

El conocimiento tecnológico

Héctor Ciapuscio*

Este artículo propone una lectura selectiva del diálogo desarrollado en los últimos 25 años en el ámbito de los historiadores de la tecnología para la clarificación, en el marco del debate *¿Tecnología = ciencia aplicada?*, de la especificidad del conocimiento que manejan corrientemente los ingenieros. Se privilegia, dada su relevancia y actualidad, la discusión que ha tenido lugar en la *Society for the History of Technology*.

"Conocimiento, la palabra más importante del lenguaje."
(A. Pfänder, "Lógica")

"Una vez estábamos discutiendo algo -debíamos ser once o doce en ese momento- y yo dije: 'Pero pensar no es otra cosa que hablarse uno mismo'. -'¿Ah, sí?, dijo Bennie. ¿Conoces la forma rara del cigüeñal de un auto?' -'Sí, ¿y qué hay con ella?'. 'Bueno, dime entonces: ¿cómo la describirías cuando estás hablando contigo mismo?'. Así yo aprendí de Bennie que los pensamientos pueden ser tanto visuales como verbales."

(R. Feynman, 1988)

Ocupándose en 1982 del "viejo debate" sobre las relaciones entre ciencia y tecnología "que está lejos de haber sido resuelto", Jorge Sábato¹ caracterizó su visión de la tecnología como "un paquete de conocimientos de distintas clases -científicos, técnicos, empíricos- [...]".²

Interesado él mismo en un propósito específico, su análisis de la tecnología desde la estructura productiva (sólo instrumental, sin embargo, para su objetivo básico, la política para el desarrollo tecnológi-

* Centro de Estudios Avanzados, UBA.

¹ Sábato y Mackenzie, *La Producción de Tecnología*, México, Ilet, 1982.

² "[...] provenientes de distintas fuentes (descubrimientos científicos, otras tecnologías, libros, manuales, patentes, etc.) a través de métodos diferentes (investigación, desarrollo, adaptación, copia, espionaje, expertos, etcétera)".

co), no avanzó en la clarificación epistemológica de los conocimientos que la componen; solamente señaló sus distintos tipos. El conocimiento científico es uno de los principales del *paquete*, pero no es el único, ya que la actividad tecnológica utiliza también otros saberes de tipo empírico, sin base teórica apreciable, como los que se advierten en ejemplos como el *piggy-back* del transporte ferroviario y el *contenedor* del marítimo (*basado en la teoría de la caja de zapatos*).

A más de diez años de distancia, podemos decir que la tarea de análisis, conceptualización y trasiego cultural que Sábato llevó a cabo respecto de la tecnología no tuvo continuidad entre nosotros. No ha habido mayor interés -a pesar de su importancia para fundamentar políticas- en proseguir la reflexión sobre temas como las características distintivas de la ciencia y la tecnología, las teorías que giran en torno a ellas, sus relaciones y evolución histórica, sus papeles en la innovación y el cambio técnico, la crítica a la linealidad ciencia básica-desarrollo-tecnología; en fin, el asunto que quedó apuntado en la caracterización del *paquete*: ¿cuáles son sus diferencias desde el punto de vista del conocimiento?; ¿qué son esos conocimientos técnicos y empíricos?

La última pregunta da ocasión para una referencia que permita apreciar la importancia de este tipo de inquisiciones teóricas. Se trata del problema de la importación o compra (*transferencia*) de tecnología, un recurso oneroso muchas veces frustrado por la creencia de que todo consiste simplemente en adquirir máquinas y manuales operativos, sin acompañamiento de portadores *bona fide* de los conocimientos involucrados; ello porque se ignora que el conocimiento tecnológico es en buena medida de carácter *tácito*.

Particularmente en los Estados Unidos hubo un debate interesante sobre la posición *tecnología = ciencia aplicada* a lo largo del último cuarto de siglo. Aunque finalmente pasó a ser un asunto académicamente aclarado, mantiene vigencia³ y reviste la utilidad de ser un buen marco para la reflexión actual sobre, justamente, los componentes no científicos del conocimiento tecnológico.

³ Rachel Laudan señala que aunque hace mucho tiempo que los historiadores de la tecnología han dejado de preocuparse del cargo de que ella no es más que ciencia aplicada, la batalla pública continúa. Refiere que Thomas Hughes, por su parte, ha advertido que el público general todavía percibe la relación de ese modo; y desde que la tesis de subsunción sirve a los científicos que buscan fondos o defienden la autonomía de la National Science Foundation, ellos continúan alentándola. "¿Natural Alliance or Forced Marriage?", *Technology and Culture*, 1995.

Este artículo intentará reflejar algunos rasgos salientes de la discusión que ha tenido lugar en el ámbito de los historiadores de la tecnología, particularmente los que se nuclean en la *Society for the History of Technology*. La reducción del marco permite una exposición relativamente clara de un problema complejo, de índole primariamente epistemológica. Por otra parte, lo ubica en un campo profesional concreto, con ventajas para su objetivación.

Hitos historiográficos

La primera gran historia de la tecnología que apareció después de la Segunda Guerra Mundial fue la inglesa de Charles Singer, E. Holmyard, A. H. Hall y T. Williams.⁴ En ella los editores identifican históricamente a la tecnología con la técnica (definiéndola como *las cosas se dan o son hechas*); sólo a partir del siglo xix se transformará en un *discurso sistemático sobre artes útiles* gracias a un contenido de conocimiento científico que la hizo prácticamente sinónimo de ciencia aplicada. Las primeras ciencias aplicadas habrían sido las químicas y eléctricas del siglo xix, que condujeron a las industrias de anilinas, farmacéuticas y eléctricas. Así, la noción de *conocimiento* es atribuida a la ciencia y, consiguientemente, la técnica aparece como carente de potencialidad cognitiva. Esto es consecuencia de la adopción de una teoría sobre la relación entre ciencia y tecnología que asume que los científicos son los que generan el conocimiento nuevo y los tecnólogos lo aplican; la tecnología se subordina a la ciencia.

La contraparte francesa de este esfuerzo historiográfico fue la *Histoire General des Techniques* editada por Maurice Daumas.⁵ En esta obra la tecnología aparece también como subordinada, pero no ya a la ciencia sino al movimiento económico de la sociedad. Igualmente, aquí la historia de la tecnología es reducida a historia de las técnicas y las cosas producidas por las técnicas.

Ambas colecciones se identifican en particular en un punto: ignoran un componente significativo de pensamiento propio, específico, en la tecnología.

⁴ Londres, Oxford, 1954-1958, 5 volúmenes.

⁵ M. Daumas era/, París, 1962-1968, 3 volúmenes.

En Francia, algunos años después de la colección de Daumas, se produjo un verdadero acontecimiento historiográfico con la aparición de la *Histoire des Techniques* de Bertrand Gille.⁶ La segunda parte de esta obra admirable de casi 1.500 páginas (*Technique et Sciences*) consta de una serie de monografías del autor y colaboradores. Gille desarrolló personalmente el tema del conocimiento técnico o tecnológico.⁷ Se titula *Ensayo sobre el conocimiento técnico*.

Su comentario general es que se trata de un asunto poco analizado, donde reinan ideas recibidas sin mayor examen que responden básicamente a una creencia en que la técnica utiliza un conocimiento de rango inferior al científico, o que no es científica, o que en el mejor de los casos es ciencia aplicada. Aprecia que hasta el siglo XVIII se ha creído que la técnica se basa en *conocimiento aproximado* (como dice Bachelard caracterizando al *empirismo*), sin teoría, fundado en cierta cantidad de observaciones acumuladas y concordantes que, como en su tiempo dijo Aristóteles sobre *tékne*, permite alcanzar una cierta forma de verdad.

Un análisis más cuidadoso muestra, al contrario, que de ningún modo se puede imputar falta de lógica y, por ende, de conocimiento, a las técnicas tradicionales, desde las que se comunican por *el gesto y la palabra* hasta las actuales tecnologías, pasando por la receta, la descripción y el dibujo, el modelo reducido, etc., manifestaciones todas de modalidades diferentes y evolutivas de conocimiento y sus modos de transmisión o difusión.

El último paso es la aparición de una técnica fundamentada en el conocimiento científico. Hay técnicas contemporáneas que no podrían haber surgido sin un sistema científico establecido: las industrias química y nuclear son ejemplos en los que ya estamos más allá de ambigüedades históricas sobre la utilización de ciencia por los técnicos. Podemos verlas como técnicas científicas. Aquí es difícil discernir, separar, conocimiento técnico de conocimiento científico; las fronteras se traslapan.

Muchas veces la teoría aporta precisión a una técnica, reduce los márgenes de *conocimiento aproximado*. Pero la teoría, como proyección científica de un fenómeno técnico, no será nunca más que una

⁶ *Enciclopedia de la Pléiade*, París, Seuil, 1978.

⁷ En francés y en alemán se escriben *la technique* y *die Technik*. El inglés usa *technology* para cubrir (insuficientemente) ambos significados.

proyección parcial, porque siempre existirá una parte de la realidad concreta que se le escapa. Faltará una correlación perfecta; es, precisamente, en esa falta donde residen las dificultades de comprensión.

Gille concluye que en la situación actual es muy difícil precisar distinguos entre ambas clases de conocimientos. Advierte que siguen existiendo técnicas que requieren conocimientos elementales transmisibles esencialmente por *el gesto y la palabra*. En el otro extremo de la parábola se concluye que no podrá en adelante haber técnica sin ciencia. Pero, a pesar de las relaciones intrincadas, el esquema científico permanece diferente del esquema técnico. Y siendo que, a la inversa de la fórmula científica, la fórmula técnica puede ser objeto de una patente (que es descripción y si es necesario dibujo, que es la base del conocimiento técnico y la que transmite la innovación), es allí donde convendría investigar la frontera entre ambos tipos de conocimiento.

No hay conocimiento científico aislado, ya que hay sistema científico. Es lo mismo para la técnica; existen sistemas técnicos, donde todo está relacionado, y el conocimiento técnico es necesariamente compuesto. (Recordemos, de paso, que, justamente, Gille es quien entre los historiadores ha sido el primero en concebir, y elaborar, una historia de la tecnología occidental entendida como una sucesión de sistemas técnicos generales.) Pero hay una diferencia esencial entre ambos tipos de conocimiento: el científico es formal, el técnico es a menudo aleatorio. La primera dificultad reside en la etapa que antes se llamaba la puesta a punto (*la mise au point*) y que se llama hoy el desarrollo.⁸ Para llegar a madurez, el conocimiento técnico debe

⁸ La fase *desarrollo* del cambio tecnológico -esto es, la etapa comprendida entre la invención y la innovación- es crucial en cuanto epifanía del conocimiento tecnológico y de la actividad específica del ingeniero. Uno de los primeros en destacarla fue Abbot Payson Usher (*History of Mechanical Inventions*, Harvard, McGraw Hill, 1929) en su teoría de la *síntesis acumulativa*; la llama fase de *revisión crítica*. Entre los historiadores se han publicado monografías notables que analizan ese proceso. Una de las favoritas es la de F. M. Scherer ("Invención e innovación en la aventura de la máquina de vapor Watt-Boulton", *Technology and Culture*, vol. 6, 2, 1965) donde se propone a la función *desarrollo* como complemento necesario de la invención y la innovación en el proceso del cambio tecnológico. La misma revista publicó un número especialmente dedicado a *The Development Phase of Technological Change* en julio de 1976. La introducción fue escrita por Thomas Hughes, quien comenta allí que, a pesar de su poderoso interés, no ha sido atendida hasta ahora como las otras etapas -la invención, más excitante de la imaginación; la innovación, relevante para los historiadores económicos por su significación específica-. Pero para los historiadores de la tecnología el desarrollo es un concepto central, "una llave para entender el cambio tecnológico en esta área relativamente inexplorada".

acompañarse, en la totalidad de su ambiente, de golpes de mano, de astucias, de rectificaciones. Es lo que ejemplifica la laboriosa tarea de Bessemer, quien desde la idea inicial pasó años experimentando con retortas y sopladors, analizando informaciones contenidas en patentes suecas y francesas, etc., hasta lograr la calidad de acero requerida.

Para concluir con el análisis de Gille:

La complejidad creciente de las técnicas modernas ha conducido a nociones nuevas que oscurecen todavía más el concepto de conocimiento técnico. En el caso de la propiedad industrial, por ejemplo, se ve cómo el *know-how* se compone de conocimientos aplicados -métodos y datos- que son necesarios para la utilización efectiva y puesta en práctica de las técnicas industriales. Allí el conocimiento técnico no es suficiente; hay que acompañarlo por servicios personales -*show-how* siguiendo al *know-how*- para una transferencia adecuada.

¿Dónde se puede ubicar, en fin, con precisión el conocimiento técnico?, se pregunta Gille. Parece estar diluido en un conjunto que comprende un poco de todo. Esta apreciación de apariencia elusiva es coincidente con la que formulará Layton de que la tecnología puede ser vista como un espectro continuo con ideas en un extremo y artefactos en el otro.

En los Estados Unidos, a partir de la fundación en 1959 de la *Society for the History of Technology* (SHOT), se desarrolló un intenso debate acerca de las ideas vigentes sobre ciencia y tecnología, comenzando por distinguir una de otra y buscar argumentos para rectificar la noción pervasiva de que la tecnología es ciencia aplicada. Una de las ideas fundacionales de la Sociedad, en efecto, había sido contribuir a la valorización del tecnólogo y el ingeniero en la fábrica social.⁹

La controversia sobre el papel de la investigación básica en los desarrollos tecnológicos se hizo notoria en la década del sesenta como consecuencia del Proyecto *Hindsight* del Departamento de Defensa, un estudio de ocho años para evaluar su importancia en veinte sistemas importantes de armas. Concluyó que sólo una fracción de 0,3% de las 700 contribuciones clave relacionadas con el desarrollo de estos sistemas podía ser apreciada como ciencia *pura*; 91% eran eventos tecnológicos y 8,7% ciencia *aplicada*. Las críticas a estos resultados desde el sector científico determinaron un nuevo estudio en-

⁹ M. Kransberg, *Presidential Address*, 1967.

cargado por la *National Science Foundation* (Proyecto TRACES), que demostró la influencia de investigación científica previa en cinco innovaciones recientes.

En el interior de este debate estaba la cuestión *tecnología = ciencia aplicada*. Esta posición fue mantenida por una pequeña minoría de intervinientes en la discusión, notablemente, para nosotros, Mario Bunge.¹⁰ Analizándola según los numerosos trabajos que se fueron produciendo con los años, un estudioso¹¹ concluye que "los historiadores de la tecnología han rechazado casi unánimemente la hipótesis de que la tecnología es ciencia aplicada". Asimismo, rechazaron la postura de que el conocimiento tecnológico sea nada más que teoría ingenieril aplicada. La inadecuación de ambas fórmulas deriva, en su opinión, de la misma falta. La tensión o relación dialéctica entre conocimiento abstracto y conocimiento concreto, entre diseño y ambiente, es la base fundamental para la interpretación de la historia de la tecnología tal como evolucionó en el universo discursivo de *Tehnology and Culture*. Cuando se ve esta tensión como la característica definitoria de la tecnología se hace claro que la disyunción entre saber y hacer, sobre la que descansan los modelos *ciencia aplicada* e *ingeniería aplicada*, no puede servir para una explicación correcta de la cognición tecnológica. Así, es obvio que un número sustancial de historiadores de la sociedad interpretan la praxis tecnológica como una *forma* de conocimiento antes que como una *aplicación* de conocimiento.

Autores en el debate

Entre los autores que participaron más activamente en el análisis de los rasgos distintivos del conocimiento tecnológico, uno de los más incisivos es Edwin Layton, de Minnesota, quien más tarde recibió el Dexter Price por su libro *The Revolt of Engineers*.

En 1971 publicó "Mirror-Image Twins: The communities of Science and Technology in 19th Century America",¹² en el que propone un modelo separado-pero-igual de mellizos en imagen especular; la tecnología no es meramente ciencia aplicada sino su imagen especular,

¹⁰ "Toward a Philosophy of Technology", *Technology and Culture*, 7, 1966.

¹¹ J. Staudenmaier, *Technology Storytellers*, MIT Press, 1985.

¹² *Technology and Culture*, 12, 4, octubre de 1971.

separada pero igual; tiene, como la ciencia, sus propias instituciones, valores y métodos, y su propio tipo de conocimiento.¹³

Hay otros dos estudios importantes de Layton de los años 1974 y 1976 a considerar.

El primer artículo sostiene que la popularidad de la noción de que la tecnología es igual a ciencia aplicada radicó en las ideas expuestas por Vannevar Bush en su informe de 1945 al presidente (*Science, the Endless Frontier*) -que se amplió al año siguiente en su libro *Endless Horizons*-¹⁴ y resultó tan influyente como para conformar la política científica de ese país durante varias décadas. Es en ese trabajo donde, como consecuencia indirecta, se fragua con fuerza renovada la asunción de que la tecnología no incluye conocimiento propio.

Bush sostenía que:

La investigación básica conduce a nuevo conocimiento. Provee capital científico. Crea el fondo del cual deben ser extraídas las aplicaciones prácticas [...] Hoy es más cierto que nunca que la investigación básica es el marcapasos del progreso tecnológico [...] Una nación que depende de otros para sus nuevos conocimientos científicos básicos será lenta en su progreso industrial y débil en su posición competitiva en el comercio mundial, independientemente de sus habilidades mecánicas.¹⁵

Layton señala que en Inglaterra se mantenía una línea similar de pensamiento. Una publicación gubernamental reciente expresaba: "La justificación de la investigación básica está en que constituye la fuente de todo nuevo conocimiento, sin el cual las oportunidades de un

¹³ Dice Rachel Laudan (*op. cit.*, 1995) que esta postura es hoy todavía compartida en grado significativo por los historiadores de la tecnología en general. Esta historiadora de la ciencia señala que el artículo de Layton fue un paso importante hacia un tratamiento más equitativo de las dos empresas; alivió, de algún modo, la sensación intuitiva de los historiadores de la tecnología de que había algo engañoso en la definición de la tecnología como ciencia aplicada, mientras ellos mismos se hallaban en situación embarazosa por la inexistencia dentro de la reinante filosofía analítica de un tratamiento alternativo de la tecnología al cual pudieran volverse.

¹⁴ Washington DC, 1946.

¹⁵ Mucho después, en su autobiografía, Vannevar Bush, "el semivillano, por este aliento a una visión errónea de la relación ciencia-tecnología" (N. Reingold), rectificará esos asertos. Dice que el asunto de elevar al científico a un pedestal había, ciertamente, "persistido y desviado a la juventud. Aún recientemente, cuando enviamos los primeros astronautas a la luna, la prensa lo saludó como un gran logro científico. Por supuesto, no fue nada de esa clase; fue un trabajo ingenieril maravillosamente competente" (*Pieces of the Action*, Nueva York, 1970).

mayor progreso tecnológico se agotan". Si la ciencia básica es la fuente de todo nuevo conocimiento técnico, la tecnología en sí misma no produce nuevo conocimiento y el tecnólogo es un mero aplicador de lo que logra la ciencia. El autor cree reconocer en esta línea de pensamiento la influencia, justamente, de la teoría que informaba a la monumental obra historiográfica de Singer *et al.* Pero no deja de advertir también algo bastante obvio: quizá este acento cientificista era en parte fruto de la reacción contra el intento de reducir la ciencia al nivel de superestructura de las fuerzas materiales. Rupert Hall, en particular, el tercero en la nómina de editores de *A History...*, había estado empeñado en la polémica "scholar and craftman" contra Edgar Zilzel, quien sostenía en ella la posición marxista consistente en ver a los métodos experimentales de la ciencia como (históricamente) derivables de una imitación del progreso de las artesanías.¹⁶

Hall, además, propuso su propio modelo de la relación ciencia-tecnología, que en líneas generales es el modelo estándar conocido: la tecnología influyó en la ciencia a través de la instrumentación y la presentación de problemas; la ciencia influyó en la tecnología a través de sus teorías. Pero esto último ocurre recién a partir de la mitad del siglo xix, como lo ilustra el caso de la química, permitiendo a la ingeniería superar a partir de entonces las limitaciones impuestas por los materiales existentes. Layton hace intervenir en este punto de su discurso las ideas de Alexandre Koyré, que reconoce profundas y sutiles.

Este pensador tenía su propia visión de las relaciones ciencia-tecnología y sobre el conocimiento tecnológico. En primer lugar, no reduce tecnología a técnicas; por el contrario, insiste en que la tecnología es un sistema de pensamiento y, además, un sistema independiente y diferente de la ciencia. Es un sistema, basado en el *sentido común*, sobre el que la ciencia puede ejercer una influencia sólo indirecta, no necesariamente a través de leyes y descubrimientos, sino de modos más indirectos. Por ejemplo, en los siglos XVI y XVII, la idea de un universo gobernado por precisas leyes matemáticas que se transmitió a la tecnología a través de la conversión por obra de Galileo y Huygens del reloj mecánico en un instrumento de precisión.

¹⁶ Este filósofo sostuvo una provocativa tesis histórica según la cual fueron los cambios sociales operados hacia 1550 los que rompieron barreras entre los artesanos y las clases intelectuales altas, dando origen a la ciencia moderna. Enfatiza el rol de los fabricantes de instrumentos -relojes y lentes, en particular- para hacer posibles a los Galileo y los Newton.

Layton está de acuerdo con Koyré en que la ciencia y la tecnología son cuerpos separados de conocimiento y apunta que su caracterización del pensamiento tecnológico como *sentido común* les resulta simpática a los tecnólogos. Pero se pregunta si aquél todavía no se quedó corto con su diferenciación. El caso de los artistas sirve para ilustrar la existencia de un modo de pensamiento completamente diferente. Y, por su parte, los tecnólogos despliegan en casos específicos un modo de pensamiento plástico, geométrico y hasta cierto punto no-verbal que tiene gran semejanza con el de los artistas.

El pensamiento tecnológico tiene características que lo diferencian del científico. Los ingenieros en general identifican el *diseño* como algo propio de la profesión y a la *habilidad para diseñar* como el test crucial para el mérito en la profesión. ¿En qué consiste el diseño? Esencialmente es una adaptación de medios a un fin preconcebido. Hay primero una concepción en la mente del ingeniero¹⁷ que luego, por grados, se traslada a un plan o configuración detallada. Pero es solamente en las últimas etapas, en la concepción de los planos, que el diseño se transforma en técnica. Y todavía más tarde se manifiesta en herramientas o artefactos. El diseño involucra una estructura o modelo, una combinación particular de detalles o partes, y es precisamente la *gestalto* modelo lo que resulta esencial para el diseñador.

Podemos ver así a la tecnología como un espectro, con ideas en un extremo y técnicas o cosas en el otro, con el diseño a medio camino. Las ideas tecnológicas pueden ser trasladadas al diseño. Este a su vez puede ser implementado por técnicas o herramientas para producir artefactos o sistemas. El modelo corriente de relaciones ciencia-tecnología mira sólo al extremo del espectro. Sería una distorsión igual ver a la tecnología sólo como pensamiento; ambos aspectos son necesarios para una visión equilibrada.

Pero los propios ingenieros no definen la tecnología solamente en términos de diseño. En particular desde fines del siglo pasado se conciben ellos mismos como una clase de científicos prácticos capaces de diseñar. Los elementos racionales se han venido transformando en cuerpos sistemáticos de pensamiento, esto es, se han convertido en algún sentido en científicos. Y son estas partes teóricas de la tecnología, subraya Layton, las que presentan los mayores problemas para modelos de interacción entre ciencia y tecnología.

¹⁷ Véase más adelante una confirmación de esta idea en Fergusson y su análisis del *ojo de la mente*.

Layton observa que las leyes de la ciencia se refieren a la naturaleza y las reglas de la tecnología al artificio humano. La función de las reglas tecnológicas es proveer una base racional para el diseño, no habilitar al hombre para entender el universo. Y la diferencia no es sólo de ideas sino también de valores: *knowingly doing* reflejan los objetivos fundamentalmente diferentes de las comunidades profesionales de la ciencia y la tecnología. El pensamiento que encarna los valores de la tecnología se relacionará con una adaptación activa de medios y de propósitos para algún fin humano, esto es, se relacionará con el diseño ingenieril.

En un artículo de 1976,¹⁸ finalmente, Layton completó su análisis clasificando las ideologías subyacentes en las diversas posiciones. Ciencia y tecnología, señaló, habitan el mismo mundo integrado por materia y energía, pero lo perciben de diferentes modos y lo utilizan de maneras distintas. Distingue tres ideologías según el rasgo o carácter que privilegian.

Primero, la ideología *ciencia básica* (que se refleja en el comentado documento de Vannevar Bush), que interpreta la relación ciencia/tecnología -que es, en realidad, simbiótica- como un caso de parasitismo intelectual.

Segundo, la ideología *ciencia ingenieril*, una ciencia distintiva y propia de la actividad de los ingenieros, que difiere de la básica, concierne a artefactos hechos por el hombre antes que directamente a la naturaleza; tiene que ver a menudo con idealizaciones de máquinas, vigas, motores térmicos y artefactos similares.

Tercero, la ideología *diseño*, de hecho una segunda ideología ingenieril. Desde el punto de vista de la ciencia moderna, dice, diseño es nada; pero desde el punto de vista de la ingeniería, diseño es todo. Representa la adaptación intencionada de medios para alcanzar un fin predeterminado, que es la verdadera esencia de la ingeniería. El diseño, pariente del arte, exhibe muchas de las características de la ciencia.

Layton propone una reinstalación de los asuntos involucrados en la teoría sobre las relaciones de la ciencia y la tecnología. Hay que considerar, sostiene, que diseño, ciencia ingenieril y ciencia básica representan una jerarquía de abstracción progresiva; constituyen un espectro que conecta el mundo de los artefactos ingenieriles al mundo ideal de la física teórica.

"American Ideologies of Science and Engineering", *Technology and Culture*, 7,4, noviembre de 1976.

El pensamiento no verbal en tecnología

El profesor Robert McGinn, de Stanford, resumiendo, *modo docente*, lo relacionado con el conocimiento tecnológico¹⁹ e incorporando una dimensión hasta ahora no suficientemente explicitada -la del pensamiento no verbal- distingue cuatro fuentes o bases.

Primero, la observación directa y experiencia de primera mano trabajando con los modos según los cuales se comportan materiales y fuentes de energía bajo circunstancias variadas. Por ejemplo, el conocimiento normal que posee un maquinista o un trabajador de metales moderno.

Segundo, actividades sistemáticas -por ejemplo, experiencias cuidadosamente diseñadas (aunque no científicas)- y el uso riguroso de métodos experimentales específicos.

Tercero, la comprensión científica *bona fide*.

Cuarto, un tipo de conocimiento tecnológico que tiene una fuente más elusiva: la inspiración intuitiva y la imaginación del ingeniero respecto a cuál podría ser una manera de procedimiento viable o apropiada para una tarea tecnológica dada, tal como el diseño o la producción.

Esta última categoría nos introduce directamente en el tema final de este artículo, la exposición de ideas de Eugene Ferguson sobre el pensamiento no verbal en tecnología. Precisamente a este autor se refiere McGinn, al redondear su comentario sobre esta fuente típica de conocimiento.

Muchos artefactos, desde relojes mecánicos y catedrales hasta rockets y snowmobiles, deben sus principios básicos, operativos, principios, mecanismos o formas a lo que Eugene Ferguson denomina "pensamiento no verbal" (*id est*, pensando en términos de imágenes visuales).

McGinn muestra que la importancia de la intuición y la imaginación en la actividad tecnológica es apta para ser pasada por alto o infravaluada. Aunque tal intuición depende de la experiencia y de observaciones pasadas del tecnólogo, no es reducible a esas características. Es implícita, no codificable, ni científica ni derivable de la comprensión científica, aunque es profunda. "Su indispensabilidad en gran parte de la actividad tecnológica es otro decisivo mentís a la noción simplista de que la tecnología es meramente ciencia aplicada."

¹⁹ *Science, Technology and Society*, N. Jersey, Prentice Hall, 1991.

El ojo de la mente

Eugene Ferguson, profesor emérito de Historia en *Delaware*, es uno de los miembros conspicuos del grupo SHOT desde sus comienzos; como tal, ha participado activamente en el debate sobre la especificidad del conocimiento tecnológico.

En 1971, en un trabajo titulado "The American-ness of American Technology",²⁰ realizó un esfuerzo para compensar la influencia perversiva de historiadores económicos como Nathan Rosenberg con su énfasis en consideraciones de mercado en las decisiones ingenieriles. Rosenberg piensa que el cálculo económico forma la base de los juicios tecnológicos en el marco de la sociedad americana. Ferguson -sin pretender justificar lo que Samuel Florman ha llamado, en otros contextos, "los placeres existenciales de la ingeniería"- insiste sobre los orígenes irracionales y el contexto humano de una gran parte del cambio tecnológico.

En 1977 publicó un trabajo pionero sobre un aspecto particular, el pensamiento no verbal, que antes algunos (como Polanyi) llamaron *pensamiento tácito*, y lo que él identifica como "el ojo de la mente", una facultad humana crucial en tecnología: "The Mind's Eye: Non Verbal Thought in Technology".²¹

En 1992 editó un libro que profundiza aquel análisis y lo completa: *Engineering and the Mind's Eye*.²²

La definición de *Ingeniería* que adopta es la clásica inglesa: "[...] el arte de dirigir las grandes fuentes de poder que existen en la naturaleza para el uso y provecho del hombre".²³

²⁰ *Technology and Culture*, 20, 1.

²¹ *Science*, 197, agosto de 1977. Podemos asociar este título sugestivo con lo que escribió J. Bronowski (*The Origins of Knowledge and Imagination*, Yale University Press, 1979). Este matemático, filósofo y poeta evoca allí al poeta romántico William Wordsworth, quien habló en su tiempo de la "mirada interior" (*inward eye*). Con esa cita aclara Bronowski su idea de *imaginación*. Dice:

Piensen Uds. en las siguientes palabras: visual, visión, visionario; e imagen, imaginaria, imaginación. Hay algo sorprendente en este último término. Casi todas las palabras que empleamos en las experiencias relacionadas con la visión o la imagen tienen que ver o se conectan con el ojo o el sentido de la vista. *Imaginación* es una palabra que deriva de la producción de imágenes en la mente.

²² Cambridge, Mass., The MIT Press, 3a. ed., 1993.

²³ Constitución de la (British) Institution of Civil Engineers, 1828.

El libro analiza la naturaleza y la historia del diseño ingenieril. En cuanto a la primera, muestra que se enraiza principalmente en formas cognitivas no verbales y basadas en la experiencia del tecnólogo. Nuestros sentidos -ojos, oídos, nariz, dedos, músculos- perciben modelos y los almacenan en formato no verbal en lo que llama *el ojo de la mente*. El ingeniero extrae de su experiencia sensorial almacenada los juicios innovativos y los criterios sólidos necesarios para el proceso de diseño. Otra nota típica de la naturaleza del diseño es que es *abierto* en el sentido de que no hay, en general, una única solución "correcta" para un problema de diseño. Por eso, la ingeniería no puede pensarse como una ciencia exacta; tiene mayores lazos con el arte que con la ciencia.

En el prólogo, Ferguson comenta críticamente que "esta era científica" asume demasiado fácilmente que cualquier conocimiento que se incorpora a los artefactos de la tecnología se deriva de la ciencia. Esta asunción es parte del folklore moderno, que ignora las numerosas decisiones no-científicas, grandes y pequeñas, que hacen los tecnólogos cuando diseñan el mundo que habitamos. Muchos objetos de uso diario han sido claramente influidos por la ciencia, pero sus formas, dimensiones y aspecto fueron determinados por tecnólogos -artesanos, ingenieros e inventores- usando modos de pensamiento no científicos. Trinchantes, puentes, relojes y aviones son como son porque con los años sus diseñadores han establecido sus formas, estilos y texturas.²⁴

Muchas características y cualidades de los objetos que piensa un tecnólogo no pueden ser reducidos a descripciones verbales carentes de ambigüedad; esto es así porque tienen relación en la mente con un proceso visual, no verbal. El ojo de la mente es un órgano bien desarrollado que no sólo revisa los contenidos de una memoria visual sino que también forma las nuevas o modificadas imágenes que requieren los pensamientos. El diseñador ingenieril, que reúne elementos en combinaciones nuevas, es capaz de integrar y manipular en su mente dispositivos y aparatos que todavía no existen.

²⁴ "En América y Europa Occidental los ingenieros constituyen menos del 1% de la población, pero a causa de que son quienes diseñan los puentes, autopistas, automóviles, aeroplanos, sistemas telefónicos, hidráulicos, de calefacción y aire acondicionado, computadoras y redes de televisión -cosas que influyen fuertemente y directamente el modo como vivimos cada día- son, por lejos, mucho más influyentes que lo que sugeriría su número" (p. 1).

La conversión de una idea en un artefacto, que compromete tanto al diseñador como al fabricante, es un proceso sutil que estará siempre mucho más próximo al arte que a la ciencia. El filósofo Cari Mitcham otorga al diseño y a la invención sus lugares adecuados en el esquema de las cosas observando que

[...] la invención hace que las cosas lleguen a existencia desde ideas, hace que el mundo se conforme al pensamiento; mientras que la ciencia, derivando ideas de la observación, hace que el pensamiento se conforme a la existencia.

Si queremos entender la naturaleza de la ingeniería debemos apreciar este importante aunque poco notado modo de pensar. Ha sido el pensamiento no-verbal, de un modo general, el que ha fijado los contornos y completado los detalles del mundo material que nos rodea. En sus innumerables elecciones y decisiones los tecnólogos han determinado, en un sentido físico, el tipo de mundo en que vivimos. Pirámides, catedrales y rockets existen no a causa de la geometría, la teoría de las estructuras o la termodinámica, sino porque fueron primero representaciones en la mente de aquellos que los concibieron. *Antes de que una cosa sea hecha, existe como idea.*

Ferguson intenta clarificar la naturaleza y significación del pensamiento no-verbal en la ingeniería. Argumenta que la ingeniería moderna -esto es, la de los últimos quinientos años- ha dependido fuerte y continuamente del aprendizaje no-verbal y de la comprensión no-verbal. Hasta la segunda mitad del siglo xx, las escuelas profesionales enseñaron a comprender los dibujos ingenieriles enseñando cómo hacer tales dibujos; construyeron una apreciación de la naturaleza de los materiales y de las máquinas a través de experiencias reales. Entendieron que la mayor parte del conocimiento profundo del ingeniero es de naturaleza no-verbal, la clase de conocimiento intuitivo que acumulan los expertos.

Un segundo foco general del libro de Ferguson es un cuestionamiento específicamente centrado en su preocupación acerca del desvío de la enseñanza de la ingeniería en los Estados Unidos, una cierta posición de renuncia a reconocer a la ingeniería como basada en la experiencia y predispuesta en favor de la ideología cientificista. Para alcanzar un estatus social más alto, la profesión se habría vendido a la ideología de la ciencia.

Ferguson analiza la existencia histórica de algunos *mitos* que surgieron como consecuencia de cierta *capitis diminutio* subjetiva de

artesanos e ingenieros y su necesidad de apoyo por parte de *mece-nas* o gobiernos. En el Renacimiento, por ejemplo, cuando se redescubrió la cultura griega y las matemáticas fueron colocadas en un altar, hombres como Ramelli -un intuitivo nato y fecundo creador- justificaban sus invenciones tratando de mostrar a sus lectores que ellas incluían, como todo buen arte mecánico, una base de aquella *ciencia suprema*. Sin embargo, sus dibujos y textos no exhibían ninguna evidencia de utilización de geometría o aritmética; su creatividad y recursos técnicos eran ajenos a esas ciencias. El historiador Lynn White observó igual fenómeno en los tratados de fortificaciones del siglo XVI: "[...] a pesar de todo el discurso sobre teoría, sus métodos eran esencialmente empíricos". Había que convencer a los patrones ricos y a los humanistas que fijaban el tono intelectual de la época.²⁵ Entonces, como ahora, escribe Ferguson, los que "venden" nuevas ideas técnicas deben utilizar un mito familiar y aceptado; entonces eran las matemáticas, ahora es la ciencia. Y a esto último se refiere a continuación.

La tecnología americana se desarrolló en el siglo pasado siguiendo más bien pautas del arte. En el primer cuarto de este siglo surgió una creciente fe en la ciencia. Los años de la Gran Depresión, por su parte, incorporaron una crítica a los ingenieros como responsables de un maquinismo que habría agudizado la desocupación. Pero, durante la Segunda Guerra Mundial, Vannevar Bush, no obstante su origen como ingeniero del MIT, puso el tono a un nuevo discurso ignorando a los ingenieros y acentuando la importancia de la investigación básica que realizan los científicos. El fue el arquitecto de la *National Science Foundation* para "[...] apoyar la investigación básica en organizaciones sin fines de lucro, desarrollar el talento científico en la juventud americana y sostener la investigación de amplio alcance en materias militares".

Al concluir la guerra muchos líderes de opinión estaban convencidos de que la superioridad nacional americana dependía de su superioridad científica. Durante veinte años después de la guerra, las agencias militares apoyaron y, sin críticas serias, orientaron la dirección de gran parte de la investigación llevada a cabo en *colleges* y universi-

²⁵ En *Los filósofos y las máquinas. 1400-1700*, Barcelona, Labor, 1970, Paolo Rossi se ocupa de estas circunstancias. Refiere el esfuerzo de Vives, Rabelais y Gilbert por revalorizar la técnica contra los *pedantes*.

dades. El impacto de esta política en las ciencias físicas fue decisivo: sólo se valorizaba la investigación que contribuyera a la preparación bélica. La gravitación de este patronazgo fue aún mayor sobre las escuelas de ingeniería: cambió radicalmente la naturaleza del curriculum y el enfoque de la enseñanza y preparación de estudiantes.

Las consecuencias en la formación de ingenieros -pero ostensiblemente en la práctica ingenieril- han sido, según Ferguson, desastrosas. En la enseñanza, el diseño cedió amplio campo a las *ciencias ingenieriles* (mecánica, termodinámica, mecánica de fluidos, transferencia calórica, etc.) con el resultado de alejar a los estudiantes del mundo real de su profesión. Las consecuencias en la práctica de la ingeniería, que ocupan el último capítulo del libro, fueron muchas veces catastróficas. Relata los grandes fracasos tecnológicos atribuibles a fallas de diseño -ejemplos como el del *Challenger*, el telescopio espacial Hubble, *Three Mile Island*, el sistema Aegis de defensa aérea de la Marina que ocasionó el abatimiento por el *Vincennes* de un avión civil con 300 pasajeros-. Advierte, por último, sobre el error de confiar demasiado en la computadora: los ingenieros deben ser continuamente alertados de que casi todas las fallas tecnológicas resultan más de juicios erróneos que de cálculos erróneos.

El ojo de la mente es esencial para los tecnólogos. Pero no funciona, claro está, sólo en ellos. Es un don de todos los seres humanos que funciona casi inconscientemente, pero es relevante en actividades de creación e intuición. Ferguson cita varios ejemplos de grandes hombres de ciencia que reconocieron en sí mismos el predominio del pensamiento no verbal. Fue una realidad en grandes físicos del siglo pasado -particularmente Faraday, Lord Kelvin y J. Clerk Maxwell-. (El historiador de la ciencia Pierre Duhem percibió en esto una neta diferencia de estilo entre los físicos ingleses y sus colegas franceses, inclinados al razonamiento mediante conceptos abstractos.) En relación con personalidades de este siglo, los historiadores han documentado la utilización persistente de imágenes visuales en físicos como L. Boltzman, A. Einstein, Niels Bohr y W. Heisenberg. Albert Einstein dijo que él raramente pensaba con palabras; tenía que transmitir laboriosamente sus imágenes visuales y *musculares* a términos convencionales, verbales y matemáticos. Todavía Richard Feynman, el físico teórico, arriesgó opinar que Einstein, en sus años postreros, fracasó en desarrollar su teoría unificada debido a que "[...] paró de pensar en imágenes físicas concretas y se convirtió en un manipulador de ecuaciones".

Para cerrar

El tema del conocimiento tecnológico admite (y requiere) varios flancos de ataque. El que se ha adoptado en este artículo -que corresponde a los historiadores de la tecnología- tiene la ventaja de ser acotado y de estar en plena actividad en un foro competente. La colección de la revista *Technology and Culture* ofrece materiales propicios como para atraer la reflexión de las personas -los jóvenes, en particular- a quienes les interesa el campo interdisciplinario *ciencia-tecnología-sociedad*.

Son varios los centros universitarios en que se están iniciando actividades de posgrado, a imagen de la maestría precursora que funciona en el Centro de Estudios Avanzados de la Universidad de Buenos Aires. La noticia de que la joven y dinámica Universidad Nacional de Quilmes los está programando en estos momentos no hace más que confirmar la convicción de que es muy necesario ampliar las fuentes de información académica. Ese ha sido, en resumen, el propósito de este artículo.