

documentos

DESARROLLO E INVESTIGACION ¹

Henry Petroski*

Las crecientes demandas por un mejor balance en el presupuesto federal de los EE.UU. han traído un aumento en las exigencias de justificación de los grandes gastos en investigación científica y tecnológica en este país, especialmente luego de la disolución de la URSS. Este clima ha llevado a grupos involucrados en el planeamiento científico y tecnológico, sin mencionar a las autoridades de las universidades e institutos de investigación, a una profunda reflexión acerca de la verdadera naturaleza de la investigación y el desarrollo, R&D (Research & Development) y su financiamiento. ¿Cómo hemos llegado a la forma en que hoy se financia la investigación y el desarrollo?

Es uno de los temas prominentes del creciente debate, el de si la investigación debería o no estar dirigida a alcanzar una meta, es decir, si debería tener algún objetivo distinto de sí misma. En realidad esto no es nada nuevo, ya que ha sido tema del debate político por más de cincuenta años. Para entender porqué no había sido prioritario en todo ese tiempo debemos revisar la historia del financiamiento federal a la investigación, y cómo esa historia ha dado forma a la manera misma en que vemos a la empresa de la investigación y el desarrollo. Esta historia puede ayudarnos también a darnos cuenta que lo que está aconteciendo actualmente tiene tanta relación con la filosofía fundamental del financiamiento de R&D, como la tiene con los asuntos presupuestarios. En estos días, todo esto está, simplemente, pasando a primer plano.

MENTALIDAD DE LA FRONTERA

No es casual que se haya citado a Vannevar Bush y su reporte de 1945 al presidente Truman, *Ciencia-La frontera sin fin*, en prácticamente toda discusión y reporte sobre el asunto del futuro del financiamiento federal al R&D.

Bush y su reporte han influenciado más que nadie, la naturaleza del debate sobre la investigación científica y el desarrollo en EE.UU. en el último medio siglo.

Bush, quien dijera de sí mismo: “no soy un científico, soy un ingeniero”, obtuvo su Doctorado en ingeniería en 1916, de Harvard y MIT conjuntamente. Como miembro de la Facultad de Ingeniería Eléctrica en MIT, desarrolló, entre muchos otros aparatos, el analizador diferencial, un predecesor del computador análogo, para resolver ecuaciones que caracterizan circuitos de energía eléctrica.

Bush llegó a ser Decano de Ingeniería y vicepresidente, antes de dejar el MIT en 1938, para ser presidente del Carnegie Institution of Washington, uno de los más grandes financiadores de la ciencia en la preguerra, en Washington, D.C., Bush también asumió su primera presidencia en una agencia federal; The National Advisory Committee for Aeronautics, NACA, enviaba reportes directamente al presidente, tenía su propio presupuesto y establecía contactos con laboratorios académicos y investigación.

Involucrarse en NACA le proporcionó un enorme contacto con asuntos de defensa, y sus confidentes, entre quienes contaba a los presidentes de Harvard y MIT, el físico Karl Compton y el químico James B. Conant. Ellos supieron por sus experiencias durante la Primera Guerra Mundial que la estructura militar no sería propicia para un desarrollo eficiente de nuevas armas, incluida una posible Bomba Atómica. El Consejo Nacional de Investigación, NRC, de La Academia Nacional de Ciencias, debe haber parecido un coordinador idóneo de tales esfuerzos. Pero Bush creyó que su tradición apolítica y su falta de presupuesto independiente lo harían ineficaz. Por lo que Bush, quien ha sido descrito como quien estuvo “preparado para ser un emprendedor de organización”, concibió una nueva agencia federal: El Consejo de Investigación de Defensa Nacional, NDRC. La NDRC fue aprobada, establecida y financiada directamente por el presidente Roosevelt en Junio de 1940.

Con Bush como su visionario presidente, la NDRC pareció ser una fuerza poderosa, pero su autoridad acabó en la investigación de nuevos equipos militares, y el financiamiento de emergencia del presidente resultó pron-

¹ Artículo publicado en American Scientist, Vol. 85, no. 3, mayo-junio 1997. Se reproduce con autorización del autor.

* Henry Petroski es A. S. Vesic profesor de Ingeniería Civil y profesor de Historia en Duke University, donde también dirige el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
Dirección: Apartado 90287, Durham NC 27708-0287.

to ser limitante. Bush, a quien el *New York Times* llamara el “zar de la investigación”, concibió entonces una NDRC reestructurada, una que tendría asignaciones directas del Congreso y que tendría además la autoridad, no sólo para llevar a cabo investigaciones sobre nuevas armas, sino también para probarlas y producirlas. La nueva agencia sería la Oficina de Investigación Científica y Desarrollo. Cerca de un 90 por ciento del presupuesto de la OSRD se destinaba a la investigación y el desarrollo en centros académicos, del cual aproximadamente un tercio iba a dar al Laboratorio de Radiación del MIT. Más aún, la vasta mayoría de los contratos, finalmente, dieron los derechos de patente a los contratistas en vez de a aquellos que financiaron el trabajo.

Tales patrones no escaparon a la atención de algunos políticos del New Deal, tales como el senador Herley Kilgore de West Virginia. Poco después de llegar a Washington en 1941, Kilgore comenzó a promover alternativas para el control gubernamental de la ciencia y la tecnología. Cuando se avizoró el fin de la guerra, promovió una fundación nacional de la ciencia que incluiría un planeamiento central para la ciencia y la tecnología, y un patrocinio a la investigación científico-social. Kilgore creía que las actividades federales de investigación deberían servir a propósitos sociales y comerciales, y quería también, distribuir los fondos destinados a la investigación con alguna equidad geográfica. Vannevar Bush, viendo que la propuesta de Kilgore llevaría al gobierno a dirigir la investigación con fines sociales, logró obtener a fines del 44 una carta del presidente Roosevelt solicitándole a Bush que preparara un reporte sobre política de la ciencia en la postguerra. Franklin Roosevelt encargó a Bush un reporte sobre: qué se podía hacer para poner los secretos de guerra al servicio de las necesidades sociales en tiempos de paz; qué tipo de investigación médica debía organizarse; qué debía hacer el gobierno para apoyar la investigación; y cómo podía descubrirse y fomentar el talento científico en la juventud norteamericana.

En julio de 1945, Bush entregó su reporte al presidente Truman, quien para entonces sucedía a Roosevelt. *Ciencia—la frontera sin fin*, esencialmente argumentaba que el proceso científico por medio de la investigación pura y sin restricciones era esencial para dominar enfermedades, para promover nuevos productos, industrias y empleos, y para permitir el desarrollo de nuevas armas para la defensa nacional. «La investigación científica pura es capital científico», escribió Bush. Su paradigma de investigación y desarrollo era claramente lineal, con investigación elemental aplicada precediendo a la tecnología. Propuso una fundación nacional de investigación, que sería en gran parte autogestionada, y que incluiría, entre otros, divisiones de investigación médica, ciencias naturales y defensa nacional.

PENSAMIENTO LINEAL

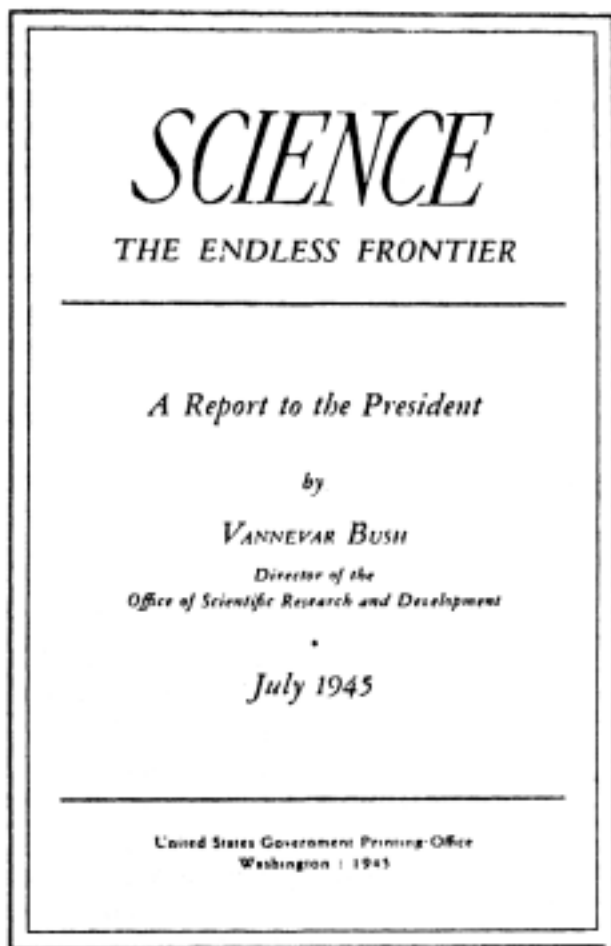
El debate acerca de qué forma debía tomar una fundación nacional de investigación duró cinco años. Durante ese tiempo los institutos nacionales de salud se habían vuelto poderosos, y el Departamento de Defensa y la Comisión de Energía Atómica ya se habían creado. Además, los servicios armados, especialmente la Oficina de Investigación Naval habían ya comenzado a patrocinar ellos mismos cada vez más investigación científica pura en universidades. Lo que finalmente resultó de las recomendaciones y maquinaciones de Bush, y el punto central de la querrela con Kilgore, fue la Fundación Nacional de las Ciencias, NSF, y un modelo para la investigación científica y tecnológica que ponía a la investigación sin restricciones previa al desarrollo: en nombre, estatus, hecho y deber. Así, Ingeniería y Tecnología eran vistas como mera ciencia aplicada. No fue casual que se llamara a la empresa de investigación y desarrollo en R&D, en ese preciso orden. Fue y es una burda y simplista manera de ver una jerarquía entre ciencia y tecnología que retrocedió a los tiempos de la participación de Bush en la Oficina de Investigación Científica y Desarrollo, OSRD. Bush, quizás más que nadie, definió, defendió y promulgó públicamente el modelo lineal de R&D, lo que ha influenciado las políticas y las expectativas públicas desde entonces. Pero, de hecho, la historia de la ciencia y la tecnología no sostiene al modelo bushiano.

Galileo, quien puede ser considerado el paradigma del científico moderno, difícilmente parece haber seguido el modelo lineal de pensamiento científico. Él mejoró la tecnología del telescopio antes de estudiar los cielos, y las observaciones resultantes lo llevaron a escribir sus *Diálogos concernientes a los dos principales sistemas mundiales - Tolemaico y Copernicano*, un libro de ciencia elemental que llegó a ser visto como una amenaza para el dogma. Arrestado en su casa por enseñar la doctrina de Copérnico, Galileo anciano, retornó a sus estudios de juventud, más mundanos, y escribió sus *Diálogos concernientes a dos nuevas ciencias*. Las dos nuevas ciencias son las elementales ciencias de la ingeniería que hoy llamamos resistencia de materiales y dinámica. Y cada una fue motivada no por una curiosidad abstracta, sino por una curiosidad práctica.

En las primeras páginas del Primer Día de *Dos Nuevas Ciencias*, Galileo analizaba lo que los ingenieros renacentistas conocían y lo que no conocían acerca del diseño y el comportamiento de los barcos y otras estructuras, aun cuando, claramente, éstas habían sido desarrolladas con un alto nivel de sofisticación. Citó una serie de fallas: la espontánea fractura de los obeliscos de piedra al ser erigidos, y la de los barcos de madera al zarpar. Analizó también cómo las creencias erróneas de la ingeniería condujeron a otras fa-

FIGURA 1

Vannevar Bush cambió el curso de la investigación en los EE.UU. con su reporte en 1945: *Ciencia-la frontera sin fin*.



llas, tales como las misteriosas fracturas de las columnas de mármol que descansan en el depósito. Galileo señaló la existencia de un efecto de medida en componentes estructurales tales como los huesos y notó que la naturaleza no parece diseñar con pura geometría, como lo hacían los constructores de catedrales y barcos para entonces, más bien suplementa la geometría con algún conocimiento esencial de resistencia de materiales. En tiempos de Galileo, al igual que hoy, era un análisis de las fallas en artefactos y teorías existentes, y el deseo de desarrollar sistemas útiles y confiables, lo que motivó y guió la investigación.

La tecnología de disparar misiles y proyectiles con arcos, cañones y otras armas, había venido siendo desarrollada mucho antes de que Galileo estableciera su tratamiento axiomático de la dinámica en el Tercer Día de *Dos Nuevas Ciencias*, y sin duda se benefició enormemente de la observación, sino de la experimentación deliberada, antes de arribar a su ciencia elemental del movimiento. Podría decirse que su desarrollo de dos nuevas ciencias fue conducido por el uso. Esto es, motivado por una comprensión in-

completa del funcionamiento de ciertos sistemas tecnológicos, y a su vez motivado por un deseo de hacerlos funcionar más confiable, predecible y eficientemente. Fue el desarrollo de la tecnología lo que motivó las investigaciones maduras de Galileo, no lo contrario.

De igual manera, existía un desarrollo considerable de los motores de vapor antes de que la ciencia de la termodinámica diera a sus operaciones fundamento teórico. En realidad, uno podría argüir que la ciencia de la termodinámica fue guiada por la tecnología en crecimiento de motores a vapor, más que decir que los motores a vapor no fueron sino aplicaciones de la termodinámica. Incontables otros ejemplos de la historia de la ciencia y la tecnología incluyen el trabajo pionero de Pasteur en la ciencia elemental de la microbiología, que alimentó y fue alimentado por su desarrollo de curas para enfermedades y de otros métodos para prevenir la descomposición de la leche, el vinagre y el vino. Investigaciones elementales, en breve, han sido por mucho tiempo sugeridas, motivadas y han estado intrínsecamente unidas al desarrollo tecnológico.

DESARROLLANDO RESPETO

Una relectura cuidadosa, amplia y receptiva del *Sin Frontera* de Vannevar Bush, revela que fue realmente ésta la situación en tiempos de Bush, aun cuando la palabra "desarrollo" no estuvo tan íntimamente ligada a la investigación, en su libro, como lo estuvo en su prometedor paradigma. Una lectura similar de diversas propuestas de investigación en ciencia pura también revela la promesa, aunque sólo sutil e implícita, de buenos resultados prácticos. La NSF ha justificado su existencia, como lo hiciera Bush a su inicio, con la promesa de que algo práctico resulta de la investigación pura. Pero para no arriesgarse a perder sus apuestas, los científicos prefieren no anticiparse a qué pueda ser exactamente ese algo práctico. Es preferible pronosticar cuando se sabe de antemano lo que sucederá. A pesar de ello, o quizás a causa de ello, su arrogancia en los albores del proyecto Manhattan, y bajo el paradigma bushiano, los científicos, especialmente físicos, pasaron a ser los árbitros de las políticas de R&D federal en los años de la postguerra.

La sorpresa soviética de lanzar el primer satélite artificial de la tierra, Sputnik, en 1957, fue un rudo despertar para los políticos norteamericanos en ciencia y tecnología. El resultado fue la creación de la NASA, y una inyección de nuevos fondos federales para la investigación y desarrollo. Un esfuerzo guiado, no por el deseo de entender al Sputnik en el sentido abstracto de la ciencia pura, sino por el objetivo práctico, tecnológico, de alcanzar y superar tecnológicamente a los soviéticos. El Proyecto Apollo, al igual que el Proyecto Manhattan, fue mucho más un proyecto tecno-

lógico que una empresa científica. Al darse cuenta de ello, los ingenieros comenzaron a exigir algo de paridad con los científicos.

MÁS QUE UN NUEVO NOMBRE

En 1964 fue creada la Academia Nacional de Ingeniería, y en 1970 el Instituto de Medicina. Estos eran signos de que la ciencia pura, especialmente la física, la cual había procurado casi frenéticamente tener influencia política desde el triunfo tecnológico de la bomba atómica, estaba perdiendo prestigio. Los 60 trajeron más y más revisiones de los grupos que controlaban R&D, y el Congreso redefinió las funciones de la NSF para incluir apoyo explícito a investigaciones aplicadas a necesidades nacionales. En los 70, la crisis energética llevó a la reorganización del R&D relacionado con energía, y las crecientes preocupaciones medioambientales presentaron, aún más, nuevos focos de atención para la investigación. La competitividad económica a nivel internacional pasó a primer plano en los 80, la cooperación entre el gobierno, la industria y las universidades comenzó a atraer atención. Particular significado tiene, que a mediados de los 80, el nombre del renombrado reporte de estadísticas del Consejo Nacional de las Ciencias: *Indicadores de las ciencias*, fuera cambiado por: *Indicadores de las Ciencias e Ingeniería*. Ahora, en los 90, los asuntos presupuestarios domésticos no han, sólo precipitado una reflexión fundamental más profunda acerca del R&D, también han propiciado un clima en el cual se puede imaginar una reestructuración drástica sin temor a descuidar los asuntos de defensa nacional. Más aún, cada vez es mayor el número de científicos e ingenieros que buscan compartir recursos, en un período en el que los presupuestos generales para R&D son cuanto más bajos mejores. También crecen las presiones para que la Fundación Nacional de las Ciencias cambie su nombre a Fundación Nacional de las Ciencias y la Ingeniería. Debería uno esperar un cambio de nombre similar para el Consejo Nacional de las Ciencias, reunido por primera vez en 1951.

En el nuevo clima de los 90, el modelo lineal de Vanneva Bush, de una investigación que guía al desarrollo, parece no sólo demasiado simplista, sino también enteramente retrógrado. Las políticas públicas, o quizás las realidades de cómo el mundo de la ciencia y la tecnología realmente funciona, están obligando a repensar cómo y dónde ubicar los fondos. Ciertamente, el paradigma de una investigación sin restricciones que conduzca a aplicaciones beneficiosas, se ha tornado más y más difícil de defender, y vemos aumentar el número de gastos en investigación justificados en propósitos de desarrollo. Así, los presupuestos de investigación y desarrollo, que en algunos casos del pa-

sado pueden haber sido descritos como “investigación y desarrollo para más investigación”, o “Investigación y desarrollo de teorías para posterior investigación”, son vistos hoy como si no hallaran más propósito y justificación que si mismos. La investigación y el desarrollo han pasado a ser vistos cada vez más como desarrollo e investigación. R&D se ha tornado D&R, o quizás más, “desarrollo e investigación para el desarrollo”. Esta última designación quizás sugiera mejor el continuo rizo de retroalimentación que encontramos en la investigación dirigida en el mundo real. No es tan sólo que el péndulo se ha balanceado al otro extremo, es más bien, como si fuera un péndulo de Foucault balanceándose sobre un eje en constante cambio.

Una manifestación de esto se encuentra en la reciente propuesta de l Consejo Nacional de la Investigación, de un Presupuesto Federal de Ciencia y Tecnología. El concepto de FS&T (Federal Science & Technology) nubla la distinción entre ciencia pura, aplicada y tecnología. Aún más, en contraste con el sistema actual de asignación de fondos, en el cual el presupuesto total de R&D es la suma de los presupuestos individuales de R&D de cada departamento y agencia, el presupuesto de FS&T propuesto sería construido, definiendo previamente las áreas de mayor o menor énfasis. Se otorgarían entonces, según lo merezcan, más o menos fondos, no al servicio de departamentos o agencias particulares, sino de prioridades nacionales. Se podría esperar llegar a tener una “empresa científico-técnica a nivel mundial” en áreas escogidas, no al azar. En otras palabras, el desarrollo de áreas de investigación sería, por diseño: una actividad y perspectiva particular de la ingeniería. Bajo esta propuesta, los fragmentados presupuestos tradicionales de investigación y desarrollo serían transformados en niveles unificados de un mismo conjunto, como las capas de un pastel. Obtener un trozo de la torta tendría que ser justificado, no tan sólo trayendo a la mesa el plato vacío y el diente pronto para los fondos de investigación, habría que traer evidencia de que uno ha hecho sus deberes y merece recibir un justo postre.

LA REALIDAD DE D&R

La evolución, o más bien, el retorno, al patrocinio de la ciencia y la tecnología, guiado por las necesidades sociales y nacionales significa, que no se aceptará a quienes busquen fondos, propuestas de simplemente hacer lo que ya puede hacerse. Ya no será suficiente proponer el lógico próximo paso en investigación pura para probar una teoría, para refinar un modelo teórico o para seguir una nueva línea de pensamiento, con la promesa de obtener en algún momento resultados aplicables a algún fin práctico. Desarrollo e investigación debe comenzar con una clara ar-

ticulación del problema de desarrollo y debe justificar cualquier investigación en términos de tal problema. El deseo creciente de financiar agencias para ver diversidad de disciplinas, de instituciones y de investigadores, en equipos de trabajo reunidos en torno a un objetivo, más que para explotar una capacidad o mantener un equipo existente, es una manifestación más del fortalecimiento y madurez de la filosofía del D&R.

De hecho, se puede ver que esto es un concepto ya, de alguna manera, establecido, en la existencia de centros de investigación tecnológica pertenecientes al NSF. Son éstos conducidos por el desarrollo y limitados en sus financiamientos. La investigación pura puede ser para la posteridad, el desarrollo tiene una fecha de embarque más pronta.

Las realidades de D&R han comenzado a sentirse también en la educación, en cursos de ciencia e ingeniería, donde históricamente quienes ostentaban un Ph.D. habían sido moldeados a imagen de sus profesores. Esto se remonta a la 2da. Guerra Mundial, compartiendo raíces con el paradigma de Bush. Ciertamente, una de las preocupaciones tratadas en *Ciencia-la frontera sin fin* era cómo asegurarse la existencia de investigadores (personal para la investigación en universidades e institutos) para llevar a cabo la agenda de investigación de R&D en la postguerra. La realidad del mercado de trabajo en años recientes ha revelado la superpoblación de doctores buscando ser ubicados en puestos de trabajo por vías regulares. Las universidades han visto forzadas a responder reduciendo el número de estudiantes de Ph.D., y, alterando cursos, curricula y expectativas, preparan a los graduados para trabajar en la industria y otros mercados alternativos antes despreciados.

Tan pronto como las viejas generaciones de científicos van pasando, especialmente los físicos, quienes transformaron la manera de financiar la investigación y el desarrollo durante y luego de la 2da. Guerra Mundial, nuevas voces con influencia están cambiando la forma de financiar la ciencia y la tecnología. Es necesario que escuchemos lo que dicen en sus reportes y propuestas. La metáfora de la "frontera sin fin", así como su implícito paradigma de investigación y desarrollo, ha alcanzado los límites de su influencia y el fin de su efectividad.

La terminología de "Investigación y Desarrollo" que se nos cuela por hábito por entre los labios puede haber sido un accidente, puede haber sonado bien al oído, puede haber sido un acto deliberado de apaciguar a los científicos asignados a tareas de ingeniería en tiempos de guerra. Sin embargo, el modelo lineal de investigación de Bush, afectó enormemente la visión consciente y subconsciente que nuestra nación tuvo, desde los inicios, de la empresa científica y tecnológica sostenida por fondos federales.

El repensamiento acerca de qué se trata tal empresa en realidad, hecho a la luz de una nueva situación presupuestaria sin precedentes, por nuevas generaciones de consejeros e investigadores, que no deben lealtad a viejos paradigmas de la ciencia, la tecnología o la defensa nacional, han obligado a la comunidad del R&D a mirarse en el espejo. Aquellos que son honestos consigo mismos ven en ese espejo, no R&D, sino D&R.

Reconocimiento

Esta columna es una adaptación de las notas del discurso presentado por el autor en ocasión de la celebración del 40º aniversario del University of Dayton Research Institute, realizado en Dayton, Ohio, el 5 de diciembre de 1996.

BIBLIOGRAFÍA:

BUSH, Vannevar. 1945. *Science—the endless frontier*. Washington, D.C.: Government Printing Office.

KEVLES, Daniel J. 1978. *The physicists: the history of a scientific community in modern America*. New York: Alfred A. Knopf.

KLEINMAN, Daniel Lee. 1995. *Politics on the endless frontier: post-war research policy in the United States*. Durham, N.C.: Duke University Press.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1995. *Allocating Federal Funds for Science and Technology*. Washington, D.C.: National Academy Press.

NATIONAL SCIENCE BOARD. 1996. *Science and engineering indicators*. Report NSB-96-21. Washington, D.C.: National Science Foundation.

NATIONAL SCIENCE BOARD. 1996. *U.S. Science and Engineering in a changing world*. Report NSB-96-22. Washington, D.C.: National Science Foundation.

SIGMA Xi, The Scientific Research Society. 1995. *Vannevar Bush II: Science for the 21st Century*. Forum Proceedings. Research Triangle Park, N.C.: Sigma Xi.