurso? (Véase también [Vincenti, 1992, p. 33].) De particular interés es cómo los participantes proceden cuando está claro que la racionalidad instrumental no será suficiente. Tome una situación en la que ha quedado claro para todos los miembros de un equipo de diseño que la lista original de especificaciones de diseño no se puede satisfacer porque algunas de estas especificaciones están en conflicto. Así que deben hacerse las compensaciones, lo que significa que la lista de especificaciones de diseño tiene que ser ajustada. ¿Entonces qué? ¿Qué otra forma de razonamiento, o de acción racional, se puede confiar para llegar a un acuerdo sobre los cambios en las especificaciones de diseño o más generalmente para llevar un diseño a su realización? "Social" debe entenderse, entonces, como una etiqueta para otra forma de acción racional; lo que esta "otra" forma de racionalidad podría ser, es nuestra preocupación. Pero primero, Bosquejamos nuestra visión del diseño como un proceso social.

#### F.7.2.- Mundos de objetos.

El diseño de productos y sistemas generalmente requiere la coordinación de un grupo de individuos de diferentes especialidades, por ejemplo, análisis estructural, electrónica, informática, ingeniería térmica, etc., que trabajan en características diferentes

pero interrelacionadas con el organismo. Cada participante en el diseño habita en su propio mundo de la práctica profesional, un mundo de modelos estándar de la forma en que las cosas funcionan desde la perspectiva disciplinaria del dominio del participante del diseño; reglas no escritas y metáforas particulares iluminan y animan los esfuerzos de los habitantes. Existen algoritmos computacionales especializados, formas singulares de imaginar estados y procesos. Cada participante trabaja con un sistema particular de unidades y con variables de dimensiones particulares, tal vez ciertos rangos de valores. Los procesos dinámicos, si esa es su preocupación, se desarrollan con respecto a una escala de tiempo en particular, para el mundo de alguien que puede ser milisegundos, en otros, horas o días. El mundo de los objetos de uno está situado con respecto a una infraestructura particular con sus propios instrumentos únicos, textos de referencia, piezas prototípicas de hardware, herramientas especiales, catálogos de proveedores, códigos y regulaciones. Dentro de cada uno de estos mundos "habla" un dialecto diferente todo ordenado y preciso. Decimos que diferentes participantes trabajan dentro de diferentes mundos de objetos [Bucciarelli, 1996]. Un ingeniero estructural habita en un mundo diferente del ingeniero de electrónica que trabaja en el mismo diseño. Dentro de estos mundos objeto, la racionalidad instrumental reina. La resolución de problemas es lo que los ingenieros hacen dentro de estos mundos. Hacen abstracciones del 'comportamiento' artístico, reduciendo las apariencias-mejor, puesto como "ver a través de" apariencias-para revelar los principios de funcionamiento que explican cómo funcionan las cosas, por ejemplo, "Esto se comporta como si fuera...". El ingeniero estructural mira el avión y se enfoca en la estructura del ala. La gente del motor mira todo el oficio, su peso, el rango deseado y optimiza en consecuencia su diseño de la planta de energía. El aerodinamicista ve el campo de flujo alrededor de la nave y se esfuerza por minimizar la resistencia al levantamiento, al dar al arte una geometría adecuada, controla a la gente a vivir en otro mundo (ver figura 4). Dentro de estos mundos, se confía en los "modelos" cuantitativos, teóricos/empíricos para producir información útil, en forma cuantitativa, describiendo el comportamiento del objeto desde una perspectiva particular. Dentro de cada mundo de los objetos, estos modelos y métodos instrumentales se pueden emplear, incluso para optimizar los parámetros de rendimiento particulares relevantes para ese mundo. En cada uno de estos mundos, los problemas se definen de tal manera que pueden resolverse (inequívocamente) con la ayuda de las herramientas disponibles en estos mundos; en otras palabras, los problemas del mundo de los objetos son problemas bien definidos o bien estructurados. La situación se vuelve diferente tan pronto como se tienen que tomar decisiones que cortan a través de estos mundos de objetos diferentes. El problema es que la forma aerodinámica óptima no armonizará con el diseño estructural óptimo, o el diseño óptimo de la turbina, o el diseño óptimo de los controles en que cada uno prescribirá valores diferentes para al menos algunos parámetros que son de interés común. Aquí, parece, llegamos a los límites de aplicabilidad del modelado instrumental y la racionalidad calculadora. Aquí radica la

verdadera complejidad de la tarea de ingeniería de hoy; se deriva del hecho de que cada participante, con diferentes competencias, responsabilidades e intereses, ve el objeto de diseño de manera diferente: un objeto, diferentes mundos de objetos. Sus propuestas y análisis se basan en diferentes tradiciones de ingeniería paradigmática y los resultados de sus análisis y propuestas instrumentales se redactan en diferentes términos categóricos. Y no hay una forma de redoblamiento, instrumental para conciliar estos resultados en términos estrictamente objeto mundo. Esto hace que el diseño de un proceso social no sea totalmente susceptible a la resolución instrumental — una profundización de los problemas de elección colectiva como ya se expone en la sub-sección 5.3.-. Los ingenieros tienen que articular sus resultados del mundo de los objetos para que otros, los que habitan en otros mundos, puedan establecer un significado con respecto a su propia perspectiva. Así que lo que los ingenieros incluyen mucho más que la resolución racional de problemas y la construcción de medios eficientes para alcanzar los fines deseados; el mundo de la vida de la ingeniería proporciona una experiencia mucho más rica una vez que uno reconoce la acción social que es parte integral del diseño. Dentro del mundo de los objetos, la racionalidad instrumental lleva el día; pero dentro del mundo más abierto de intercambio y negociación, las reivindicaciones de validez relativas a esta o a esa característica del diseño no se limitan a las declaraciones de cálculo, objetivas que describen el funcionamiento del objeto desde una u otra perspectiva.

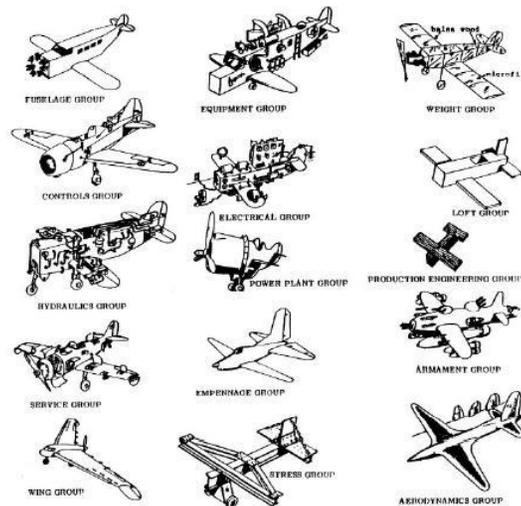


Figura 4.- Diferentes mundos de objetos, vistos para un aeroplano, dibujados por C. W. Miller (adaptado por [Nicolai, 1975])

### F.7.3.- Los límites de la racionalidad.

Dreyfus y Dreyfus [1986] hacen una distinción entre la "racionalidad calculadora" y la "racionalidad deliberativa". El primero es aproximadamente equivalente a la racionalidad instrumental; Este último, menos ligado a la regla, se basa en las capacidades intuitivas del 'experto'. Pero esto no nos ayuda realmente en nuestra búsqueda de una forma de encuadrar, como racional, lo que sucede cuando los participantes en el diseño se reúnen y luchan por unir sus reclamos y propuestas. Para tales deliberaciones de diseño son las deliberaciones de una colección de expertos, cada uno competente en un reino diferente, relevante para la tarea de diseño. Ellos pueden muy bien confiar en su intuición, así como el cálculo instrumental cuando se trabaja dentro de sus respectivos mundos de objetos, pero en general no hay un individuo que se destaca por encima de todo el resto, desempeña el papel de dictador competente, cuando las negociaciones a través de mundos son obligatorias. Una noción más relevante es la desarrollada por Habermas [1984; 1987] cuya teoría de acción comunicativa reconoce explícitamente la posibilidad arraigadamente social de la racionalidad, alejando nuestra atención de centrarnos únicamente en el conceptual, cognitivo desempeño del individuo al ejercicio social de la razón. Su movimiento es doblemente relevante, ya que toma declaraciones normativas que hacen afirmaciones sobre la "rectitud" (actos regulativos del habla), y declaraciones subjetivas que expresan veracidad o sinceridad (actos de habla, avowal,), así como afirmaciones objetivas y proposicionales (actos de habla constativo), como modos legítimos de discurso racional. Todo esto [Habermas, 1984, p. 17]:... está orientado a lograr, sostener y renovar el consenso, y de hecho un consenso que descansa sobre el reconocimiento intersubjetivo de las reivindicaciones de validez criticables. La racionalidad inherente a esta práctica se observa en el hecho de que un acuerdo alcanzado comunicativamente debe basarse al final por razones. Y la racionalidad de quienes participan en esta práctica comunicativa está determinada por si, si es necesario, podrían, en circunstancias apropiadas, proporcionar razones para sus expresiones. La preocupación de Habermas es con la racionalidad social en los grupos grandes; nuestra preocupación es local, micro. Sin embargo, su imagen de intercambio racional encaja muy bien con lo que uno ve dentro de la empresa, con los Ingenieros diseñando. Un ingeniero hace la afirmación (constativa) de que la parte  $x$  fallará si la temperatura supera los grados  $y$ ; otro argumenta (regulativo) que se debe gastar más en pruebas de prototipo para garantizar la seguridad del producto en manos de los usuarios potenciales. Un tercer participante en el diseño expresa deleite (avowal) en la simplicidad del diseño del mecanismo de enclavamiento. Las reivindicaciones de validez en forma de verdades proposicionales, la rectitud normativa y/o la expresión sincera y subjetiva entran en la mezcla de la toma de decisiones en los mundos de los objetos, logrando un consenso sobre la forma y la función. Es evidente que la confianza es esencial para que la racionalidad comunicativa suene verdadera. En una tarea de diseño, cualquier participante confía en otro

para trabajar dentro de su mundo de objetos con la competencia profesional apropiada para ese mundo y para poder articular los resultados y las propuestas de una manera accesible a los demás. La confianza es una dimensión de la 'pre-comprensión' [Habermas, 1984, p. 100]: Cada proceso de alcanzar la comprensión tiene lugar en el contexto de una pre-comprensión culturalmente arraigada. Este conocimiento de fondo sigue siendo poco problemático en su conjunto; sólo se pone a prueba la parte del stock de conocimientos que los participantes hacen uso y tematizan en un momento dado. En la medida en que las definiciones de las situaciones sean negociadas por los propios participantes, este segmento temático del mundo de la vida está a su disposición con la negociación de cada nueva definición de la situación.

En un sentido, la racionalidad comunicativa de Habermas es como la racionalidad deliberativa de Dreyfus y Dreyfus en que si se preguntaría, después del hecho, cómo los participantes en el diseño llegaron al consenso que lograron, usted encontraría que diferentes participantes darían diferentes razones (heurística, reglas) para la decisión particular que se toma, al igual que el "experto", cuando se consulta por un "Ingeniero de conocimiento" con la intención de capturar la heurística del experto y almacenarlos en su computadora, da múltiples razones por las que él o ella hicieron lo que hicieron, lo que lleva a Dreyfus y Dreyfus a renunciar a la racionalidad calculadora y a promover la intuición como primaria. Hay una holgura en nuestra forma social de racionalidad evidente en esta posibilidad. Que las razones de los diferentes participantes por las que se ha tomado una decisión se basan en su trabajo dentro de diferentes, independientes, y en cierto sentido, mundos de objetos inconmensurables, implica que puede que no haya razones compartidas entre los participantes para tomar una decisión para un diseño particular. Esta forma social de elección racional es más o menos forzada a ellos por el teorema de imposibilidad de Arrow. Los participantes reconocen la ortogonalidad de sus diferentes reivindicaciones y propuestas, pero también entienden, teóricamente racionales como son, que no existe una forma globalmente racional de comprometer sus reclamos y propuestas. Eso todavía les deja con formas locales racionales de llegar a una decisión que cada uno puede vivir con ello. Concluir de la ortogonalidad de sus alegaciones y propuestas que deben abstenerse de cualquier control sobre la decisión de diseño sería la elección verdaderamente irracional. Desde la perspectiva del diseño de ingeniería como un proceso social, la noción de un diseño óptimo o mejor se vuelve muy problemática. Aunque la optimización local se puede obtener dentro de mundos de objetos individuales, no hay un método global, instrumentalmente racional para la optimización del conjunto. Al mismo tiempo, reconocemos que los participantes en el diseño a menudo llegan al estado donde todos están muy satisfechos con el resultado. ¿Cómo podría interpretarse como racional, el proceso por el cual los participantes logran el consenso sobre un diseño final en particular, elegido entre algunas o muchas configuraciones posibles? ¿Qué método deben usar? Una

manera de abordar este problema es asumiendo que los participantes se conformen con un diseño 'satisfactorio'; falta de información, inaccesibilidad y/o limitaciones en los recursos — especialmente cuando uno admite la inproporcionalidad de los mundos de los objetos — todo conspira para negar que lo hacen mejor. Pero satisfactorio es insatisfactorio como concepto, incluso cuando se envuelve con la noción de "racionalidad limitada" (véase la subsección 4.5.-). La teoría de la satisfacción no ofrece recursos para determinar de manera racional el nivel de aspiración para soluciones aceptables o para ajustar este nivel, ya sea hacia arriba o hacia abajo de una manera racional. Todas las formas de racionalidad están limitadas a un grado, algunas más que otras. La pregunta es, ¿cómo avanzar, cómo proceder dados los límites tal como son? ¿Qué criterios podrían ser llamados a dirigir racionalmente el progreso de uno? ¿Y cómo sabes cuándo dejar de diseñar? Otra forma de lidiar con este problema es enfocarnos en la optimalidad de Pareto. Esta noción puede interpretarse como una forma de guiar y establecer criterios para el cierre. A saber: un diseño puede decirse que es óptimo en el sentido de Pareto, si cualquier cambio de diseño adicional moverá al menos a un participante a objetar. Cualquier propuesta de diseño se mueve de otra manera, trayendo beneficio a, al menos un participante (sin duda el que propone ese movimiento) y no generando ninguna reacción negativa por parte de otros, sería un paso en la dirección correcta, un paso hacia un diseño "mejor". También se aceptarán las propuestas de movimientos presentados por coaliciones si contribuyen positivamente (es decir, no cumplen con la resistencia de otros participantes) al diseño. Esto no es tan "blando" o difuso, una propuesta como aparece por primera vez ya que, después de Habermas, la propuesta de diseño de un individuo, como una reivindicación de validez, estaría sujeta a la crítica y "... basado al final en las razones". Por último, así como hay límites a la aplicabilidad de la racionalidad instrumental, hay claramente también límites a la aplicabilidad de nuestra forma social de racionalidad. Aunque todos los participantes en un equipo de diseño pueden tener un interés en llegar a una propuesta definitiva para un diseño, en la práctica puede resultar imposible llegar a un consenso sobre qué alternativa elegir. El hecho de que muchos de estos participantes vivan en diferentes mundos de objetos y la correspondiente falta de razones compartidas entre los participantes puede hacer que esta situación sea más la regla que la excepción. Entonces, ¿qué hacer si no surge un consenso? Desde el punto de vista de la práctica de diseño de ingeniería, hemos llegado a un callejón sin fin. Una manera bastante poco atractiva sería simplemente tirar un dado. El diseño de ingeniería, sin embargo, se lleva a cabo en contextos más amplios, y estos contextos pueden proporcionar razones para preferir una opción de diseño en particular por encima de los demás. Por lo tanto, las decisiones se pueden tomar sobre la base de consideraciones y razones que no están directamente relacionadas con el objeto de diseño. El contexto más amplio en el que se incrusta el diseño de ingeniería puede llevar a la escena consideraciones o razones de carácter personal, de jerarquía dentro de una empresa, de poder, de confianza entre los participantes, etc. Desde una perspectiva más amplia, puede haber buenas razones para

seleccionar una opción de diseño frente a otras opciones, pero estas buenas razones no hacen que la opción seleccionada sea una mejor opción desde un punto de vista estrictamente de diseño de ingeniería. Dentro de estos contextos más amplios, las cuestiones de racionalidad pueden volver a aparecer (cuando la confianza en una persona es justificada o racional, etc.); estas cuestiones, sin embargo, quedan fuera del ámbito de la racionalidad dentro del diseño de ingeniería propiamente dicha.

## G.- DISEÑO DE SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS (Johannes M. Bauer and Paulien M. Herder)

### G.1.- INTRODUCCIÓN.

Un cuerpo diverso de investigación en ingeniería y ciencias sociales documenta el funcionamiento de sistemas que requieren artefactos técnicos y arreglos sociales para funcionar. Las plantas individuales, las empresas o los sectores industriales enteros constituyen sistemas socio-técnicos si los componentes tecnológicos y los arreglos sociales están tan entrelazados que su diseño requiere la optimización conjunta de las variables tecnológicas y sociales. El concepto de un sistema socio-técnico se originó en estudios de la minería del carbón en la Gran Bretaña de la post-guerra II [Trist y Bamforth, 1951; Emery, 1959; Trist, 1981]. A diferencia de estudios previos, que a menudo habían considerado la tecnología como una fuerza independiente a la que el trabajo debía adaptarse, los estudios organizacionales y laborales influenciados por el enfoque socio-técnico, enfatizaron la estrecha interdependencia de lo social y subsistemas técnicos. Los estudios empíricos detallados constituyeron el punto de partida para el desarrollo de principios de diseño para los sistemas socio-técnicos, como la compatibilidad entre el proceso de diseño y sus objetivos; mínima especificación crítica de tareas, roles y objetivos; y el control de desviaciones tan cercanas al punto de origen [Cherns, 1976]. Como parte de la expresión del arte del diseño y de las declaraciones normativas de valores, estos principios constituyeron un conjunto inicial de directrices para el diseño de sistemas socio-técnicos. Aunque una definición analíticamente precisa es difícil de formular, a los efectos de este capítulo, los sistemas socio-técnicos se operarán como arreglos de múltiples actores y artefactos materiales que interactúan de maneras que requieren analizar el sistema total y no sólo los subsistemas constituyentes (véase [Ropohl, 1999] para una discusión más detallada). Dependiendo del nivel de análisis y de las preguntas de investigación planteadas, cada subsistema se puede desintegrar aún más para diseccionar su lógica y su dinámica interna. Cada subsistema tiene como objetivo cumplir sus propios objetivos, utilizando sus propios medios, pero también en una relación interdependiente con otros subsistemas. Por ejemplo, la tecnología fue diseñada y construida por agentes de calidad, actuando dentro de entornos institucionales específicos, que continúan dando forma directa e indirectamente a su futuro. Asimismo, los arreglos sociales, por ejemplo, la creación de mercados descentralizados de comercio de energía, están en parte supeditados a los avances tecnológicos que los apoyan y los permiten. Como resultado de esta interdependencia, la tecnología y los arreglos sociales co-evolucionan, cada uno habilitando y restringiendo, pero no determinando completamente, el otro sub-sistema [Murmann, 2003]. Esta relación interdependiente se desarrolla en tiempo real e irreversible, resultando a menudo en un

camino único de desarrollo socio-técnico con dependencias inter-temporales ("dependencia del camino") [Arthur, 1994; David, 2000]. Los sectores de infraestructura pueden ser considerados como una clase particular de sistema socio-técnico [Kroes et al., 2006; Ottens et al., 2006]: la tecnología es fundamental para sus operaciones y se establecen formas de control social tanto organizativas como sectoriales para determinar una gama de valores públicos asociados con su funcionamiento, como el suministro ubicuo y asequible. Las cuestiones de ingeniería y diseño social surgen en múltiples niveles de estos sistemas socio-técnicos. Las sociedades modernas dependen en gran medida de los servicios de múltiples infraestructuras (un término utilizado originalmente por los militares para referirse al apoyo al transporte y las funciones logísticas). Sin un suministro fiable y suficiente de energía y agua, la vida social y económica colapsaría rápidamente. Los sistemas de transporte y comunicación son necesarios para coordinar las tareas cada vez más diferenciadas y los flujos relacionados de bienes, servicios y personas que van de la mano con una mayor especialización. Los servicios de otros sistemas de infraestructura, como el alcantarillado o la remoción de desechos, son igualmente indispensables para una alta calidad de vida y el bienestar general de la sociedad. La organización técnica y social de las industrias de infraestructura está fuertemente influenciada por los valores públicos [Bozeman, 2007]. Muchos de estos valores públicos permanecieron notablemente estables con el tiempo, pero las formas en que se persiguen han cambiado sustancialmente. En todo el mundo, el sistema tradicional construido alrededor de una fuerte intervención gubernamental y una organización de la industria monopolística ha sido sustituido por enfoques basados en el mercado en los que el Gobierno asume funciones regulatorias en lugar de operadores propietarios. La liberalización de la infraestructura (la apertura de la entrada en el mercado para los nuevos proveedores de servicios) y la desagregación del sector (la separación de las etapas de la cadena de valor, por ejemplo, la generación, transmisión y distribución de electricidad) han incrementado el número de participantes y crearon entornos de múltiples partes interesadas. Las razones de estos cambios son múltiples, pero ilustran la interdependencia de los subsistemas técnicos y sociales. Sin cambios significativos en la tecnología, como la profunda difusión de las tecnologías de la información y la comunicación que facilitan el control y la gestión descentralizados de sistemas de infraestructura complicados, los cambios en las políticas no habrían sido factibles. Por otro lado, sin una organización cambiante del sector, algunos de los potenciales de innovación latente podrían no haberse realizado. Estas transformaciones han incrementado la complejidad social y de ingeniería de los sistemas de infraestructura y, por ende, la criticidad de su diseño. A pesar de los nuevos desafíos para el diseño de sistemas de infraestructura, todavía faltan procesos y métodos de diseño integrales apropiados. Por consiguiente, las decisiones de diseño importantes a nivel técnico y social se hacen a menudo sin una visión clara de las implicaciones globales de estas decisiones para el desarrollo del sistema socio-técnico en su conjunto. En la historia reciente, esto se ilustra

vívidamente por los graves problemas e interrupciones durante las primeras fases de la reforma de la electricidad en California durante 2000-2001 [de Bruijne, próximamente]. Ni siquiera existe un consenso en cuanto a las perspectivas y los límites del diseño todo incluido en los sistemas socio-técnicos. La mayoría de las disciplinas que actualmente influyen en el diseño de la infraestructura (en particular, la ingeniería, la economía, la ciencia de la gestión, la ley y la administración pública) asumen, explícita o más a menudo tácitamente, que las soluciones efectivas a la infraestructura se pueden encontrar e implementar problemas de diseño. En el otro extremo del espectro está la opinión de que los grandes sistemas de infraestructura no pueden diseñarse de manera racional. Debido a la abrumadora complejidad y los desafíos del problema de optimización, se argumenta, el diseño integral y el control en el sentido clásico están fuera del alcance de los planificadores sociales y los encargados de formular políticas. Entre estas posiciones opuestas están los autores con una visión más matizada de la capacidad de control general de los sistemas socio-técnicos. El deseo de idear soluciones integrales se considera escéptico como "falacia constructivista": ni la información para diseñar tales sistemas ni la capacidad de explorar sistemáticamente todas las interrelaciones y contingencias está disponible. No obstante, se considera posible un enfoque fragmentado, más localizado e incremental, con amplio margen para opciones de diseño deliberadas tanto en los subsistemas sociales como técnicos. Este capítulo examina el estado de la investigación y el conocimiento sobre estas cuestiones. Además de proporcionar un marco amplio, revisa los principios para el diseño de estos sistemas que han sido desarrollados por una variedad de disciplinas durante las últimas décadas. La siguiente sección discute el alcance de las consideraciones de diseño económico, jurídico y social que una teoría prescriptiva del diseño de infraestructura tendrá que abordar. La sección tres revisa diferentes marcos teóricos que tienen o podrían ser utilizados para conceptualizar problemas de diseño de infraestructura. Las implicaciones de estas consideraciones para el diseño de los sistemas socio-técnicos se adoptan en la cuarta sección. Las conclusiones y una breve perspectiva se presentan en la sección final. Dos en Intermezzi, uno en Syngas y otro en Internet, ilustran los argumentos conceptuales con casos particulares.

## G.2.- ÁMBITO DE LAS CUESTIONES DE DISEÑO EN LOS SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS.

Antes de que los marcos teóricos se aborden con más detalle en la siguiente sección, es necesario aclarar las características estructurales clave de los sistemas socio-técnicos y el alcance de las cuestiones de diseño que surgen en dichos sistemas. Los subsistemas sociales y técnicos están entrelazados y cada uno tiene varias capas que se diseñan y evolucionan en diferentes escalas de tiempo. Los sistemas multinivel han sido estudiados más ampliamente por científicos sociales que por ingenieros, por ejemplo, en enfoques institucionales, algunos de los cuales datan de finales del siglo XVIII. Williamson [2000] ofreció un modelo útil que permite tratar diferentes tipos de arreglos sociales e

institucionales de forma integrada. Las cuatro capas de este marco se definen analíticamente. En sistemas multicapa, la causalidad de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba interactúan: los niveles superiores permiten e imponen restricciones en los niveles inferiores y viceversa. El enfoque puede ampliarse para modelar los subsistemas técnicos y sociales simultáneamente, como se muestra en la tabla 1. Los cambios en los arreglos institucionales y técnicos en estas capas, ya sea el resultado de opciones de diseño o fenómenos emergentes, siguen diferentes patrones de tiempo. En la capa más baja del sistema, se toman decisiones continuas sobre la asignación de recursos y el funcionamiento. Una capa arriba, la estructura de gobernanza de una sociedad (la "jugada del juego"), lo más importante, se especifica varios arreglos contractuales. Los métodos específicos de reglamentación (por ejemplo, el costo del servicio versus la regulación de la capitalización de precios), las decisiones de propiedad (por ejemplo, estado, privado o híbrido) y el diseño del mercado se definirán en esta capa, idealmente alineando las estructuras de gobernanza con la naturaleza de las transacciones. Los mercados, las jerarquías y las redes son formas importantes de la amplia gama de estructuras de gobernanza disponibles. El cambio a ese nivel se desarrolla en periodos de uno a diez años. La siguiente capa superior define el entorno institucional, las "reglas formales del juego". Las decisiones de diseño importantes en esta capa abarcan, entre otras, la organización de una política, la organización de la reglamentación sectorial específica y la definición general de los derechos de propiedad. El cambio en esta capa es incluso más lento que en la capa de gobernanza, con algunos procesos que duran hasta un siglo. Por último, la capa de incrustaciones sociales refleja las instituciones informales, las costumbres, las tradiciones, las normas y la religión. El cambio puede tomar períodos de tiempo muy largos, incluso cientos o miles de años. Estos arreglos a menudo no están diseñados, sino que surgen de las interacciones en niveles más bajos del sistema.

Tabla 1.- Capas y escalas de tiempo en sistemas sociotécnicos

Escala de tiempo	Sub-sistema social	Sub-sistema técnico
Inclusión Cambios 100 a 1000 años A menudo no calculado	Instituciones informales, costumbres, tradiciones, normas, religión	Las convenciones informales incorporadas en los artefactos técnicos
Ambiente institucional Cambios entre 10 y 100 años, entorno institucional	Reglas formales del juego (propiedad, Política, judicatura,...)	Estándares técnicos, convenciones de diseño, paradigmas tecnológicos
Gobernabilidad Cambios entre 1 y 10 años Diseño de un régimen gubernamental eficiente	Desarrollo del juego (Tratados, control de las transacciones)	Protocolos y rutinas que rigen las decisiones operativas y la tecnología (mejor disponible)
Operación y gestión Ajustes continuos	Precios, cantidades de incentivos	Opciones operativas

Nota: Inspirado por [Williamson, 2000].

Se puede establecer una correspondencia entre las capas del sistema social y la estructura de los artefactos técnicos (véase el cuadro 1). En la capa más baja del subsistema

técnico se toman decisiones operativas continuas en respuesta a su estado. La naturaleza de estas decisiones depende del sistema técnico específico. Los gerentes de redes eléctricas necesitan equilibrar la carga y el suministro; Controladores de los sistemas de transporte necesitan organizar los flujos de tráfico; y los algoritmos de control en los sistemas de comunicación deben enrutar y priorizar el tráfico de acuerdo con los requisitos de calidad de servicio de varias aplicaciones. Estas decisiones pueden ser tomadas por agentes humanos y por lo tanto estar directamente vinculadas al sistema social, o pueden ser automatizadas basadas en rutinas pre-especificadas y protocolos técnicos. En este último caso, están vinculados indirectamente al sistema social. En la siguiente capa superior, se toman decisiones sobre cómo se diseñan estos artefactos técnicos. Estos incluyen tanto la arquitectura de los sistemas físicos, así como los procesos de control para estos sistemas. En la tercera capa, correspondiente al entorno institucional en el subsistema social, se adoptan decisiones relativas a los amplios parámetros de las soluciones técnicas. Estos pueden incluir arreglos como las leyes de patentes, los mecanismos de establecimiento de normas nacionales e internacionales y la adopción de convenios para el diseño de tecnologías. La capa más alta refleja las convenciones técnicas tácitas y las decisiones de diseño previas, según lo descrito por Hughes [1983] como característica para las etapas posteriores del desarrollo de una tecnología. En este sistema socio-técnico multicapa, las relaciones de habilitación y restricción de abajo arriba y de arriba hacia abajo coexisten con las horizontales entre las respectivas capas sociales y técnicas. Además, las formas "diagonales" de influencia conectan capas superiores sociales y técnicas con capas inferiores en el respectivo sistema y viceversa. Las decisiones de diseño se toman en todas las capas, pero el ámbito de estas opciones es generalmente más amplio en las capas inferiores. En consecuencia, en las capas superiores del sistema socio-técnico, las decisiones de diseño deliberadas se vuelven menos prevalentes y las características emergentes se vuelven más importantes. Las opciones de diseño continuas y específicas se realizan en la capa operativa y de administración. Estas decisiones de diseño están limitadas por las opciones de diseño en la capa de gobierno. Las decisiones de diseño también se toman en esa capa, aunque los encargados de la toma de decisiones suelen ser diferentes. En lugar de individuos y gerentes en las organizaciones, las decisiones de gobernanza son adoptadas por agentes de agencias gubernamentales, organismos de normalización, organizaciones no gubernamentales, asociaciones empresariales y otras partes interesadas que legítimamente hacen colectivos, decisiones vinculantes multilateralmente o bilateralmente. A su vez, están habilitadas y limitadas por las decisiones de diseño en la siguiente capa institucional más alta. Por ejemplo, la Constitución de una nación o estatutos puede que privilegie ciertas formas de propiedad de las redes de infraestructura o estipular el mandato de los organismos reguladores. Las constituciones están diseñadas típicamente para que sólo puedan cambiarse con mayorías calificadas, añadiendo inercia adicional para cambiar en esta capa. En la capa más alta, la mayoría de las características son emergentes. La emergencia se

refiere aquí a características o comportamientos no previstos o inesperados del sistema. Aunque la noción de emergencia está sujeta a mucho debate, véase por ejemplo [Kroes, 2009] y [Mayntz, 2008a], es útil para contrastar las decisiones de diseño deliberado en niveles más bajos con los resultados no deliberados y el comportamiento impredecible resultante en niveles más altos. Sin embargo, la fuente de lo que se denomina "emergencia" puede ser simplemente falta de conocimiento exhaustivo del sistema; teorías y modelos más completos pueden permitir explicar estos fenómenos. El cuadro 2 documenta, de forma ejemplar, elementos de la matriz de decisiones de diseño que surgen en las distintas capas. El hecho de que existan tales opciones de diseño no significa que realmente se hagan de manera deliberada, ya que también se pueden hacer de forma rutinaria o espontánea. Tampoco implica que estén en cualquier forma óptima. Con cada elección fragmentaria, las condiciones para las decisiones subsiguientes se están alterando. Estas alteraciones pueden ser reversibles, reversibles a un costo o totalmente irreversibles. A menos que una decisión sea totalmente reversible, las elecciones pasadas restringirán las opciones para decisiones futuras. El espacio de las opciones de diseño teóricamente posibles oscila entre uno, por ejemplo, si un proceso químico funciona sólo de una manera particular, a muchas alternativas, por ejemplo, con respecto a la topología de las redes o la organización de la gobernanza de servicios de infraestructura. Debido a las limitaciones impuestas por los componentes del sistema socio-técnico, sólo un subconjunto de este espacio teóricamente posible está dentro del ámbito de las opciones de elección factibles.

Tabla 2.- Las decisiones de diseño y la emergencia en los sistemas sociotécnicos

Escala de tiempo	Sub-sistema social	Sub-sistema técnico
Inclusión mayormente emergente	Las convenciones tácitas y las decisiones previas	Las convenciones tácitas y las decisiones previas
Entorno institucional emergente/deliberado	<b>División del poder; asignación de jurisdicción; marco jurídico; definición general de los derechos de propiedad</b>	<b>Selección de estándares, arquitectura de selección de tecnología</b>
Gobernanza deliberada/emergente	<b>Propiedad forma, las organizaciones y los métodos de reglamentación; diseño de mercado (entrada, número de licenciados, etc.)</b>	<b>Diseño técnico específico de artefactos, protocolos y rutinas para gobernar las decisiones operativas</b>
Operación y gestión deliberado	<b>Regulación de precios y condiciones, aplicación antimonopolio, regulación social</b>	<b>Ejecución de decisiones operativas</b>

A partir de ese espacio, se toman decisiones concretas que, tomadas en conjunto, constituyen una configuración específica de las opciones de diseño socio-técnico. Para tomar estas decisiones, es necesario comprender el funcionamiento del sistema y los criterios normativos que guían el diseño, como la eficiencia o la robustez. Sin embargo, como todas las decisiones de interés se toman en entornos sociales, el proceso de toma de

decisiones y las partes interesadas participantes también influirán en los resultados. Una rica literatura de Ciencias políticas explora estos efectos (para un resumen ver [Sabatier, 2003] y para un tratamiento analítico integrador [Tsebelis, 2002]). En el ámbito social, la combinación de opciones forma un acuerdo institucional particular (o diseño institucional). En el dominio técnico se podría referirse a un arreglo técnico específico (o diseño de artefactos). En conjunto, las realizaciones de diseño social y técnico forman un acuerdo socio-técnico altamente diferenciado y complicado (diseño socio-técnico) con las características de rendimiento únicas correspondientes.

#### INTERMEZZO 1. Puerto de Rotterdam

El puerto de Rotterdam, Países Bajos, tiene un gran conglomerado petroquímico que procesa el petróleo crudo entrante en numerosos productos finales. En las próximas décadas, el clúster puede verse cada vez más en riesgo de no suministrarse suficiente carbón y petróleo crudo, sobre el que se basa tan fuertemente. Con el fin de salvaguardar la competitividad del conglomerado en su conjunto, es importante reducir la dependencia de los combustibles fósiles aumentando la flexibilidad de las materias primas [Herder et al., 2008]. Como solución al problema de la inflexibilidad de las materias primas, se ha propuesto y diseñado un clúster industrial que alimenta el gas de síntesis [Stikkelman et al., 2006]. El gas de síntesis (o síntesis en corto) es una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno y es ampliamente utilizado para la síntesis de metanol y amoníaco. Syngas se produce mediante la gasificación de materias primas que contienen carbono, como el carbón, la biomasa, los desechos orgánicos, el petróleo crudo y el gas natural. Además de servir como materia prima genérica para las plantas de energía, el hidrógeno y el monóxido de carbono son importantes bloques de construcción e intermedios en la industria petroquímica. Además, síntesis es la principal fuente de alimentación para producir combustibles de transporte líquido Fischer-Tropsch: en lugar de refinar el petróleo crudo para crear gasolina y diesel, estos combustibles se sintetizan químicamente a partir de los bloques de construcción en síntesis. Los combustibles de diseño contienen menos azufre y, por lo tanto, son más respetuosos con el medio ambiente que el diesel y la gasolina convencionales. El monóxido de carbono y el hidrógeno también encuentran otras aplicaciones, por ejemplo en la reducción directa de hierro, en la que el mineral de hierro se reduce a hierro metálico sin utilizar altos hornos de energía intensiva. Es obvio que para el diseño de esta infraestructura energética se debe diseñar tanto el subsistema físico como el social, y que ambos subsistemas pueden considerarse complejos (con comportamiento emergente, incertidumbre profunda, fuerte interacción entre y el subsistema social, muchos actores). Refiriéndose al cuadro 2, sólo se abordan en este diseño el nivel de "operación y gestión" y el nivel de "gobernanza". En el diseño del sistema físico propuesto, que se aborda desde un marco de determinismo tecnológico más que desde una teoría de modelado social, se pueden considerar las topologías de red como el anillo, el bus central y las redes

estelares. Para la gobernanza de este sistema, se pueden reconocer tres tipos de estructura arquetípica: estructuras de jerarquía, de mercado o de red. Después de la confrontación del físico con las opciones del subsistema social, se eligió un sistema central de autobuses con una estructura de gobierno de red como base para otras actividades de diseño [Apotheker et al., 2007]. El diseño final propuesto consiste en una doble red de autobuses, con dos calidades diferentes de Syngas, debido a las consideraciones técnicas de "operación y gestión" (nivel más bajo, cuadro 1). El subsistema económico para esta infraestructura energética (es decir, diseño de mercado local de síntesis) comprende los sistemas de transacción a través de contratos bilaterales u operaciones de síntesis en un mercado spot de síntesis. Estas opciones de diseño están restringidas por las opciones de diseño técnico realizadas, como la topología de bus doble y las calidades de las Syngas. Por último, aplicando la teoría de Hughes sobre el desarrollo de sistemas a gran escala y avanzando a escalas de tiempo más grandes en la tabla 1, es obvio que las etapas iniciales del desarrollo de esta infraestructura energética son moldeadas por ingenieros y empresarios. La topología de red, las calidades de síntesis, las decisiones para diseñar y construir gasificadores a gran escala para producir síntesis son algunas de las decisiones más importantes. Entonces, cuando la producción y el uso de síntesis despeguen, la infraestructura energética puede expandirse lentamente y evolucionar principalmente por su propio impulso.

### G.3.- MARCOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS.

Esta sección revisa varios enfoques que han sido o podrían ser utilizados para diseñar aspectos funcionales de los sistemas socio-técnicos (no discutiremos aspectos de diseño estético). Debatimos brevemente, entre otras cosas, los enfoques de optimización limitados, los enfoques de sistemas y la teoría de la complejidad. Estos enfoques no son mutuamente excluyentes, pero a menudo se complementan entre sí. Difieren con respecto a sus fundamentos disciplinarios, su estructura paradigmática (los métodos utilizados y las preguntas planteadas), su postura básica con respecto a la posibilidad de un diseño de sistema sociotécnico deliberado, y las formas específicas en que tales diseños pueden ser realizados. Los problemas de diseño sociotécnico a menudo plantean "malvados" [Rittel y Webber, 1973; Conklin, 2006], problemas poco definidos y en evolución. Una manera de solucionarlos es reducir el espacio del problema hasta que los problemas de diseño se puedan formular como problemas más simples ("puzzles"). Como esto no siempre será posible, la dependencia de enfoques adaptativos dinámicos puede ser el único enfoque viable.

#### G.3.1.- Enfoques de optimización restringidos.

Una amplia gama de métodos para resolver problemas de ingeniería y diseño social pueden considerarse enfoques de optimización restringidos. Estos métodos tienen en común que un problema complicado y difícil de manejar se reduce a una escala manejable centrándose en las variables que pueden ser controladas o influenciadas. Otros factores relevantes se tratan como variables independientes y exógenas. La optimización restringida maximiza o minimiza una función objetiva sujeta a los valores posibles de las variables independientes. En los sistemas sociotécnicos casi todas las decisiones están limitadas a lugares de problemas de optimización sin restricciones. Las restricciones surgen, entre otras, de las características físicas del artefacto; las limitaciones de información de los responsables de la toma de decisiones (información incompleta, información distribuida de forma asimétrica, diversas formas de incertidumbre); limitaciones del proceso de toma de decisiones; las restricciones impuestas por las múltiples capas de sistemas sociotécnicos entre sí; y las restricciones que emanan de elecciones pasadas que no son totalmente reversibles. Puede ser posible utilizar la hipótesis de simplificación (metodológica) de que algunos de estos factores exógenos no cambian para explorar las relaciones entre un número limitado de ellos (cláusula *ceteris paribus*). Se pueden utilizar varias herramientas matemáticas y de otro tipo, que van desde la programación lineal y no lineal hasta el modelado computacional y el análisis de escenarios, en el desarrollo de soluciones para problemas de optimización restringidos. En este marco, un diseño (un diseño de ingeniería, un diseño institucional, etc.) es eficaz si es necesario y suficiente para causar un deseado o prevenir un resultado no deseado. Suficiencia implica que, siempre que un diseño está presente, un cierto resultado también es observable. La necesidad significa que este diseño particular se puede observar cada vez que un resultado está presente; sin embargo, también puede tener otros efectos. Este enfoque fue elegantemente formalizado por Tinbergen [1952] y Theil [1964] para el campo de la política económica. Sin embargo, se puede reafirmar para representar la esencia del enfoque de optimización restringida para el diseño de sistemas sociotécnicos. Adoptando la notación de Eggertsson [1998] el enfoque puede representarse de la siguiente manera. Una decisión genérica de diseño socio-técnico tiene cuatro aspectos: una función objetiva, un modelo del sistema a influir, variables de diseño y factores externos al sistema. La función objetiva  $W = W(x)$  expresa las preferencias sociales y/u objetivos de ingeniería. La interpretación más general es que  $W$  captura la valoración general de los diferentes estados por la sociedad, en otras palabras, una función de bienestar social. Un modelo del sistema  $x = f(a, z)$  especifica las relaciones teóricas y empíricas entre las variables de instrumento (diseño)  $a$ , los resultados  $x, y$ , las variables  $z$  que se pueden considerar externas al sistema. Estos instrumentos podrían ser medidas de política a discreción de un fabricante de políticas. Por ejemplo, un organismo regulador puede fijar el precio del uso de la red de transmisión de electricidad o de acceso a las redes de telecomunicaciones locales. Estas variables de instrumento son parte de un conjunto más grande de opciones de opción disponibles  $A$  ( $a \in A$ ) que típicamente también incluyen

otros instrumentos no relevantes para un caso específico. Las variables externas y los parámetros  $z$  son aquellos aspectos del sistema que, en un momento específico, no pueden ser controlados por el tomador de decisiones y por lo tanto son tratados como exógenos a la decisión de diseño. Para muchas decisiones a corto plazo, en particular a nivel operacional,  $z$  incluirá las características de la base tecnológica instalada y el entorno institucional existente. A mediano y largo plazo, la tecnología y los arreglos institucionales serán al menos parcialmente endógenos, formados por opciones de diseño. Dependiendo de la estructura del problema, los diferentes métodos, incluyendo los métodos analíticos o computacionales, serán los más adecuados para determinar los valores de los instrumentos que maximizan la función objetiva  $W(x^*)$ .  $x^*$  son los resultados deseados y óptimos que maximizan la función objetiva respectiva. El objetivo del diseño socio-técnico es encontrar los instrumentos óptimos  $u^*$ , que dependen de los resultados deseados  $x^*$  y dadas las condiciones externas  $z$ . Más formalmente,  $u^* = g(x^*, z)$ , es decir, la elección de una  $u^*$  genera resultados  $x^*$  que maximizan la función objetiva  $W^* = W(x^*)$  dadas las condiciones externas  $z$ . La vista de optimización restringida, a menudo asume tácitamente una división del trabajo entre los encargados de formular políticas, que determinan  $W(x)$  y los expertos, que revelan las relaciones teóricas y empíricas pertinentes  $f(a, z)$  y ayudan en la elección del instrumento de política óptima ( $s$ ). En la práctica, esta separación de roles raramente es mantenido como expertos y están involucrados en el establecimiento de objetivos, e incluso la elección de los instrumentos no es valor neutral (como afirman muchos defensores del paradigma de fin de medios, que es una expresión particular del enfoque de optimización restringida). Este marco se expresa a menudo de una forma mecánica y determinista [Mor, C'ol, 2002], pero también se puede formular de manera probabilística para reflejar información incompleta e incertidumbre [Morgan y Henrion, 1990]. La suposición predeterminada es que es posible controlar y dirigir un sistema socio-técnico. Sin embargo, en principio, el enfoque también permite situaciones en las que no se conoce ningún instrumento suficiente o cuando no se cumplen todas las condiciones necesarias para un control satisfactorio. En este caso, el problema de diseño no tiene ninguna solución viable conocida. Las contribuciones más recientes han modificado el modelo básico para tener en cuenta las complicaciones, en particular en el subsistema social, como la información incompleta, la incertidumbre y el comportamiento oportunista de los agentes. Estos enfoques abandonan la visión de los formuladores de políticas y de los diseñadores sociales como actores omniscientes, omnipotentes y benévolos [Dixit, 1996]. Más bien, todas las partes interesadas se ven como motivadas, al menos en parte, por su interés propio. En condiciones de información imperfecta, los principios (por ejemplo, los encargados de formular políticas) típicamente tienen información diversa disponible que los agentes (por ejemplo, los gerentes de una empresa regulada). Un desafío clave para el diseño es idear estructuras de gobernanza y procesos que sean compatibles con incentivos (es decir, revelar sinceramente la información que solo conocen). En esta nueva literatura, en particular la

investigación sobre el diseño de mecanismos, el diseño de instrumentos y arreglos institucionales se convierte en un problema más complicado, pero no imposible de resolver (por ejemplo, [Hurwicz y Reiter, 2006; Laffont y Tirole, 1993]). Una de las posibles deficiencias del planteamiento es el supuesto de que las regularidades subyacentes al funcionamiento del sistema socio-técnico son inmutables. Esto puede ser correcto con respecto a la física fundamental y posiblemente algunas leyes sociales, pero es al menos cuestionable con respecto a otros aspectos del diseño, como las opciones de deliberate, en particular en las capas superiores del sistema, a menudo se hacen con la intención de cambiar el funcionamiento del sistema. Las teorías institucionales en las ciencias sociales han reconocido desde hace tiempo el problema de que las decisiones individuales o los mercados están integrados y habilitados por sistemas complejos de reglas tácitas y formales (véase, por ejemplo, [North, 1990; Ostrom, 2005; Greif, 2006; Zak, 2008]). Otro aspecto de este debate es la noción de comportamiento en la sociología económica, señalando que el mundo representado en teorías y modelos está en sí mismo moldeado por medidas basadas en tales teorías [Callon, 1998; Aspers, 2007]. Visto desde esta perspectiva, la vista de optimización restringida no presta suficiente atención a la endogeneidad fundamental del funcionamiento de los sistemas sociales. Sin embargo, a pesar de estas debilidades, el modelo puede ser una aproximación viable para encontrar mejoras sobre el status quo, ante situaciones que se pueden tratar de forma fragmentaria.

### G.3.2.- Enfoques de sistema.

Desde la década de 1940, los científicos e ingenieros sociales han analizado los efectos de la tecnología de forma amplia. Comenzando con estudios críticos como los de Mumford [1963; 1967], el enfoque inicial fue sobre la incontabilidad y el impacto potencialmente devastador de la tecnología de gran tamaño. Más tarde, el énfasis se centró en las cuestiones de si las fuerzas sociales o tecnológicas eran motores principales y la capacidad de control de los sistemas sociotécnicos. El determinismo tecnológico y la teoría de la conformación social constituyen posiciones casi opuestas, reclamando un efecto dominante del subsistema técnico o social en la trayectoria de todo el sistema socio-técnico. Los defensores del determinismo tecnológico afirman que la evolución de la tecnología, que se ve en gran parte como un descubrimiento de las leyes y procesos existentes, determina las estructuras sociales [Chandler, 1995]. Las estructuras y procesos sociales sólo pueden adaptarse a sucesivas generaciones de tecnología. En versiones estrictas, incluso las opciones de diseño en el subsistema técnico son limitadas, como se desprende de los principios tecnológicos. En formulaciones menos radicales, la tecnología permite opciones de diseño, pero estas opciones técnicas, a su vez, determinan la evolución del subsistema social. La teoría de la conformación social, por otra parte, enfatiza el papel decisivo de los factores sociales en la evolución y, en particular, la aplicación de las tecnologías [MacKenzie y Wajcman, 1985; Williams y Edge, 1996]. Se argumenta que las tecnologías siempre están

socialmente integradas y que las decisiones críticas emanan del subsistema social. Gran parte de la teoría de la conformación social se centra en el papel del estado y el gobierno. Sin embargo, la influencia de los factores sociales también se observa, por ejemplo, en la organización de la R&D, la normalización y el desarrollo de aplicaciones y servicios. Mientras que la tecnología no es irrelevante, es maleable y fuertemente moldeada por las fuerzas sociales. Este enfoque se desarrolló aún más en la ahora muy popular escuela de estudios científicos y tecnológicos (STS), que considera los factores sociales y tecnológicos como una red transparente de interrelaciones [Bijker, Hughes, y Pinch, 1987]. Un terreno intermedio en estas discusiones está ocupado por teorías derivadas del estudio de grandes sistemas técnicos y los factores que influyen en su curso [Hughes, 1983; Mayntz y Hughes, 1988; Hughes, 2004; Mayntz, 2008c]. En el modelo de Hughes, las opciones de diseño de los ingenieros y empresarios individuales, son decisivos durante las primeras etapas del desarrollo de un gran sistema técnico. A medida que el sistema se expande a un alcance geográfico cada vez más amplio, desarrolla su propia lógica interna ("Momentum") y las opciones de diseño son menos influyentes. El enfoque ofrece una metáfora útil y un marco organizador para examinar la evolución de las industrias de infraestructura de red (ver la discusión en [Joerges, 1988] y [Sawhney, 2001]). Estudios posteriores encontraron que las trayectorias históricas específicas de los grandes sistemas técnicos no parecen seguir un solo patrón, sino que existen diferentes caminos para diferentes infraestructuras y contextos diferentes [Joerges, 1999]. Los enfoques anteriores de la teoría de los grandes sistemas técnicos reconocen pero no integran plenamente, la interacción entre los subsistemas técnico y social. Por ejemplo, Hughes [1983] explora las interacciones entre artefactos técnicos y el sistema social. Perrow [1994] es aún más explícito en su atención a los aspectos sociales y, en particular, en el papel de los intereses y el poder. Los enfoques más recientes han integrado explícitamente el papel del organismo y los contextos en la influencia de los resultados (véase, por ejemplo, [Sawhney, 2003; Ottens, et al., 2004; Geels, 2005]). El pensamiento integral del sistema se remonta a los escritores del siglo XVIII, que compararon sociedades con organismos (p. ej., [la Mettrie, 1748/1912]). La Cibernética [Wiener, 1948] inspiró el funcionalismo estructural de Parsons [1951]. Otros intentos de una teoría sistemática se hicieron con la teoría general de los sistemas [Bertalanffy, 1968] y la teoría de los sistemas matemáticos [Mesarovic y Takahara, 1975]. En Alemania, Luhmann [1995] y sus colaboradores desarrollaron una versión única de la teoría de sistemas con un fuerte énfasis en los procesos de comunicación dentro y entre subsistemas. Todos estos enfoques tienen en común que la reproducción del sistema impone ciertos requisitos funcionales. El diseño eficaz sólo es posible en la medida en que sea compatible con la lógica del sistema y los requisitos funcionales [Schneider y Bauer, 2007]. Los modelos de sistemas intentan comprender los procesos dinámicos generados por la interacción de los subsistemas de componentes, que a su vez pueden consistir en subsistemas que interactúan. En ese sentido, son una buena coincidencia con la estructura del problema de

los sistemas de múltiples capas que se encuentran en los sistemas sociotécnicos. Mientras que la teoría del sistema no es predominantemente una teoría del diseño, sus conocimientos pueden informar las acciones que configuran los sistemas sociotécnicos, al menos a nivel conceptual. Por ejemplo, señala que los sistemas estructurados de manera diferente pueden producir características de rendimiento general similares ("equivalencia funcional", véase [Ropohl, 1999]). Esto sugeriría que puede existir ningún diseño superior general de un sistema de infraestructura sociotécnica, por ejemplo, una organización de mercado totalmente desreglamentada. Más bien, los enfoques alternativos tendrán implicaciones diferentes para el rendimiento del sistema. La noción de sistema de sistemas (SOS) es otra respuesta a la necesidad de captar mejor los aspectos sociales de los sistemas técnicos y de tener mejor en cuenta el comportamiento de los actores en los sistemas sociotécnicos [Sage, 2001; DeLaurentis, 2004; Boardman, 2006]. El concepto SOS no es sólo un modelo "box-in-a-Box". DeLaurentis [2004] argumenta que los SOS tienen los tres rasgos siguientes que los distinguen de los sistemas regulares: (1) están distribuidos geográficamente; (2) su funcionalidad general depende principalmente de los vínculos entre los sistemas distribuidos; y (3) los sistemas son heterogéneos, especialmente debido a la inclusión de sistemas sensibles, como el pensamiento y la evolución de individuos u organizaciones. El paradigma de SOS requiere que los diseñadores consideren el sistema que se estudia o diseña a partir de un nivel de sistema más alto, es decir, las capas superiores de la tabla 2, ya que estas son las capas donde se observan más prominentemente los impactos de los cambios en las capas inferiores del sistema. Una consecuencia importante de la heterogeneidad del sistema es que los niveles más altos del sistema a menudo muestran un comportamiento impredecible. La toma de decisiones y el diseño en el paradigma de SOS requiere un enfoque que atraviesa varios dominios, combinando, por ejemplo, las decisiones económicas con el diseño de ingeniería y la elaboración de políticas sin perder los puntos fuertes de cualquiera de los modelos de dominio [de Bruijn y Herder, 2009]. Actualmente, un cuello de botella importante para el diseño de SOS adecuado es la falta de un marco común o léxico [DELAURENTIS, 2004]. El uso de un lexicón común permitirá a los diseñadores cambiar de perspectiva de manera oportuna en lugar de intentar forzar el paradigma de un dominio en la chaqueta recta de otro. El modelado basado en agentes y los "juegos serios" son herramientas emergentes de modelado y diseño de SOS [de Bruijn y Herder, 2009]. Como métodos relativamente nuevos, el primero tiende a simplificar excesivamente el comportamiento de los actores en los SOS, mientras que los juegos serios probablemente degraden indebidamente la complicación de la ingeniería de los SOS.

### G.3.3.- Teoría de la complejidad.

La teoría de la complejidad se originó en las ciencias físicas y biológicas y se aplicó sucesivamente a los sistemas sociales en un intento de entender los procesos dinámicos que

eran difíciles de explicar con los modelos de equilibrio prevalecientes [Rosser, 1999; Beinhocker, 2006]. Recientemente se ha aplicado a problemas relacionados con la gobernanza y el diseño de sistemas sociotécnicos (véase [Longstaff, 2003; Mitleton-Kelly, 2003; Cereza, 2007; Schneider y Bauer, 2007; Bauer y Schneider, 2008; Duit y Galaz, 2008]). Los eruditos en esta tradición reconocen que estos sistemas pueden operar en diferentes estados. Por ejemplo, Kauffman [1993; 1995] distingue el orden, el borde del caos y un estado caótico. Los regímenes ordenados pueden ser estables u oscilar entre dos o más posiciones. Mientras que los regímenes ordenados son predecibles, el estado de los límites del caos y los regímenes caóticos no se puede prever con precisión. No obstante, se puede conocer la posición general del sistema [Mor, 2002, p. 156]. Los sistemas complejos pueden someterse a transiciones de fase. Los sistemas ordenados pueden volverse caóticos; por el contrario, los sistemas caóticos pueden llegar a ser ordenados. Los sistemas complejos a menudo exhiben un comportamiento dinámico no lineal. Muestran un alto grado de diversidad y los agentes en el sistema están conectados a través de múltiples flujos a través de redes de nodos y conectores [Holanda, 1995; Colander, 2000; Axelrod, 1997]. Esto puede conducir a un comportamiento emergente, es decir, un comportamiento general complicado del sistema que se trasluce de simples comportamientos y reglas de nivel de sistema más bajo. En los sistemas sociotécnicos, la complejidad se introduce predominantemente en el subsistema social, pero también se puede encontrar en los aspectos de la ingeniería. Debido a la multiplicidad de enlaces en sistemas adaptativos complejos, la limitada capacidad de los actores para influir en las condiciones generales del sistema, la adaptación de los actores a las condiciones cambiantes del sistema, y la imprevisibilidad del sistema, eficaz los diseños sociotécnicos son difíciles de determinar, si no es imposible. Como los diseños e intervenciones raramente se basan en una comprensión completa de todas las interacciones relevantes y los efectos dinámicos, las elecciones específicas a menudo también tienen efectos imprevistos. Sólo en raras circunstancias ("puntos de apalancamiento") será posible diseñar e implementar diseños integrales efectivos, aunque incluso en estos casos las implicaciones completas de las elecciones sólo pueden realizarse en retrospectiva. Uno de estos puntos de apalancamiento es la revisión del marco legal y reglamentario de un sector ("momentos constitutivos", véase [Starr, 2004]). En la mayoría de las otras condiciones, los diseños específicos en el mejor de los casos, "empujar" el sistema general en la dirección deseada [Brock y Colander, 2000], con el efecto general modificado por retroalimentación positiva y negativa. La lente de complejidad no proporciona necesariamente respuestas radicalmente nuevas y diferentes al problema del diseño socioeconómico, pero aporta conocimientos adicionales. Aún no ha desarrollado un marco prescriptivo totalmente articulado para el diseño de sistemas. Aunque las nociones de resultados inesperados y fenómenos no lineales son comunes en las disciplinas de la ingeniería tradicional (véase [Kroes, 2009]), la teoría de la complejidad amplía considerablemente esta perspectiva. Al igual que la teoría de sistemas, pone de

relieve la importancia de las normas generales, dentro de las cuales un sector evoluciona, sobre su rendimiento, sin afirmar que exista un conjunto de normas preferidas (por ejemplo, un mercado "no regulado"). La complejidad es una cuestión de grado. Si una industria está en equilibrio estático o en una ruta de expansión de estado estacionario, la información obtenida de la teoría de la complejidad convergería con los resultados de los modelos de optimización restringidos. Sin embargo, si estas condiciones no se cumplen — y las industrias de infraestructura recientemente desreglamentadas probablemente no están en tal estado de equilibrio — señala aspectos que a menudo se pasan por alto por otros enfoques. El énfasis en la imprevisibilidad desafía las nociones tradicionales de diseño. En casos extremos, el diseño no será posible. La teoría de sistemas adaptativos complejos, sin embargo, da un conocimiento que puede ser utilizado para el diseño de sistemas incluso en estas situaciones. En primer lugar, contribuye al proceso de diseño, donde anima a los diseñadores a modelar sistemáticamente todos los efectos de retroalimentación y a buscar con tenacidad las interrelaciones posiblemente ignoradas que podrían causar consecuencias imprevistas. Estas exploraciones sistemáticas se facilitan en gran medida por las técnicas de modelado por ordenador (por ejemplo, [Koza, 2000; Sherman, 2000; Sawyer, 2005; Epstein, 2006]). En segundo lugar, si se dispone de diseños alternativos, fomenta esas opciones que crean sistemas más resilientes que pueden recuperarse de "accidentes normales", en particular en sistemas estrechamente acoplados [Perrow, 1994] o diseñando más organizaciones modulares, procesos, y productos [Perrow, 2008]. Un ejemplo bien conocido del éxito de este diseño es la Internet global (véase *Intermezzo 2*, p. 615). En tercer lugar, la teoría de sistemas adaptativos complejos, identifica varios procesos para el rendimiento ("aptitud" en la terminología de [Kauffman, 1983; 1995]). Una estrategia de "caminata adaptable" varía las características individuales del diseño y observa sus efectos en el rendimiento del sistema. Solo se conservan los cambios en el diseño que mejoran el rendimiento. Estas estrategias se aproximarán gradualmente a un óptimo local, pero pueden ser insuficientes para llegar a una alternativa, posiblemente superior óptima si requeriría incurrir en pérdidas de eficiencia temporales. Por ejemplo, la realización de un sistema de suministro energético global más eficiente puede requerir ineficiencias a corto plazo durante la reorganización del sistema. En tales casos, la "aplicación de parches", la asignación de tareas a unidades distribuidas combinadas con algún mecanismo de coordinación general, podría ser una estrategia factible. Por ejemplo, el federalismo puede considerarse una forma de un mecanismo de parcheo: los Estados individuales pueden servir como laboratorios para nuevas políticas de las que un gobierno federal puede entonces elegir enfoques exitosos que se aplican a todo el sistema [Cherry, 2008]. Tal enfoque puede tener propiedades deseables y permitir que el sistema alcance más alto que solo óptima local.

## INTERMEZZO 2: DISEÑO Y SURGIMIENTO EN INTERNET.

Internet es una red global de redes de múltiples capas. Su base física es un conjunto heterogéneo y diverso de redes de comunicaciones especializadas y de propósito general. Estos comprenden, por ejemplo, las redes troncales globales, regionales y nacionales, así como las redes de acceso local. Mientras que las redes troncales son redes electrónicas digitales y/o ópticas rápidas, se utiliza una mayor variedad de tecnologías en las redes de acceso. Estas plataformas de acceso pueden ir desde líneas telefónicas de pares retorcidos tradicionales (limitadas a velocidades de acceso bastante bajas) a diversas formas de tecnologías de banda ancha cableadas e inalámbricas que permiten velocidades de datos mucho más altas. Las tecnologías de acceso importante por cable, incluyen la línea de abonado digital (DSL), los cables módems y las redes de fibra ópticas. Las tecnologías de acceso inalámbrico comprenden plataformas móviles, nómadas y estacionarias. Esta multitud de medios técnicos de comunicación se integran en una web sin fisuras, de extremo a extremo, por protocolos lógicos — lo más importante es el conjunto de protocolos TCP/IP — que residen en estos artefactos técnicos. Durante sus etapas iniciales, aunque financiadas con fuentes gubernamentales, las convenciones en el centro de la infraestructura lógica de Internet surgieron de formas voluntarias de coordinación entre los pioneros de la computación y las comunicaciones de datos. Opciones de diseño, como el principio de extremo a extremo (lo que resulta en una red que es esencialmente una infraestructura de transporte de información tonta que permite la "inteligencia" y las aplicaciones para residir en la periferia de esa red) o las convenciones de numeración de los nodos en la red, fueron respuestas pragmáticas a problemas específicos. A medida que la red creció más allá de un número limitado de nodos, estos principios de diseño tempranos se mantuvieron y moldearon la red en rápida expansión. Cuando la red inicial operada por el gobierno en los Estados Unidos fue privatizada y operada cada vez más por empresas comerciales en el decenio de 1990, los mecanismos informales de gobernanza de Internet se incrementaron con una estructura más formal [Mueller, 2003]. En un principio, esto se logró con la creación de la Corporación de Internet para nombres y números asignados (ICANN) sin fines de lucro. La ICANN está asistida en sus tareas, que incluyen aspectos técnicos y operacionales de Internet, así como convenciones de numeración y nombres de dominio, por dos organizaciones de apoyo, la organización de apoyo a la dirección (ASO) y el nombre de dominio Organización que apoya (DNSO). Muchos registradores del sector privado logran la administración de nombres de dominio a nivel operativo. Estos son coordinados por cinco registros regionales de Internet (RIRs) como RIPE para la región europea o AfriNIC para África, que, a su vez, cooperan en la autoridad de números asignados de Internet (IANA). En las dos cumbres mundiales patrocinadas por la ONU sobre la sociedad de la información (CMSI) en 2003 y 2005, se añadió una nueva estructura de gobernanza global, asignando el desarrollo de políticas al foro de gobernanza de Internet

(IGF), que se organiza como un diálogo de políticas de múltiples partes interesadas. Internet también se ve afectado por las opciones de diseño en el nivel de las redes de acceso de apoyo. Las decisiones operativas son realizadas por un gran número de empresas, organizaciones sin fines de lucro y operadores gubernamentales. Estos son en diversos grados regulados por organismos nacionales de reglamentación, organismos regionales, como la Comisión Europea, y organismos internacionales como la Unión Internacional de telecomunicaciones (UIT) o la Organización Mundial de la propiedad intelectual (OMPI). Estas organizaciones cooperan con las organizaciones nacionales directamente en grupos de trabajo que definen normas y principios operacionales, así como en conferencias regionales y mundiales que establecen políticas, cuyos resultados se adoptan con modificaciones en leyes y regulaciones. El contenido que viaja por Internet está, además, fuertemente influenciado por los sistemas políticos nacionales y las leyes que rigen la libertad de expresión. Por otra parte, se forma por la creciente preocupación sobre la seguridad de la información [Zittrain, 2008]. El sistema socio-técnico resultante fue y, por tanto, está conformado por muchas decisiones descentralizadas, coordinadas e integradas en diferentes capas del sistema. Las decisiones en niveles superiores resultaron inicialmente de formas de coordinación ascendente. A medida que Internet crecía en complejidad, se añadieron niveles de gobernanza cada vez más elevados, añadiendo una dirección de gobierno de arriba hacia abajo. En este proceso, las opciones anteriores crearon muchas formas de dependencia de la ruta, lo que influyó en la elección de las subsiguientes opciones. El sistema general emerge de estas secuencias de decisiones, pero ningún actor o grupo de actores controla el camino evolutivo general.

#### G.3.4.- Una evaluación comparativa.

Estas teorías tienen consecuencias muy diferentes para el diseño de sistemas sociotécnicos. El enfoque dominante de optimización restringida asume tácitamente que los sistemas sociotécnicos pueden controlarse y que se pueden encontrar y aplicar soluciones suficientes para un problema de diseño. Dependiendo del diagnóstico del problema primario, se diseñarán diferentes soluciones o mezclas de soluciones. Los sistemas y los enfoques de complejidad son más cautelosos en cuanto a si los sistemas sociotécnicos pueden controlarse por completo. El diseño de estos sistemas se considera un proceso adaptativo e incremental, plagado de eventos imprevistos. Sin embargo, incluso estos enfoques ven un espacio considerable para el diseño deliberado de aspectos sociales y técnicos y la mejora de los diseños en procesos físicos y virtuales (simulados) de ensayos y errores. Con pocas excepciones, se reconoce típicamente que las decisiones de diseño se toman bajo información limitada y tendrán que ser adaptadas a medida que los efectos se vuelvan visibles y/o las condiciones externas cambien. Para hacer realidad los valores públicos generales, los SOS y, en particular, los enfoques de complejidad tienden a ver un papel más grande y más eficaz en el diseño de las meta-condiciones, el "orden" de un sector

en lugar de intervenciones específicas en el nivel operativo de los aspectos sociotécnicos sistemas tal como se manifiestan en las capas institucionales y de gobernanza del sistema, tal como se describe en los cuadros 1 y 2. Todos los enfoques ven un amplio espacio para el diseño de artefactos. El enfoque de optimización restringida puede haber sido una simplificación razonable, mientras que los sistemas de infraestructura se organizaron como monopolios (estatales). Esta configuración dio a los planificadores sociales y diseñadores un amplio control sobre el curso de la industria. Incluso si se hicieran errores de planificación y diseño, generalmente era posible llegar a enfoques consistentes (si al precio de menor eficiencia y mayor costo). Las reformas que comenzaron en la década de 1960 en los Estados Unidos y en la década de 1980 en otras partes del mundo han reemplazado el enfoque de monopolio histórico con un entorno de mercado más abierto y competitivo. Estas medidas también han complicado los requisitos de coordinación y, por diversas razones, han reducido el control efectivo de cualquiera de los actores, incluidos los encargados de formular políticas. Las decisiones de diseño socio-económico en el nuevo entorno se harán en una secuencia de decisiones más parciales y limitadas. Sólo si el problema general del diseño puede segmentarse de tal manera que cada mejora local incremental contribuya también a mejorar el rendimiento global del sistema, el enfoque de optimización restringida producirá resultados fiables. En general, la nueva realidad del diseño de la infraestructura sociotécnica se refleja mejor en los modelos de sistemas de múltiples partes interesadas y en la teoría de la complejidad. En la práctica, también se refleja en un cambio de las formas de diseño orientadas a los resultados a las formas orientadas a los procesos de diseñar aspectos tanto institucionales como técnicos.

#### G.4.- FUNDAMENTOS NORMATIVOS, OBJETIVOS DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.

La sección anterior ha identificado los marcos generales y ha explorado si y en qué medida los sistemas sociotécnicos pueden diseñarse y controlarse. Ninguno de los enfoques revisados rechaza la noción de que se pueden tomar decisiones deliberadas para diseñar aspectos de los sistemas sociotécnicos, aunque divergen con respecto a la capacidad de los agentes para influir en el sistema general y en su dinámica. Como actúan, las decisiones de diseño se basan necesariamente en visiones de los objetivos que deben realizarse [Bromley, 2006], incluso si esa visión no se puede articular plenamente y cómo debe ser realizada. Esta sección revisa los objetivos de diseño seleccionados y las variables de diseño/decisión asociadas para los sistemas sociotécnicos formulados por ingenieros, economistas, abogados y planificadores sociales. También debatimos brevemente las relaciones entre estos objetivos y cómo es posible que se reconcilien las tensiones, si acaso.

##### G.4.1.- Objetivos generales.

El área de objetivos de diseño se formula de múltiples maneras y se amalgaman en sistemas de objetivos más o menos coherentes. En las industrias de infraestructura, importantes objetivos generales y específicos se liquidan en un discurso político y social, típicamente por los jugadores con diferente información y poder para influir en los resultados. Esos "valores públicos" reflejan un "consenso normativo sobre (a) los derechos, beneficios y prerrogativas a los que los ciudadanos deben y no deben tener derecho; (b) las obligaciones de los ciudadanos para con la sociedad, el estado y entre sí; y (c) los principios sobre los cuales deben basarse los gobiernos y las políticas "[Bozeman, 2007, p. 17]. En ese sentido, los valores públicos en lugar de la noción más ambiciosa y vaga del "interés público" reflejan las visiones orientadoras de una entidad social, como las comunidades locales, las regiones, las Naciones o los regímenes súper nacionales. Los valores públicos no son estables, sino que cambian con el tiempo, en respuesta a los valores sociales generales, el cambio tecnológico y los intereses de las partes interesadas. Los valores públicos tienen una doble naturaleza: proporcionan orientación, pero también pueden invocarse de forma oportunista para justificar acciones motivadas por objetivos privados y especiales en lugar de públicos. Las industrias de infraestructura, al igual que otras actividades sociales y económicas, abundan con este comportamiento oportunista de todas las partes interesadas privadas y públicas (véase Heuvelhof et al] para un debate más extenso). Debido al comportamiento oportunista y a las limitaciones y desafíos del diseño socio-técnico, la implementación práctica de los valores públicos y su operacionalización específica pueden desviarse de los efectos previstos. En ese sentido, los diseñadores socio-técnicos pueden fallar en lograr valores públicos declarados y consentidos. Esto debe ser juzgado predominantemente basado en los resultados de opciones de diseño específicas en lugar de motivaciones expresadas. El cuadro 3 resume objetivos de diseño específicos importantes. Algunos de estos objetivos se derivan de los valores públicos y del discurso público asociado. Parte de este discurso se basa en los hallazgos de disciplinas relevantes para el diseño sociotécnico, como la ingeniería, la economía y la ley. Las contribuciones de estas disciplinas son particularmente importantes cuando los objetivos más amplios (como el suministro equitativo) se están haciendo operativos como objetivos más específicos (por ejemplo, un modelo específico de financiación de servicios universales). La economía goza de una posición única entre estas disciplinas. Muchas decisiones sociales y de ingeniería pueden ser enmarcadas en términos de los beneficios y costos asociados con un curso de acción específico. Por lo tanto, el enfoque económico ofrece un marco genérico capaz de ocuparse de las cuestiones de ingeniería y diseño social en un marco unificado. Al menos en principio, siempre que se pueda expresar un problema en términos de costo-beneficio, el análisis económico puede tratar de manera encomiada los aspectos cuantitativos y cualitativos de las decisiones sociotécnicas. Cada problema de optimización de ingeniería tiene un problema de optimización económica dual. Asimismo, cada solución a un problema de diseño social tiene consecuencias económicas y también puede expresarse como un

problema de optimización económica. Con los conceptos normativos de eficiencia y optimización del bienestar, la economía también tiene amplios criterios para acceder a los resultados del diseño. En consecuencia, la economía ha desempeñado un papel importante en los debates sobre la reforma de la infraestructura de las últimas décadas. Sin embargo, a pesar de su elegancia teórica, en la práctica el razonamiento económico tiene serias limitaciones debido a la prevalencia omnipresente de incertidumbre, información incompleta y la naturaleza intangible de algunos valores públicos que a menudo son demasiado elusivos para determinar costos y beneficios. Si los costos y beneficios no pueden expresarse en términos monetarios, se pueden emplear otras formas de optimización multifactorial

#### G.4.2.- Objetivos de diseños específicos.

Desde una perspectiva de ingeniería, se han formulado múltiples objetivos específicos de diseño, muchos de ellos relacionados con la importancia fundamental de los servicios de los sistemas de infraestructura sociotécnica para la sociedad. Estos incluyen eficiencia técnica, robustez, flexibilidad, seguridad, estabilidad/seguridad, resiliencia, modularidad y capacidad de control. La eficiencia técnica se refiere a la tasa del artefacto para transferir entradas en salidas, por ejemplo el procesamiento de gas en electricidad, o la transformación de voz en una señal digital. A través de la selección de la tecnología y la elección de las condiciones de funcionamiento correctas, esta eficiencia se maximiza típicamente, por lo que otros objetivos de diseño a menudo se tratan como restricciones. La solución productivamente eficiente (costo más bajo) se puede encontrar entre las soluciones técnicamente eficientes, evaluando los insumos y los productos a su valor económico.

La robustez y la flexibilidad se refieren a la capacidad del sistema para responder a los cambios en su entorno. Los sistemas robustos, realizados por ejemplo por el sobredimensionamiento de un artefacto, son capaces de seguir funcionando en el nuevo entorno sin cambiar su diseño interno, tecnología o funcionamiento. Por otro lado, los sistemas flexibles responden y se adaptan al entorno modificado, por ejemplo, cambiando las condiciones de funcionamiento. El sobredimensionamiento puede dar lugar a problemas de altos costos hundidos (costos que no se pueden recuperar si se termina un proyecto). Una manera de adaptar el sistema sin quedar atrapado por un gran costo hundido es introduciendo y seleccionando los estándares correctos, ya que la estandarización permite la modularización. Los sistemas que se construyen a partir de módulos más pequeños se pueden cambiar y reemplazar y actualizar relativamente fácil sin tener que alterar todo el sistema.

**Tabla 3.- Las metas y variables de diseño típicas para los sistemas socio-técnicos**

	Técnicas <-----> Sociales		
	Ingeniería	Económicas	Legales/Políticas
<b>Los típicos objetivos de diseño</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Eficiencia técnica</li> <li>● Robustez</li> <li>● Flexibilidad</li> <li>● Seguridad</li> <li>● Estabilidad/Seguridad</li> <li>● Resiliencia</li> <li>● Modularidad</li> <li>● Controlabilidad</li> <li>● Sustentabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Eficiencia (técnica, productiva, ubicación, dinámica)</li> <li>● Adaptabilidad/Resiliencia</li> <li>● Estabilidad/Seguridad</li> <li>● Universalidad</li> <li>● Sustentabilidad</li> <li>● El control del poder de mercado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Constitucionalidad</li> <li>● Legalidad</li> <li>● Responsabilidad</li> <li>● Transparencia</li> <li>● Justicia</li> <li>● Equidad</li> <li>● Universalidad</li> <li>● El control del poder político</li> </ul>
<b>Variables de diseño típicos (ejemplos)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tecnología</li> <li>● Topología de red</li> <li>● Capacidad/Rendimiento</li> <li>● Suministros</li> <li>● Dimensiones</li> <li>● Materiales</li> <li>● Estándares</li> <li>● Condiciones de operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Diseño de mercado</li> <li>● Producto/Servicio</li> <li>● Método de Producción</li> <li>● Regulación de precios</li> <li>● Las organizaciones de reglamentación</li> <li>● Derecho de la competencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Leyes</li> <li>● Marco regulatorio</li> <li>● Derechos y obligaciones</li> <li>● Sistema de derechos básicos</li> <li>● Las obligaciones universales de servicio /fondos</li> <li>● La cesión de activos</li> </ul>

En el diseño modular, la forma más eficiente de interconexión es mediante el uso de estándares. La mayoría de estos objetivos se relacionan con las operaciones y el diseño de los artefactos técnicos, pero algunos pueden requerir arreglos sociales complementarios para ser implementados eficazmente. Por ejemplo, es mejor que se persigan los objetivos de normalización. Si una norma, una vez desarrollada, es obligatoria en lugar de adoptarse de forma voluntaria. El diseño de los aspectos sociotécnicos también está fuertemente influenciado por los objetivos originados en la ciencia política y la jurisprudencia. Los objetivos más importantes son la constitucionalidad, la legalidad, la rendición de cuentas, la transparencia, la justicia, la equidad y la universalidad del acceso. Estos objetivos tienen aspectos orientados al proceso, así como aspectos sustantivos. Por ejemplo, la constitucionalidad de un acuerdo puede implicar que corresponde a las disposiciones sustantivas de la Constitución respectiva (por ejemplo, con respecto a la toma de propiedad privada en pos de objetivos de interés público) o puede tener requisitos (por ejemplo, que una medida se formula siguiendo procesos constitucionalmente prescritos). Los objetivos jurídicos son de particular importancia para el diseño de las organizaciones encargadas del desarrollo de políticas específicas para sistemas sociotécnicos (por ejemplo, organismos

reguladores, departamentos ministeriales, autoridades de competencia). Diseñar el marco legal y reglamentario general (el "orden" o "Constitución") de un mercado y de un sector económico completo es una de las tareas de diseño más importantes que se enfrentan actualmente en los sistemas sociotécnicos. La escuela de economía Constitucional ha dedicado especial énfasis a estas cuestiones (véase [Vanberg, 2005] para un análisis sucinto de la posición), aunque tiende a subestimar el papel de los demás componentes del acuerdo sociotécnico. Gran parte del debate sobre la reforma regulatoria, que está dirigido fundamentalmente a rediseñar el marco social de las industrias de infraestructura, se basa en conceptos económicos. Las metas importantes indicadas por los economistas para el diseño de los arreglos institucionales y sectoriales son la eficiencia técnica, la eficiencia productiva, la eficiencia locativa, la eficiencia dinámica (innovación), la adaptabilidad/resiliencia, la estabilidad/seguridad, universalidad del acceso a los servicios y la sostenibilidad. Algunos de estos objetivos se superponen con los objetivos de ingeniería. Esto no es sorprendente, ya que muchos objetivos económicos tendrán que ser implementados utilizando una solución de ingeniería específica, o pueden lograrse eligiendo entre soluciones de ingeniería y económicas. A menos que se disponga de una solución de ingeniería técnicamente viable y rentable, las propuestas de política económica son inútiles. La eficiencia productiva se refiere a producir cualquier salida dada con la combinación de insumos de menor costo. La eficiencia de ubicación requiere, de forma intuitiva, que la mezcla de bienes y servicios producidos coincida con su valoración por parte de los consumidores. La eficiencia dinámica se refiere a la tasa de innovación en un sistema y a las decisiones de asignación de recursos inter temporales asociadas. Los economistas se han centrado tradicionalmente en estos objetivos de eficiencia y han subyugado todas las decisiones de diseño para cumplir estos criterios. Es un Teorema fundamental de la economía del bienestar que bajo ciertas condiciones ideales las decisiones descentralizadas por actores individuales en mercados competitivos optimizarán el bienestar, al menos en el sentido de un Pareto-Optimum, un estado en el que nadie puede ser mejor sin hacer que otra persona empeorará (por ejemplo, [Friedman, 2002; Just et al., 2004]). En otras condiciones, por ejemplo, la prevalencia de externalidades, las buenas características públicas, la existencia de características de monopolio natural, este resultado no se puede sostener y la intervención social podría acercar el sistema al óptimo. Además, incluso si un sistema descentralizado funciona en principio, las formas de deficiencia del mercado pueden requerir intervenciones para asegurar ciertos valores públicos, como la universalidad del acceso a los servicios de infraestructura. Muchas de estas opciones de política violarán las suposiciones relativamente estrictas del criterio de Pareto y tendrán impactos distributivos, por lo tanto, crearán ganadores y perdedores en comparación con el statu quo ante. Se han desarrollado otros criterios de bienestar, como el test de compensación Kaldor-Hicks (véase [Just et al., 2004]). Este último pregunta si los beneficiarios de una decisión están mejor incluso después de compensar a los perdedores

de una decisión (sin exigir que esas transferencias tengan lugar realmente). Este es esencialmente el criterio que sustenta el análisis de costes y beneficios. Sin embargo, como la política tiene lugar dentro de instituciones imperfectas y es implementada por actores imperfectos, el diseño de políticas en sí puede ser defectuoso. El gobierno o la falta de gobernanza pueden poner en peligro diseños de políticas bien intencionadas. Así, en condiciones de mundo real, el diseño sociotécnico tiene que encontrar un equilibrio adecuado entre los mercados imperfectos y el gobierno imperfecto. En gran parte, las decisiones de diseño sectorial, incluyendo si se permite la competencia, cómo apoyar la competencia en segmentos de mercado con fuertes tendencias monopolísticas, y cómo definir los derechos y obligaciones de los diferentes actores, se hacen sobre la base de fundamentos económicos. Estas opciones de diseño también deberían recurrir a bases jurídicas y de otro tipo, incluido el pensamiento científico político, al idear soluciones para la asignación de deberes a diferentes organizaciones, la organización de los procesos que apoyan la toma de decisiones en una base, y los métodos de resolución de conflictos a adoptar. Qué sistema de derechos básicos debe adoptarse (propiedad privada, bienes comunes o acceso abierto) y cómo las reglas de responsabilidad deben definirse, si las hay, también son decisiones fundamentales. En un documento seminal, Coase [1960] señaló que la cesión y la especificación de los derechos eran irrelevantes en ausencia de costos de transacción, ya que las negociaciones permitirían encontrar una solución óptima. Sin embargo, ahora se reconoce ampliamente que en circunstancias reales, donde los costos de transacción juegan un papel, las opciones institucionales sí importan y tienen implicaciones directas para el desempeño y la evolución del sector en general.

#### G.4.3.- Implementación.

Después de la segunda guerra mundial, la opinión predominante era que el Gobierno podía controlar la tecnología y los procesos sociales. Sin embargo, con el fracaso de los programas importantes durante la década de 1970, como las luchas contra la pobreza, el desempleo y los ciclos de negocios, esta visión fue sustituida por una perspectiva más humilde, reconociendo los límites para controlar los sistemas sociotécnicos mediante intervención gubernamental. Los científicos sociales también se volvieron más conscientes del hecho de que, probablemente parcialmente en respuesta a los déficits gubernamentales, el control gubernamental se complementaba cada vez más y en algunos casos se sustituía por otras formas de coordinación social, incluida la autorregulación por las partes interesadas, la co-reglamentación en la que colaboran el sector público y el privado, y la representación de grupos de interés (por ejemplo, en asociaciones empresariales y grupos de interés público) [Streeck y Schmitter, 1985; Latzer, et al., 2002]. El enfoque pasó del gobierno a la gobernanza, un término genérico que se refería a estas múltiples formas de coordinación social. En estos arreglos emergentes que distinguen entre el objeto y el tema de la gobernanza es más difícil [Mayntz, 2008c]. Además de los cambios en las formas de

gobernanza local y nacional, las cuestiones de diseño sociotécnico que afectan a las industrias de infraestructura se abordan cada vez más a nivel regional y mundial súper-nacional, aunque no todas las industrias de infraestructura están internacionalizadas en la misma medida. Existe una amplia gama de acuerdos y mecanismos de gobernanza mundiales en las infraestructuras y el transporte de la información y las comunicaciones, pero en otros ámbitos, como la energía, siguen prevaleciendo acuerdos multilaterales y regionales más limitados. Las organizaciones regionales como la Unión Europea se han convertido en actores fuertes que configuran las redes de infraestructura, al igual que organizaciones mundiales como la Unión Internacional de telecomunicaciones (UIT) o la Organización Mundial del comercio (OMC). En ese nivel, es aún más complicado identificar el objeto y el tema de las decisiones de diseño. Por ejemplo, en las organizaciones intergubernamentales, los temas y objetos de las decisiones son idénticos (gobiernos nacionales). Muchas cuestiones se discuten dentro del sector cívico, las organizaciones no gubernamentales que no tienen una jurisdicción o un poder de aplicación claros [Mayntz, 2008b]. En consecuencia, cuanto mayor sea el número de jugadores y el más débil en su capacidad para diseñar y controlar, más probable es que el conjunto de políticas que cumple simultáneamente todos estos requisitos es pequeño o incluso vacío. A pesar de este desenfoco de las formas tradicionales de control gubernamental, hay evidencia sustancial de que los grandes Estados nación siguen siendo actores clave [Drezner, 2007].

Frente a estos fondos duales de las formas cambiantes de control social y creciente criticidad de las infraestructuras para la sociedad, la cuestión de su controlabilidad merece ser revisado. Una de las razones de la capacidad de control reducida es el resultado de elecciones de diseño deliberadas previas: en la mayoría de los sectores, algunos segmentos del mercado han sido parcial o incluso totalmente desregulados. Considerando que los aspectos técnicos y sociales podrían, en principio, diseñarse colectivamente, se ha hecho una elección para restringir esas decisiones de planificación y de desplazamiento a empresas y usuarios descentralizados. Las medidas dirigidas hacia las partes reguladas restantes pueden, por lo tanto, verse socavadas por acciones en la parte desregulada de la industria. Esto se ve reforzado por adaptaciones en la tecnología y la organización del mercado de las industrias de infraestructura, como visible, entre otras, en el fenómeno de la convergencia (la provisión de múltiples servicios de infraestructura por una organización y el aumento de (Inter) dependencia entre las industrias de infraestructura). Por lo tanto, la trayectoria general del sistema no está controlada por ingenieros y planificadores sociales, sino que surge de la interacción de múltiples partes interesadas. Por lo tanto, las industrias de infraestructura han evolucionado de un sistema de monopolio controlable a un sistema dinámico adaptativo menos controlable [Bauer, 2004]. La asunción explícita o implícita de los encargados de formular políticas es que las eficiencias más elevadas previstas del sistema más dinámico superan sus posibles costos. Tales costos incluyen los elevados

requisitos de coordinación, las posibles fricciones e inconsistencias dinámicas, mayores dificultades para salvaguardar los valores públicos, así como la reducción de la capacidad de influir en la evolución general de la infraestructura del organismo. El reto del diseño sociotécnico es buscar mecanismos técnicos y sociales que puedan influir de manera ventajosa en el equilibrio entre los beneficios y los costes. Dada la magnitud de la reorganización actual, tal evaluación global es, en el momento de la redacción, en muchas áreas todavía pendientes. Otra razón para reducir potencialmente el control es que en el nuevo entorno los diseños sociotécnicos sostenibles pueden ser más difíciles de encontrar. Las políticas sostenibles son el subconjunto de medidas que son capaces de alcanzar los objetivos deseados, son políticamente factibles y económicamente viables. En otras palabras, deben ser compatibles con las limitaciones e intereses de todas las partes interesadas [Cherry y Bauer, 2004]. En un entorno con múltiples partes interesadas es más difícil identificar políticas que satisfagan simultáneamente todas las restricciones pertinentes. Esto no significa que las políticas y otras soluciones de diseño no se adopten en absoluto, pero aumenta la probabilidad de que los desafíos a las políticas sucedan continuamente, obligando a los encargados de la toma de decisiones a modificar y adaptar con frecuencia las medidas a las circunstancias cambiantes y variedad de intereses. Esta dificultad también puede afectar a la búsqueda de una posición sostenible con respecto al intercambio entre los efectos a corto y largo plazo de la reforma de la infraestructura. En sectores con una tecnología altamente duradera y de alto consumo de capital, la fluidez introducida por el entorno de múltiples partes interesadas puede tener consecuencias indeseables y puede afectar los incentivos para la inversión y toma de riesgo negativamente. A menos que se realicen los ajustes apropiados, algunos de los objetivos declarados de apoyar la eficiencia dinámica y la innovación pueden verse socavados inadvertidamente debido a estos efectos de retroalimentación. Peor aún, las compensaciones relevantes entre diferentes objetivos pueden no ser conocidas con suficiente precisión. En tales situaciones, las opciones de diseño se convertirán en experimentos del mundo real con resultados conocidos sólo ex post. Un desafío de diseño es comprender mejor estas compensaciones dinámicas de antemano, por ejemplo, mediante el uso de técnicas de modelado informático que desplazan el experimento al espacio de diseño virtual, y para idear soluciones viables y sostenibles. De estas transformaciones surgen varias cuestiones: en primer lugar, es importante comprender si la multiplicidad de objetivos declarados se puede realizar en absoluto. Los conflictos de objetivos y las incompatibilidades entre los diferentes aspectos del diseño socio-técnico tendrán que examinarse con renovado vigor para encontrar soluciones sostenibles y globales consistentes. En segundo lugar, los diseñadores socio-técnicos tienen que averiguar si los problemas se pueden abordar en un nivel o si los cambios en un área requieren en cascada ajustes en áreas relacionadas y por lo tanto sólo puede abordarse eficazmente en múltiples niveles (como se distingue en el cuadro 2) simultáneamente. Esto tiene

implicaciones inmediatas para las opciones de diseño sociales y de ingeniería y la capacidad de implementarlas. Los objetivos que se pueden realizar en una llamada de capa individual para diferentes enfoques de diseño son los que requieren acción en varias capas. En algunos casos, por ejemplo, la seguridad de la información, al cumplir el objetivo a nivel de la empresa individual, también implica que el objetivo se cumple a nivel sectorial. Por lo tanto, el diseño puede centrarse en el nivel individual de la empresa. Esto no excluye que los beneficios adicionales pueden ser realizados mediante la coordinación de enfoques también en una capa superior. En algunos casos, el nivel más efectivo para implementar una decisión de diseño puede ser el nivel del sector. Por ejemplo, la estandarización se logra mejor a un nivel más alto que una empresa individual. En la mayoría de los casos, sin embargo, los objetivos deberán cumplirse a nivel de la empresa o el actor individual y a nivel de toda la industria al mismo tiempo. Tome, por ejemplo, el caso de la eficiencia técnica. El funcionamiento de una empresa individual es técnicamente eficiente si utiliza la menor cantidad de recursos para lograr un cierto nivel de salida (o lograr la salida más alta posible con una cantidad dada de recursos). A partir de la eficiencia técnica individual de la empresa no necesariamente se sigue que todo el sector es técnicamente eficiente. De hecho, todas las empresas individuales podrían ser sub-óptimamente pequeñas, dejando economías de escala y, por lo tanto, mejoras de la eficiencia técnica sin utilizar. Argumentos similares pueden tener lugar en el caso de externalidades positivas o negativas, donde las decisiones de nivel individual óptimas, sin embargo, se agregan a los resultados socialmente sub-óptimos. En tercer lugar, una vez que se conoce la estructura del problema y las principales respuestas de diseño, es necesario determinar la combinación sociotécnica óptima de las medidas para implementar un objetivo o un conjunto de objetivos, así como la capa sobre la que mejor se persigue. Idealmente, los métodos y procesos de diseño de los sistemas sociotécnicos facilitarían una perspectiva tan amplia (véanse también los argumentos similares en [Andrew y Petkov, 2007]). En nuestro modelo de escala de tiempo (véase el cuadro 1), a menudo se persiguen objetivos de ingeniería a nivel operacional y de gobernanza. Durante el tiempo de la organización de monopolio, muchos valores públicos, como la fijación de precios no discriminatorios en las regiones geográficas, solían perseguirse a nivel operativo. Sin embargo, la organización de mercado más descentralizada que surgió durante las últimas dos décadas hace que se restringiera muchas formas de control efectivo en esa capa. Como consecuencia y también en respuesta a las nuevas visiones políticas en cuanto al papel apropiado del gobierno en la economía (un cambio que a veces se ha identificado como un paso del gobierno al estado de la reglamentación) las decisiones de diseño económico ahora se encuentran más a menudo en la segunda capa de gobernanza. Los objetivos legales se implementan con mayor frecuencia en la segunda y tercera capas, la gobernanza y las capas institucionales. Hay una creciente evidencia de que los sistemas de infraestructura (como muchos otros sistemas socio-técnicos y procesos sociales) sólo pueden ser gobernados con una multiplexidad de formas e instrumentos. El

control jerárquico tradicional del gobierno coexiste con otras formas de gobernanza. Debido a la multiplexidad de la gobernanza, todo el sistema está en continuo movimiento, siempre en necesidad de adaptarse a las circunstancias cambiantes y los resultados.

#### G.5.- CONCLUSIONES.

Este capítulo ha examinado cuestiones relacionadas con el diseño de sistemas sociotécnicos en general y de una clase particular de tales sistemas, redes de infraestructura, en particular. El enfoque de los sistemas sociotécnicos se desarrolló inicialmente en el contexto de los estudios organizacionales. Una de las ideas clave del enfoque fue que los aspectos sociales y técnicos de dichos sistemas debían optimizarse conjuntamente. En principio, este método puede aplicarse a los problemas planteados por las redes de infraestructura. En la actualidad, no se dispone de un enfoque global para el diseño de tales sistemas y un enfoque de sistemas sociotécnicos podría ayudar a cerrar esa brecha. Sin embargo, las cuestiones pueden llegar más allá de idear un método de planificación y diseño conjuntos y podrían estar arraigadas en los límites inherentes al diseño de grandes sistemas complejos. En el capítulo se examinó en primer lugar la multiplicidad de decisiones de diseño que deben efectuarse en dichos sistemas. Nuestra revisión de los marcos conceptuales alternativos que podrían informar tales opciones reveló una bifurcación entre teorías que no cuestionan principalmente la capacidad de los planificadores y diseñadores para dar forma a los sistemas y teorías sociotécnicas que cuestionan la totalidad de la Controlabilidad. En el primer grupo hay modelos de maximización restringida, que actualmente dominan la formación de políticas públicas. Sin embargo, un grupo muy influyente de eruditos argumenta que ese diseño deliberado no es posible, es decir, una falacia constructivista. Esta postura no niega que se puedan hacer elecciones de diseño deliberadas y que sea necesario hacer, pero cuestiona la posibilidad, de un proceso de planificación integral y orientada a los resultados. En cambio, subraya que el diseño técnico y social es mucho más limitado en sus impactos globales. Puede ser más eficaz en la creación de un meta-marco, que consiste en reglas básicas para estándares, tecnologías, derecho, propiedad, contrato, y así sucesivamente, que permiten que las fuerzas descentralizadas y auto-organizadoras se desarrollen. En esta visión, los resultados generales y la trayectoria del sistema son emergentes, resultantes del comportamiento a niveles de sistema más bajos, y no pueden ser completamente planificados o diseñados. La experiencia práctica ha generado una amplia evidencia de que las opciones de diseño y planificación pueden hacer una diferencia significativa. Aunque no puedan determinar plenamente la trayectoria general de un sistema socio-técnico, son importantes y muy a menudo con graves consecuencias. Dada la complejidad de los arreglos sociotécnicos, es cada vez más desalentador entender la correspondencia entre las opciones de diseño y las respuestas del sistema. Sería deseable profundizar en el conocimiento conceptual y empírico de estas correspondencias. No sólo debe ayudar en la búsqueda de diseños

superiores, sino que también ayuda a distinguir situaciones en las que el diseño deliberado es posible y eficaz a partir de aquellas situaciones en las que puede no ser. Los modelos evolutivos que permiten el aprendizaje y la adaptación son probablemente un paso prometedor en esta dirección. El paradigma dominante que informa a las opciones de diseño sigue utilizándose métodos de maximización estática. Sin embargo, los sistemas sociotécnicos son dinámicos, los sistemas en evolución y la maximización estática pueden ser dinámicamente sub-óptimos o tener consecuencias ambiguas a corto y largo plazo. Los diseñadores racionales de los aspectos de los sistemas sociotécnicos abordarán explícitamente estas compensaciones dinámicas. Sin embargo, debido a la falta de análisis dinámicos, este es raramente el caso. Los diseñadores socio-técnicos pueden confiar en una variedad de modelos dinámicos de simulación y optimización disponibles y emergentes. En la actualidad, su uso está más extendido en el transporte y la energía, pero son más ampliamente aplicables. Dada la naturaleza compleja de los sistemas de infraestructura sociotécnica, estos modelos a menudo no producirán una respuesta correcta, pero pueden apoyar para captar mejor las correspondencias entre las opciones de diseño socio-técnico y una serie de posibles resultados. Este enfoque permitiría evitar diseños sociotécnicos inconsistentes que han plagado la reforma de la infraestructura. Además, debería permitir identificar la gama de acuerdos sociotécnicos consistentes. Si se encuentran en el conjunto de opciones factibles, el enfoque facilitará la selección de los diseños apropiados, incluidos los cursos de acción robustos, resilientes o "sin remordimientos".

## REFERENCIAS

- [Alexander, 1964] C. Alexander. Notes on the Synthesis of Form. Cambridge: Harvard University Press, 1964.
- [Alexander et al., 1977] C. Alexander, S. Ishikawa and M. Silverstein. A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction. New York: Oxford University Press, 1977.
- [Alexander and Poyner, 1984] C. Alexander and B. Poyner. The Atoms of Environmental Structure. In, ed. N. Cross, Developments in Design Methodology. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [Andrew and Petkov, 2003] T. N. Andrew and D. Petkov. The need for a systems thinking approach to the planning of rural telecommunications infrastructure. Telecommunications Policy, 27, 75-93, 2003.
- [Ansoff, 1968] H. I. Ansoff. Corporate Strategy: An Analytic Approach to Business Policy for Growth and Expansion. Penguin Books, 1968.
- [Archer, 1984a] L. B. Archer. Systematic Method for Designers. In, ed. N. Cross, Developments in Design Methodology. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [Archer, 1984b] L. B. Archer. Whatever Became of Design Methodology? In, ed. N. Cross, Developments in Design Methodology. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [Arendt, 1958] H. Arendt. The Human Condition. The University of Chicago Press, 1958.
- [Arrow, 1963] K. A. Arrow. Social Choice and Individual Values. 2nd ed. John Wiley, 1963 (1951).
- [ASM, 1997] ASM Handbook: Materials Selection and Design Vol. 20. ASM International, 1997.
- [Arthur, 1994] W. B. Arthur. Increasing Returns and Path Dependence in the Economy. University of Michigan Press, 1994.
- [Aspers, 2007] P. Aspers. Theory, reality, and performativity in markets. American Journal of Economics and Sociology, 66, 379-398, 2007.
- [Apotheker et al., 2007] D. Apotheker, D. J. van der Elst, M. Gaillard, M. van den Heuvel, and W. van Lelyveld SPM4910-Sepam Design Project: The Design of a Syngas Infrastructure in the Port of Rotterdam, Faculteit TBM, TU Delft, 2007.
- [Axelrod, 1997] R. M. Axelrod. The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration. Princeton University Press, 1997.
- [Barnes et al., 1996] B. Barnes, D. Bloor, and J. Henry. Scientific Knowledge: A Sociological Analysis. Athlone, 1996.
- [Bauer, 2002] J. M. Bauer. Public utilities in the perspective of the "Gemeinwirtschaftslehre". In An Institutional Approach to Public Utilities Regulation, W. Samuels, W.G. Shepherd and E. Miller, eds., pp 82-94, Michigan State University Press, 2002.
- [Bauer, 2004] J. M. Bauer. Harnessing the swarm: prospects and limits of communications policy in an era of ubiquitous networks and disruptive technologies," Communications & Strategies, 54, 19-43, 2004.
- [Bauer and Schneider, 2008] J. M. Bauer and V. Schneider. Lessons from complexity theory for the Governance of large technical systems. Paper presented at the conference Complexity and Large Technical Systems, Meersburg, Germany, May 30-31, 2008.
- [Bratman, 1987] M. Bratman. Intention, Plans, and Practical Reasoning. Harvard University Press, 1987.
- [Beinhocker, 2006] E. D. Beinhocker. The Origin of Wealth: Evolution, Complexity and the Radical Remaking of Economics. Harvard Business School Press, 2006.
- [Bertalanffy, 1969] L. von Bertalanffy. General System Theory; Foundations, Development, Applications. G. Braziller, 1969.
- [Bertuglia and Vaio, 2005] C. S. Bertuglia and F. Vaio. Nonlinearity, Chaos, and Complexity: The Dynamics of Natural and Social Systems. Oxford University Press, 2005
- [Biggs et al., 1986] N. Biggs, E. Lloyd, and R. Wilson. Graph Theory 1736-1936. Oxford University Press, 1986.
- [Bijker et al., 1987] W. E. Bijker, T. P. Hughes, and T. Pinch, eds. d, The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Ttechnology. The MIT Press, 1987.
- [Bijker, 1995] W. E. Bijker. Of Bicycles, Bakelite and Bulbs: Toward a Theory of Sociotechnical Change. Cambridge University Press, 1995.
- [Boardman and Sauser, 2006] B. Boardman and B. Sauser. System of systems - the meaning of of, Proceedings of the IEEE/SMC International Conference, 2006.

- [Boden, 1997] M. Boden. What is interdisciplinarity? In: Cunningham, R., ed., *Interdisciplinarity and the Organisation of Knowledge in Europe* (Euroscientia conference), pp. 13-26. Office for the Official Publications of the European Communities, 1997.
- [Borgmann, 1984] A. Borgmann. *Technology and the Character of Contemporary Life*. University of Chicago Press, 1984.
- [Bozeman, 2007] B. Bozeman. *Public Values and Public Interest: Counterbalancing Economic Individualism*. Georgetown University Press, 2007.
- [Brock and Colander, 2000] W. A. Brock and D. Colander. Complexity and policy. In *The Complexity Vision and the Teaching of Economics*, D. Colander, ed., pp. 73-96, Edward Elgar, 2000.
- [Bromley, 2006] D. W. Bromley. *Sufficient Reason: Volitional Pragmatism and the Meaning of Economic Institutions*. Princeton University Press, 2006.
- [Bucciarelli, 1994] L. L. Bucciarelli. *Designing Engineers*. MIT Press, Cambridge MA, 1994.
- [Bucciarelli, 1996] L. L. Bucciarelli. *Designing Engineers*. MIT Press, 1996.
- [Bucciarelli, 2003] L. L. Bucciarelli. *Engineering Philosophy*. Delft University Press, 2003.
- [Buchli and Santini, 2005] J. Buchli and C. C. Santini. *Complexity Engineering: Harnessing Emergent Phenomena as Opportunities for Engineering*. Santa Fe Institute, 2005.
- [Callon, 1998] M. Callon, ed. **The Laws of the Market**. Blackwell Publishers, 1998.
- [Carnap, 1963] R. Carnap. *Autobiography*. In **The Philosophy of Rudolf Carnap** (The library of living philosophers, vol. 11), P.A. Schilpp, ed., pp. 1-84. Open Court, 1963.
- [Carroll, 1865] L. Carroll. **Alice's Adventures in Wonderland**. Oxford, UK, 1865.
- [Chakrabarti and Bligh, 1994] A. Chakrabarti and T. P. Bligh. An approach to functional synthesis of solutions in mechanical conceptual design. Part i: Introduction and knowledge representation. **Research in Engineering Design**, 6, 127-141, 1994.
- [Chakrabarti and Bligh, 1996a] A. Chakrabarti and T. P. Bligh. Approach to functional synthesis of solutions in mechanical conceptual design. Part ii : Kind synthesis. **Research in Engineering Design**, 8, 52 - 62, 1996.
- [Chakrabarti and Bligh, 1996b] A. Chakrabarti and T. P. Bligh. Approach to functional synthesis of solutions in mechanical conceptual design. Part iii : Spatial configuration. **Research in Engineering Design**, 8, 116 - 124, 1996.
- [Chandrasekaran and Josephson, 2000] B. Chandrasekaran and J. R. Josephson. Function in device representation. **Engineering with Computers**, 16, 162-177, 2000.
- [Chandrasekaran, 2005] B. Chandrasekaran. Representing function: Relating functional representation and functional modelling streams. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing**, 19, 65-74, 2005.
- [Chandler, 1995] D. Chandler. **Technological or Media Determinism**. Aberystwyth, 1995.
- [Cherns, 1976] A. Cherns. The principles of sociotechnical design. **Human Relations**, 29, 783- 792, 1976.
- [Cherry, 2007] B. A. Cherry. The telecommunications economy and regulation as coevolving complex systems: implications for federalism. **Federal Communications Law Journal**, 59, 369- 402, 2007.
- [Chiou and Kota, 1999] S.-J. Chiou and S. Kota. Automated conceptual design of mechanisms. **Mechanism and Machine Theory**, 34, 467-495, 1999.
- [Chittaro and Kumar, 1998] L. Chittaro and A. N. Kumar. Reasoning about function and its applications to engineering. **Artificial Intelligence in Engineering**, 12, 331-336, 1998.
- [Courage and Baxter, 2005] C. Courage and K. Baxter. **Understanding Your Users**. Elsevier, 2005.
- [Coase, 1960] R. Coase. The problem of social cost. **Journal of Law and Economics**, 3, 1-40, 1960.
- [Colander, 2000] D. Colander, ed. **The Complexity Vision and the Teaching of Economics**. Edward Elgar, 2000
- [Conklin, 2005] J. Conklin. **Dialogue Mapping: Building Shared Understanding of Wicked Problems**. New York, Wiley, 2005.
- [Cross, 2006] N. G. Cross. **Designery Ways of Knowing**. Springer Verlag London, 2006.
- [Cross, 1984] N. G. Cross. **Developments in Design Methodology**. Wiley, Chichester, 1984.
- [Cross, 1990] N. G. Cross. The Nature and Nurture of the Design Ability. **Design Studies**, 11(3), 127-140, 1990.
- [Cross, 1992] N. G. Cross. Roozenburg N.F.M. Modelling the Design Process in Engineering and in Architecture. **Journal of Engineering Design** 3(4), 325-337, 1992.
- [Cross, 1989/1994] N. Cross. *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. John Wiley & Sons, 1994/1989.
- [Davidson, 1984] D. Davidson. *Inquiries into Truth and Interpretation*. Clarendon Press, 1984.

- [Davis, 2000] P. A. Davis. Path dependence, its critics and the quest for “historical economics”. In *Evolution and Path Dependence in Economic Ideas: Past and Present*, P. Garrouste and S. Ioannides, eds., Edward Elgar, 2000.
- [Deguet et al., 2005] J. Deguet, Y. Demazeau, and L. Magnin. Elements about the emergence issue: a survey of emergence definitions. *Proceedings of the ECCS 2005*, Paris, 2005.
- [Dennett, 1987] D. C. Dennett. *The Intentional Stance*. The MIT Press, 1987.
- [De Bruijn and Herder, 2009] J. A. De Bruijn and P. M. Herder. Systems and Actor Perspectives on Socio-Techucal Systems. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, Part A — Systems and Humans*.
- [De Bruijne, forthcoming, 2009] M. De Bruijne. Enron vs. FERC. In *Strategic Behaviour in Network industries: A Multidisciplinary Approach*, ten Heuvelhof, E., de Jong, M., Kars, M. and Stout, H. eds., Edward Elgar, forthcoming.
- [De La Mettrie, 1748/1912] J. O. de La Mettrie. *Man a Machine*. Open Court, 1748/1912. [Laffont and Tirole, 1993] J.-J. Laffont and J. Tirole. *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, MIT Press, 1993.
- [DeLaurentis and Callaway, 2004] D. DeLaurentis and R. K. Callaway. A system-of-systems perspective for public policy decisions. *Review of Policy Research*, 21, 829-837, 2004.
- [De Vries, 2003] M. J. de Vries. The Nature of Technological Knowledge. *Extending Empirically Informed Studies into What Engineers Know*. *Techné* 6(3), pp. 1-21, 2003.
- [De Vries, 2005a] M. J. de Vries. *Teaching About Technology. An Introduction to Philosophy of Technology for Non-philosophers*. Springer, 2005.
- [De Vries, 2005b] M. J. de Vries. 80 Years of Research at the Philips Natuurkundig Laboratorium. *The Role of the Nat.Lab. at Philips*. Amsterdam University Press, 2005.
- [Dewey, 1958] J. Dewey. *Art as Experience*. New York: Capricorn, 1958.
- [Dewey, 1964] J. Dewey. *Logic: The Theory of Inquiry*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1964.
- [Dixit, 1996] A. K. Dixit. *The Making of Economic Policy: A Transaction Cost Politics Perspective*. MIT Press, 1996.
- [Dorst, 1997] C. H. Dorst. *Describing Design: A Comparison of Paradigms*. Ph.D. thesis, Delft University of Technology, 1997.
- [Dorst and Cross, 2001] C. H. Dorst and N. G. Cross. Creativity in the design process: coevolution of problem-Solution. *Design Studies* 22, 425-437, 2001.
- [Dorst and Vermaas, 2005] K. Dorst and P. Vermaas. John gero’ s function-behavior-structure model of designing: A critical analysis. *Research in Engienering Design*, 16, 17-26, 2005.
- [Dreyfus and Dreyfus, 1986] H. L. Dreyfus and S. E. Dreyfus. *Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*. The Free Press, 1986.
- [Dreyfus and Dreyfus, 1992] H. L. Dreyfus and S. E. Dreyfus. *What Computers Still Can’t Do: A Critique of Artificial Reason*. MIT Press, 1992.
- [Dreyfus, 2002] H. L. Dreyfus. Intelligence without representation – Merleau-Ponty’ s critique of mental representation. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 1, 367-383, 2002.
- [Drezner, 2007] D. W. Drezner. *All Politics is Global: Explaining International Regulatory Regimes*. Princeton University Press, 2007.
- [Duit and Galaz, 2008] A. Duit and V. Galaz. Governance and complexity-emerging issues for governance theory. *Governance: An International Journal of Policy, Administration, and Institutions*, 21, 311-335, 2008.
- [Dym, 1994] C. L. Dym. *Engineering Design: A Synthesis of Views*. Cambridge University Press, 1994.
- [Dym and Little, 2000] C. L. Dym and P. Little. *Engineering Design: A Project-based Introduction*. John Wiley & Sons, 2000.
- [Edvardsson and Hansson, 2005] K. Edvardsson and S. O. Hansson. When is a goal rational? *Social Choice and Welfare*, 24, 343-361, 2005.
- [Eggertsson, 1998] T. Eggertsson. Limits to institutional reform. *Scandinavian Journal of Economics*, 100, 335-357, 1998.
- [Emery, 1959] F. E. Emery. *Characteristics of Socio-Technical Systems*. Tavistock Institute, 1959.
- [Epstein, 2006] J. M. Epstein. *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton University Press, 2006.
- [Fagade and Kazmer, 1999] A. Fagade and D. Kazmer. Optimal component consolidation in molded product design: 1999 ASME Design for Manufacture Conference, DETC1999/DFM- 8921, ASME, 1999
- [Feenberg, 1999] A. Feenberg. *Questioning Technology*. Routledge, 1999.

- [Feh'er, 1993] M. Feh'er. The natural and the artificial. *Periodica Polytechnica: Humanities and Social Sciences*, 1, 67-76, 1993.
- [Findeli, 1991] A. Findeli. Design Education and Industry: The Laborious Beginnings of the Institute of Design in Chicago. *Journal of Design History* vol. 4, no. 2, 1991, pp. 97-113.
- [Frankenberger and Badke-Schaub, 1996] E. Frankenberger and P. Badke-Schaub. Modeling design processes in industry - empirical investigations of design work in practice. In: O. Akin and G. Saglamer, eds., *Proceedings of DMD'96*, Istanbul, 1996.
- [Frampton, 1973] K. Frampton. *Apropos Ulm: Curriculum and Critical Theory*. *Oppositions*, No. 3, 1973.
- [Franssen, 2005] M. Franssen. Arrow's theorem, multi-criteria decision problems and multiattribute design problems in engineering design. *Research in Engineering Design*, 16, 42-56, 2005.
- [Franssen and Bucciarelli, 2004] M. Franssen and L. L. Bucciarelli. On rationality in engineering design. *Journal of Mechanical Design*, 126, 945-949, 2004.
- [Friedman, 2002] L. S. Friedman. *The Microeconomics of Public Policy Analysis*. Princeton University Press, 2002.
- [Geels, 2005] F. W. Geels. The dynamics of transitions in socio-technical systems: a multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860-1930). *Technology Analysis & Strategic Management*, 17, 445-476, 2005.
- [Greif, 2006] A. Greif. *Institutions and the Path to the Modern Economy: Lessons from Medieval Trade*. Cambridge University Press, 2006.
- [Gero and Kannengiesser, 2002] J. S. Gero and U. Kannengiesser. The Situated Function- Behaviour- Structure Framework. In: Gero, J.S. (Ed.) *Artificial Intelligence in Design '02*, Kluwer, Dordrecht, 89-104, 2002.
- [Gero, 1990b] J. S. Gero. Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design. *AI Magazine* 11 (4), 26-36, 1990.
- [Gero, 1990] J. Gero. Design prototypes: A knowledge representation schema for design. *AI Magazine*, 11, 26-36, 1990.
- [Gero et al., 1992] J. S. Gero, K. W. Tham, and H. S. Lee. Behaviour: A Link Between Function and Structure in Design. In: Brown, D.C., M.B. Waldron and H. Yoshikawa (Eds.) *Intelligent Computer Aided Design*, Elsevier, Amsterdam, 193-225, 1992.
- [Gero and Rosenman, 1990a] J. S. Gero and M. A. Rosenman. A Conceptual Framework for Knowledge-Based Design Research at Sydney University's Design Computing Unit. *Artificial Intelligence in Engineering*, 5 (2), 65-77, 1990.
- [Gibson, 1979] J. Gibson. *The theory of affordances*. In *The ecological approach to visual perception*, Houghton Mifflin., 1979.
- [Gietka et al., 2002] P. Gietka, M. Verma, and W. H. Wood. Functional modeling, reverse engineering, and design reuse: 14th International Conference on Design Theory and Methodology, DETC2002/DTM-34019ASME, 2002
- [Gropius, 1965] W. Gropius. *The New Architecture and the Bauhaus*. Cambridge: MIT Press, 1965.
- [Gropius, 1970] W. Gropius. *Scope of Total Architecture*. New York: Collier Books, 1970.
- [Gugelot, 1989] H. Gugelot. *Industrial Design in Practice*. In, ed. by Kirti Trivedi, *Readings from Ulm: Selected Articles from the Journal of the Ulm School of Design (Hochschule fur Gestaltung, Ulm)*. Bombay: Industrial Design Centre, 1989.
- [Haag et al., 1996] S. Haag, M. K. Raja, and L. L. Schkade. Quality Function Deployment usage in software development. *Communications of the ACM*, 39(1), pp. 41-49, 1996.
- [Habermas, 1984] J. Habermas. *The Theory of Communicative Action, Vol 1: Reason and the Rationalization of Society*. Boston, Beacon Press, 1984.
- [Habermas, 1987] J. Habermas. *The Theory of Communicative Action, Vol. 2: Lifeworld and System - A Critique of Functionalist Reason*. Beacon Press, 1987.
- [Hampton, 1984] J. Hampton. The failure of expected-utility theory as a theory of reason. *Economics and Philosophy*, 10, 195-242, 1984.
- [Hacking, 1983] I. Hacking. *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge University Press, 1983.
- [Hargreaves et al., 1992] H. S. Hargreaves, M. Hollis, B. Lyons, R. Sugden, and A. Weale. *The Theory of Choice: A Critical Guide*. Blackwell, 1992.
- [Hatchuel, 2002] A. Hatchuel. Towards Design Theory and expandable rationality: the unfinished program of Herbert Simon. *Journal of Management and Governance*, 5, 3-4, 2002.
- [Hauser and Clausing, 1988] J. R. Hauser and D. Clausing. The house of quality. *Harvard Business Review*, May-June, 63-73, 1988.

- [Herder et al., 2008] P. M. Herder, I. Bouwmans, R. M. Stikkelman, G. P. J. Dijkema, and M. P. C. Weijnen. Designing infrastructures using a complex systems perspective. *Journal of Design Research*, 7, 17-34, 2008.
- [Hey, 2006] J. Hey. On the failure of modern species concepts. *Trends Ecol Evol* 21, 447-450, 2006.
- [Holland, 1995] J. Holland. *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Addison-Wesley, 1995.
- [Hooker and Streumer, 2004] B. Hooker and B. Streumer. Procedural and substantive practical rationality. In *The Oxford Handbook of Rationality*. A. R. Mele and P. Rawling, eds., pp. 57-74. Oxford University Press, 2004.
- [Hoover and Rinderle, 1989] S. P. Hoover and J. R. Rinderle. A synthesis strategy for mechanical devices. *Research in Engineering Design*, 1, 87-103, 1989.
- [Hubka and Eder, 1996] V. Hubka and W. E. Eder. *Design Science: Introduction to the Needs, Scope, and Organization of Engineering Design Knowledge*. Springer, 1996.
- [Hughes et al., 2007] J. Hughes, P. Kroes, and S. Zwart. A semantics for means-end relations. *Synthese*, 158, 207-231, 2007.
- [Hughes, 1983] T. P. Hughes. *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880- 1930*. Johns Hopkins University Press, 1983.
- [Hughes, 2004] T. P. Hughes. (2004) *Human-built World: How to Think About Technology and Culture*. University of Chicago Press, 2004.
- [Houkes et al., 2002] W. Houkes, P. E. Vermaas, C. H. Dorst, and M. J. de Vries. Design and Use as Plans: An Action-Theoretical Account. *Design Studies* 23, 303-320, 2002.
- [Houkes and Vermaas, 2004] W. N. Houkes and P. E. Vermaas. Actions versus functions: A plea for an alternative metaphysics of artifacts. *Monist*, 87, 52-71, 2004.
- [Houkes et al., 2002] W. N. Houkes, P. E. Vermaas, K. Dorst, and M. J. De Vries. Design and use as plans: an action-theoretical account. *Design Studies*, 23, 303-320, 2002.
- [Houkes et al., 2002] W. N. Houkes, P. E. Vermaas, C. H. Dorst, and M. J. de Vries. Design and use as plans: an action-theoretical account. *Design Studies*, 23, 303-320, 2002.
- [Hoyningen-Huene, 1987] P. Hoyningen-Huene. Context of discovery and context of justification. *Studies in History and Philosophy of Science*, 18, 501-515, 1987.
- [Hume, 1969] D. Hume. *A Treatise of Human Nature*. Penguin, 1969 (1739-40).
- [Hurwicz and Reiter, 2006] L. Hurwicz and S. Reiter. *Designing Economic Mechanisms*, Cambridge University Press, 2006.
- [Ivashkov, 2004] M. Ivashkov. *ACCEL: a Tool Supporting Concept Generation in the Early Design Phase*. PhD thesis, ISBN 90-6814-581-9, Eindhoven University Press, Eindhoven, the Netherlands, 2004, url<http://alexandria.tue.nl/extra2/200411683.pdf>
- [Jaspers, 1951] K. Jaspers. *The Way to Wisdom: An Introduction to Philosophy*. Trans. R. Mannheim New Haven: Yale University Press, 1951.
- [Joerges, 1988] B. Joerges. Large technical systems: concepts and issues. In *The Development of Large Technical Systems*, R. Mayntz and T.R. Hughes, eds., pp. 9-36, Campus, 1988.
- [Johnson, date unknown] C. W. Johnson. What are emergent properties and how do they affect the engineering of complex systems? <http://www.dcs.gla.ac.uk/~johnson/papers/emergence.pdf>.
- [Jones, 1984] J. C. Jones. *A Method of Systematic Design*. In, ed. N. Cross, *Developments in Design Methodology*. New York: John Wiley and Sons Ltd, 1984, pp. 9-31.
- [Jones, 1984] J. C. Jones. How My Thoughts About Design Methodology Have Changed During the Years. In, ed. N. Cross, *Developments in Design Methodology*. New York: John Wiley and Sons, 1984.
- [Jones, 1992] J. C. Jones. *Design Methods*. New York: John Wiley, 1992.
- [Just et al., 2004] R. E. Just, D. L. Hueth, and A. Schmitz. *The Welfare Economics of Public Policy: A Practical Approach to Project and Policy Evaluation*. Edward Elgar, 2004.
- [Kasser and Palmer, 2005] J. E. Kasser and K. D. Palmer. Reducing and managing complexity by changing the boundaries of the system. *Proceedings CSER 2005*, Hoboken, NJ, USA, 2005.
- [Kauffman, 1983] S. A. Kauffman. *The Origins of Order: Self Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press, 1983.
- [Kauffman, 1995] S. A. Kauffman. *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self- Organization and Complexity*. Oxford University Press, 1995.
- [Kemp et al., 1998] R. Kemp, J. Schot, and R. Hoogma. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management*, 10(2), pp. 175-198, 1998.
- [King, 1989] B. King. Better designs in half the time. *Implementing Quality Function Deployment in America*. GOAL/QPC. 1989.

- [Kostelanetz, 1970] R. Kostelanetz, ed. *Moholy-Nagy: An Anthology*. New York: Da Capo Press, 1970, pp. 81-90.
- [Kota and Chiou, 1992] S. Kota and S.-J. Chiou. Conceptual design of mechanisms based on computational synthesis and simulation of kinematic building blocks. *Research in Engineering Design*, 4, 75-87, 1992.
- [Koza, 2000] J. R. Koza. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press, 2000.
- [Kroes, 1996] P. Kroes. Technical and contextual constraints in design: an essay on determinants of technological change. In *The Role of Design in the Shaping of Technology*. J. Perrin and D. Vinck, eds., 43-76, 1996.
- [Kroes, 2002] P. Kroes. Design methodology and the nature of technical artefacts. *Design Studies*, 23, 287-303, 2002.
- [Kroes and Meijers, 2006] P. A. Kroes and A. W. M. Meijers. Introduction. The dual nature of technical artefacts. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 37, pp. 1-4, 2006.
- [Kroes, 2006] P. Kroes. Coherence of structural and functional descriptions of technical artefacts. *Studies in History and Philosophy of Science*, 37, 137-151, 2006.
- [Kroes et al., 2006] P. Kroes, M. Franssen, I. van de Poel, and M. Ottens. Treating sociotechnical systems as engineering systems: some conceptual problems. *Systems Research and Behavioral Science*, 23, 803-814, 2006.
- [Kroes, 2009] P. Kroes. Technical artifacts, engineering practice, and emergence. In *Functions in Biological and Artificial Worlds: Comparative Philosophical Perspectives*. U. Krohs and P. Kroes, eds., 277-292, MIT Press, 2009.
- [Kroes, 2003] P. Kroes. Physics, experiments and the concept of nature. In *The Philosophy of Scientific Experimentation*. H. Radder, ed., 68-86, University of Pittsburgh Press, 2003.
- [Kunz and Rittel, 1970] W. Kunz and H. W. J. Rittel. Issues as Elements of Information Systems. In Working Paper No. 131. Berkeley: Institute of Urban and Regional Development, University of California, 1970.
- [Kurfman et al., 2003] M. A. Kurfman, M. E. Stock, R. B. Stone, J. Rajan, and K. L. Wood. Experimental studies assessing the repeatability of a functional modeling derivation method. *Journal of Mechanical Design*, 125, 682-693, 2003.
- [Latzer et al., 2002] M. Latzer, N. Just, F. Saurwein, and P. Slominski. *Selbst- und Ko-Regulierung im Mediamatiksektor. Alternative Regulierungsformen zwischen Staat und Markt*. Westdeutscher Verlag, 2002.
- [Lawson, 2006] B. R. Lawson. *How Designers Think — The Design Process Demystified*. Architectural Press, Oxford, 2006.
- [Levi, 1980] I. Levi. *The Enterprise of Knowledge*. MIT Press, 1980.
- [Longstaff, 2003] P. H. Longstaff. The puzzle of competition in the communications sector: Can complex systems be regulated or managed? Program on Information Resources Policy Working Paper, Harvard University, 2003.
- [Luhmann, 1995] N. Luhmann. *Social Systems*. Stanford University Press, 1995.
- [MacKenzie and Wajcman, 1985] D. MacKenzie and J. Wajcman. *The Social Shaping of Technology: How the Refrigerator Got its Hum*. Open University Press, 1985.
- [Maier and Fadel, 2002] J. Maier and G. Fadel. Comparing function and affordance as bases for design: 14 Annual International Conference on Design Theory and Methodology, DETC2002/DTM-34029. ASME, 2002
- [Maldonado, 1989] T. Maldonado. The Emergent World: A Challenge to Architectural and Industrial Design Training. In, ed. by Kirti Trivedi, *Readings from Ulm: Selected Articles from the Journal of the Ulm School of Design (Hochschule für Gestaltung, Ulm)*. Bombay: Industrial Design Centre, 1989.
- [Maldonado, 1991] T. Maldonado. Looking Back at Ulm. In H. Lindinger, *Ulm Design: The Morality of Objects*. Cambridge: MIT Press, 1991.
- [Maslow, 1987] A. Maslow. *Motivation and Personality*. NY: Harper, 1954. Second Ed. NY: Harper, 1970. Third Ed. NY: Addison-Wesley, 1987.
- [Mayntz, 2008a] R. Mayntz. Emergence in philosophy and social theory. Unpublished manuscript. 2008.
- [Mayntz, 2008b] R. Mayntz. Governance in an internationalizing world. In G. F. Schuppert and M. Zürn, eds., *Governance in einer sich wandelnden Welt*. Politische Vierteljahresschrift, 41, 2008.

- [Mayntz, 2008c] R. Mayntz. The changing governance of large technical infrastructure systems. Paper presented at the conference Complexity and Large Technical Systems, Meersburg, Germany, May 30–31, 2008.
- [Mayntz and Hughes, 1988] R. Mayntz and T. P. Hughes. *The Development of Large Technical Systems*. Campus, 1988.
- [McAdams et al., 1999] D. McAdams, R. Stone, and K. Wood. Functional interdependence and product similarity based on customer needs. *Research in Engineering Design*, 11, 1999.
- [McAdams and Wood, 2002] D. McAdams and K. Wood. A quantitative similarity metric for design-by-analogy. *Journal of Mechanical Design*, 124, 173–182, 2002.
- [Meggs, 1983] P. B. Meggs. *A History of Graphic Design*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983.
- [Mitcham, 1994] C. Mitcham. *Thinking Through Technology: The Path between Engineering and Philosophy*. Chicago: University of Chicago Press, 1994.
- [McKeon, 1998] R. McKeon. *Philosophy and the Development of Scientific Methods. Selected Writings of Richard McKeon, Volume I, Philosophy, Science, and Culture*, ed. by Zahava K. McKeon and William G. Swenson. Chicago: University of Chicago Press, 1998.
- [McLaughlin, 2001] P. McLaughlin. *What Functions Explain: Functional Explanation and Self-Reproducing Systems*. Cambridge University Press, 2001.
- [Mele and Rawling, 2004] A. R. Mele and P. Rawling, eds. *The Oxford Handbook of Rationality*. Oxford University Press, 2004.
- [Mesarovic and Takahara, 1975] M. Mesarovic and Y. Takahara. *General Systems Theory: Mathematical Foundations*. New York, Academic Press, 1975.
- [Mitchell, 1997] T. Mitchell. *Machine learning*. McGraw-Hill, 1997.
- [Mitleton-Kelly, 2003] E. Mitleton-Kelly. Ten principles of complexity and enabling infrastructures. In: E. Mitleton-Kelly, ed., *Complex Systems and Evolutionary Perspectives on Organizations: The Application of Complexity Theory to Organizations*, pp. 23–50, Pergamon, 2003.
- [Molleja, 2011] APROXIMACIÓN TEÓRICA COMPRENSIVA ACERCA DE LA FORMACIÓN DE INGENIEROS, BASADA EN LOS EJES QUE DEFINEN SU PROFESIÓN. UPEL, Maracay, Venezuela, 2013.
- [Mor, 2002] G. Mor, ed. *A New Mind for Policy Analysis: Toward a Post-Newtonian and Postpositivist Epistemology and Methodology*. Praeger, 2002.
- [Morgan and Henrion, 1990] M. G. Morgan and M. Henrion. *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*. Cambridge University Press, 1990.
- [Mitcham, 1994] C. Mitcham. *Thinking Through Technology: The Path Between Engineering and Philosophy*. The University of Chicago Press, 1994.
- [Morton, 2002] D. L. Morton. Reviewing the history of electric power and electrification. *Endeavour*, 26(2), pp. 60–63, 2002.
- [Moholy-Nagy, 1947] L. Moholy-Nagy, *Vision in Motion*. Chicago: Theobald, 1947.
- [Morris, 1914] W. Morris. *Art and Its Producers*. In *Collected Works of William Morris*, Vol. XXII, London, 1914.
- [Mueller, 2003] M. Mueller. *Ruling the Root*. MIT Press, 2003.
- [Mumford, 1963] L. Mumford. *Technics and Civilization*. Harcourt, Brace & World, 1963.
- [Mumford, 1967] L. Mumford. *The Myth of the Machine*. Harcourt, Brace & World, 1967.
- [Murmann, 2003] J. P. Murmann. *Knowledge and Competitive Advantage: The Coevolution of Firms, Technology, and National Institutions*. Cambridge University Press, 2003.
- [Nicolai, 1975] L. M. Nicolai. *Fundamentals of Aircraft Design*. University of Dayton School of Engineering, 1975.
- [North, 1990] D. C. North. *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*. Cambridge University Press, 1990.
- [Nozick, 1993] R. Nozick. *The Nature of Rationality*. Princeton University Press, 1993.
- [Ostrom, 2005] E. Ostrom. *Understanding Institutional Diversity*. Princeton University Press, 2005.
- [Ottens et al., 2006] M. Ottens, M. Franssen, P. Kroes, and I van de Poel. Modelling infrastructures as socio-technical systems. *Int. J. Critical Infrastructures*, 2, 133–145, 2006.
- [Otto and Wood, 2001] K. N. Otto and K. L. Wood. *Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*. Prentice Hall, 2001.
- [Pahl and Beitz, 1988] G. Pahl and W. Beitz. *Engineering design— a systematic approach*. Springer-Verlag, 1988.

- [Pahl and Beitz, 1996] G. Pahl and W. Beitz. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer Verlag, 1996.
- [Paley et al., 2006] W. Paley, M. Eddy and D. M. Knight. *Natural Theology: Or, Evidence of the Existence and Attributes of the Deity, Collected from the Appearances of Nature*. Oxford University Press, 2006.
- [Parsons, 1951] T. Parsons. *The Social System*. The Free Press, 1951.
- [Perlman, 2004] M. Perlman. The modern philosophical resurrection of teleology. *The Monist*, 97, 3-51, 2004.
- [Perrow, 1994] C. Perrow. *Normal Accidents: Living with High-risk Technologies*. Princeton University press, 1994.
- [Petroski, 1992] H. Petroski. *The Evolution of Useful Things*. Alfred A. Knopf, 1992.
- [Perrow, 2008] C. Perrow. Modeling firms in the global economy: new forms, new concentration. Paper presented at the conference *Complexity and Large Technical Systems*, Meersburg, Germany, May 30-31, 2008.
- [Pollock, 2002] J. L. Pollock. The logical foundations of means-end reasoning. In *Common Sense, Reasoning, and Rationality*. R. Elio, ed., Oxford University Press, 2002.
- [Popper, 1959] K. R. Popper. *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson, 1959.
- [Pugh, 1991] S. Pugh. *Total design: Integrated methods for successful product engineering*. Addison-Wesley, 1991.
- [Ratzsch, 2005] D. Ratzsch. Teleological arguments for God's existence. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2005 edition). E. N. Zalta, ed., <http://plato.stanford.edu/archives/fall2005/entries/teleological-arguments/>, 2005.
- [Reichenbach, 1938] H. Reichenbach. *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. University of Chicago Press, 1938.
- [Reymen, 2001] I. M. M. J. Reymen. *Improving Design Processes Through Structured Reflection: A Domain-independent Approach*. PhD Thesis Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2001.
- [Richardson, 1994] H. Richardson. *Practical Reasoning about Final Ends*. Cambridge University Press, 1994.
- [Rittel and Webber, 1969] H. W. J. Rittel and M. M. Webber. Dilemmas in a General Theory of Planning. Panel on Policy Sciences, American Association for the Advancement of Science, 4, 1969.
- [Rittel, 1972] H. W. J. Rittel. On the Planning Crisis: Systems Analysis of the 'First and Second Generations'. *Bedrifts Økonomen*, No. 8, October. 1972, pp. 390-396.
- [Rittel and Webber, 1973] H. Rittel and M. Webber. Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4, 155-169, 1973.
- [Rittel, 1984] H. W. J. Rittel. Second-generation Design Methods. In, ed. N. Cross, *Developments in Design Methodology*. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [Rittel and Webber, 1984] H. W. J. Rittel and M. M. Webber. Planning problems are wicked problems. In *Developments in Design Methodology*. N. Cross, ed., 135-144, John Wiley & Sons, 1984.
- [Rittel, 1988] H. W. J. Rittel. *The Reasoning of Designers*. Arbeitspapier A-88-4 (Stuttgart: Institut für Grundlagen der Planung). Universität Stuttgart, 1988.
- [Ritchey, 2002] T. Ritchey. Modeling complex socio-technical systems using morphological analysis. Adapted from an address to the Swedish Parliamentary IT Commission, Stockholm, 2002.
- [Rosenman and Gero, 1994] M. A. Rosenman and J. S. Gero. The what, the how, and the why in design. *Applied Artificial Intelligence*, 8, 199-218, 1994.
- [Ropohl, 1999] G. Ropohl. Philosophy of socio-technical systems. *Philosophy & Technology*, 4, 59-71, 1999.
- [Roozenburg and Eekels, 1995] N. F. M. Roozenburg and J. Eekels. *Product Design: Fundamentals and Methods*. John Wiley & Sons, 1995.
- [Rosenzweig, 1996] M. L. Rosenzweig. *Species Diversity In Space and Time*. Cambridge University Press, Cambridge, UK., (revised ed.) 1996.
- [Rosenman and Gero, 1998] M. Rosenman and J. Gero. Purpose and function in design: From the socio-cultural to the techno-physical. *Design Studies*, 19, 161-186, 1998.
- [Roth, 1987] K. Roth. Design models and design catalogs. *International Conference on Engineering Design (ICED'87)*, 60-66, 1987.
- [Rosser, 1999] J. B. Rosser, Jr. On the complexities of complex economic dynamics. *Journal of Economic Perspectives*, 13, 169-192, 1999.

- [Roozenburg and Cross, 1991] N. F. M. Roozenburg and N. G. Cross. Models of the Design Process – Integrating across the Disciplines. In V. Hubka, ed., Proceedings of ICED 1991, Heurista, Zurich 1991.
- [Roozenburg and Eekels, 1995] N. F. M. Roozenburg and J. Eekels. Product Design: Fundamentals and Methods. Wiley, 1995.
- [Russell, 2005] P. Russell. Hume on Religion. In The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2005 edition). E. N. Zalta, ed., <http://plato.stanford.edu/archives/win2005/entries/humereligion/>, 2005.
- [Ryle, 1984] G. Ryle. The Concept of Mind. University of Chicago Press, 1984.
- [Sabatier, 2007] P. A. Sabatier, ed., Theories of the Political Process. 2nd ed., Westview Press, 2007.
- [Sage, 1992] A. P. Sage. Systems Engineering. John Wiley & Sons, 1992.
- [Sage and Cuppan, 2001] A. Sage and C. D. Cuppan. On the systems engineering and management of systems of systems and federations of systems. Information, Knowledge, Systems Management, 2, 325-345, 2001.
- [Sarlemijn, 1993] A. Sarlemijn. Designs are cultural alloys. STeMPJE in design methodology. In: Vries, M. J. de, Cross, N. and Grant, D. P., eds., Design Methodology and Relationships with Science. pp. 191-248. Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [Sarlemijn, 1995] A. Sarlemijn. Kwaliteitsfunctie-ontwikkeling; kiezen voor een Japanse of een Amerikaanse aanpak?. In Sarlemijn, A. and Boddendijk, H. G., eds., Produkten op maat. QFD als gids bij produktontwikkeling. Boom, pp. 21-54, 1995.
- [Sawyer, 2005] R. K. Sawyer. Social Emergence: Societies as Complex Systems. Cambridge University Press, 2005.
- [Sawhney, 2001] H. Sawhney. Dynamics of infrastructure development: the role of metaphors, political will and sunk investment. Media, Culture and Society, 23, 33-51, 2001.
- [Sawhney, 2003] H. Sawhney. Wi-Fi networks and the rerun of the cycle. Info, 5, 25-33, 2003.
- [Schön, 1983] D. A. Schön. The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action. New York: Basic Books, 1983.
- [Searle, 2001] J. R. Searle. Rationality in Action. MIT Press, 2001.
- [Seegerberg, 1992] K. Segerberg. Getting started: beginnings in the logic of action. Studia Logica, 51, 347-378, 1992.
- [Schneider and Bauer, 2007] V. Schneider and J. M. Bauer. Governance: Prospects of Complexity Theory in Revisiting System Theory. Paper presented at the 65th Annual Conference of the Midwest Political Science Association, Chicago, 2007.
- [Simon, 1982] H. A. Simon. Models of Bounded Rationality. MIT Press, 1982.
- [Simon, 1983] H. A. Simon. Reason in Human Affairs. Stanford University Press, 1983.
- [Simon, 1984] H. A. Simon. The structure of ill-structured problems. In Developments in Design Methodology, N. Cross, ed., pp. 145-166. Wiley, 1984.
- [Simon, 1968] H. A. Simon. Rationality as process and as product of thought. American Economic Review, 68, 1-16, 1968.
- [Simon, 1969] H. A. Simon. A behavioral model of rational choice. Quarterly Journal of Economics, 69, 99-118, 1969.
- [Simon, 1973] H. A. Simon. The structure of ill-structured problems. Artificial Intelligence, 4, 181-201, 1973.
- [Simon, 1976] H. A. Simon. Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization. New York: The Free Press, 1976.
- [Simon, 1992] H. A. Simon. Sciences of the Artificial. The MIT Press, Cambridge MA, 1967, 1992.
- [Simon, 1996] H. A. Simon. The Sciences of the Artificial. 3rd ed. MIT Press, 1996 (1969).
- [Simon, 1996] H. A. Simon. The Sciences of the Artificial. MIT Press, 1996 (1969).
- [Simon, 2001] H. A. Simon. The Sciences of the Artificial. 3rd Edition, Cambridge: MIT Press, 2001.
- [Schön and Rein, 1994] D. A. Schön and M. Rein. Frame Reflection. Basic Books, NY, 1994.
- [Schön, 1983] D. A. Schön. The Reflective Practitioner: How professionals think in action. London: Temple Smith, 1983.
- [Snow, 1959] C. P. Snow. The Two Cultures and the Scientific Revolution. MacMillan, 1959.
- [Starr, 2004] P. Starr. The Creation of the Media: Political Origins of Modern Communications. Basic Books, 2004.
- [Stahovich and Kara, 2001] T. F. Stahovich and L. B. Kara. A representation for comparing simulations and computing the purpose of geometric features. AI EDAM, 15, 189-201, 2001.

- [Stikkelman et al., 2006] R. M. Stikkelman, G. P. J. Dijkema, P. M. Herder, and A. F. Correlj'e. Van bloedgroep olie naar bloedgroep syngas. *Petrovision*, September, 62-67, 2006.
- [Streeck and Schmitter, 1985] W. Streeck and P. C. Schmitter. *Private Interest Government: Between Market and State*. Sage, 1985.
- [Staudenmaier, 1985] J. M. Staudenmaier. *Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric*. The MIT Press, 1985.
- [Stone and Wood, 2000] R. B. Stone and K. L. Wood. Development of functional basis of design. *Journal of Mechanical Design*, 122, 359-370, 2000.
- [Stone et al., 1999] R. B. Stone, K. L. Wood, and R. H. Crawford. A heuristic method for identifying modules for product architectures. *Design Studies*, 21, 5-31, 1999.
- [Soulsby, 1933] B. H. Soulsby. *A Catalogue of the Works of Linnaeus*. London, UK, 1933.
- [Suchman, 1987] Suchman, L.A. *Plans and Situated Actions*. Cambridge University Press, Cambridge UK, 1987.
- [Suh, 2001] N. P. Suh. *Axiomatic Design: Advances and Applications*. Oxford University Press, 2001.
- [Swift and Booker, 1997] K. G. Swift and J. D. Booker. *Process selection from design to manufacture*. Arnold, 1997.
- [Sycara et al., 1991] K. Sycara, D. Navinchandra, et al. *Cadet: A case-based synthesis tool for engineering design*. *International Journal of Expert Systems*, 4, 157-188, 1991.
- [Ten Heuvelhof et al., forthcoming] E. ten Heuvelhof, M. de Jong, M. Kars, and H. Stout, eds. *Strategic Behaviour in Network industries: A Multidisciplinary Approach*. Edward Elgar, forthcoming.
- [Theil, 1964] H. Theil. *Optimal Decisions Rules for Government and Industry*. North Holland, 1964.
- [Thomasson, 2007] A. L. Thomasson. *Artifacts and human concepts*. In *Creations of the Mind: Essays on Artifacts and their Representations*. S. Laurence and E. Margolis, eds., 52-73, Oxford University Press, 2007.
- [Thurston, 1991] D. L. Thurston. A formal method for subjective design evaluation with multiple attributes. *Research in Engineering Design*, 3, 105-122, 1991.
- [Tinbergen, 1952] J. Tinbergen. *On the Theory of Economic Policy*. North-Holland, 1952.
- [Trist, 1981] E. L. Trist. The evolution of socio-technical systems. In *Perspectives on Organization Design and Behavior*, A.H. van de Ven and W.F. Joyce, eds., John Wiley, 1981.
- [Trist and Bamforth, 1951] E. L. Trist and K. W. Bamforth. Some social and psychological consequences of the Longwall method of coal-getting. *Human Relations*, 4, 3-38, 1951.
- [Tsebelis, 2002] G. Tsebelis. *Veto Players: How Political Institutions Work*. Princeton University Press, 2002.
- [Ulrich and Eppinger, 1995] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger. *Product Design and Development*. McGraw Hill, NY, 1995.
- [Ulrich and Seering, 1989] K. T. Ulrich and W. P. Seering. Synthesis of schematic descriptions in mechanical design. *Research in Engineering Design*, 1, 3-18, 1989.
- [Van de Poel, 2007] I. van de Poel. Methodological problems in QFD and directions for future development. *Research in Engineering Design*, 18, pp. 21-36, 2007.
- [Vanberg, 2005] V. J. Vanberg. Market and state: the perspective of constitutional political economy. *Journal of Institutional Economics*, 1, 23-49, 2005.
- [Verbeek, 2005] P.-P. Verbeek. *What Things Do. Philosophical Reflections on Technology, Agency, and Design*. The Pennsylvania State University Press, 2005.
- [Verma and Wood, 2003] M. Verma and W. Wood. Functional modeling: Toward a common language for design and reverse engineering: 2003 ASME International Conference on Design Theory and Methodology, DETC2003/DTM-48660, ASME, 2003
- [Verma and Wood, to appear] M. Verma and W. Wood. Toward case-based functional design: Matching reverse engineering practice with the design process. to appear *Design Studies*, 2006.
- [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.
- [Vermaas and Dorst, 2007] P. E. Vermaas and C. H. Dorst. On the conceptual framework of John Gero's FBS model and the prescriptive aims of design methodology. *Design Studies* 28 (2), 133-157, 2007.
- [Vincenti, 1990] W. G. Vincenti. *What Engineers Know and How They Know It — analytical studies from aeronautical history*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1990.

- [Vincenti, 1992] W. G. Vincenti. Engineering knowledge, type of design, and level of hierarchy: further thoughts about what engineers know... In *Technological Development and Science in the Industrial Age*, P. Kroes and M. Bakker, eds., pp. 17-34. Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [Von Wright, 1963] G. H. von Wright. Practical inference. *The Philosophical Review*, 72, 159- 179, 1963.
- [Von Wright, 1972] G. H. von Wright. On the so-called practical inference. *Acta Sociologica*, 15, 39-53, 1972.
- [VDI 2221, 1985] VDI 2221. *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. VDI-verlag, Dusseldorf, 1985.
- [Wallace, 2003] R. J. Wallace. Practical reason. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2003 Edition), E.N. Zalta, ed.,  
<http://plato.stanford.edu/archives/win2003/entries/practicalreason/>.
- [von Wright, 1963] G. H. von Wright. Practical inference. *The Philosophical Review*, 72, 159-179, 1963.
- [Winner, 1986] L. Winner. *The Whale and the Reactor: A Search for Limits in an Age of High Technology*. University of Chicago Press, 1986.
- [Wittgenstein, 1953] L. Wittgenstein. *Philosophical Investigations*, ed. G.E.M. Anscombe and R. Rhees, transl. G.E.M. Anscombe. Blackwell Publishers, 1953.
- [Whitney, 1996] D. E. Whitney. *Why mechanical design cannot be like vlsi design*, 1996.
- [Wiener, 1948] N. Wiener. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Technology Press, 1948.
- [Williams and Edge, 1996] R. Williams and D. Edge. The social shaping of technology. In *Information and Communication Technologies: Visions and Realities*, W.H. Dutton, ed., pp. 53-67, Oxford University Press, 1996.
- [Williamson, 2000] O. E. Williamson. The New Institutional Economics: taking stock, looking ahead. *Journal of Economic Literature*, 38, 595-613, 2000.
- [Zak, 2008] P. J. Zak, ed. *Moral Markets: The Critical Role of Values in the Economy*. Princeton University Press, 2008.
- [Zittrain, 2008] J. Zittrain. *The Future of the Internet and How to Stop It*. Yale University Press, 2008.