

LA EPISTEMOLOGÍA Y EL CONOCIMIENTO ÚTIL

Ana Cuevas*

RESUMEN

Se presentará una caracterización epistemológica de las ciencias ingenieriles, superando la definición clásica de la tecnología como "ciencia aplicada". Con el estudio de caso de la Resistencia de materiales como ejemplo de teoría tecnológica, se reinterpretará el esquema de relaciones posibles entre la ciencia y la tecnología. Los resultados pueden ser un factor relevante en los debates éticos y decisiones políticas acerca de los desarrollos tecnológicos.

PALABRAS CLAVES

epistemología, resistencia de materiales, filosofía de la tecnología, ética, teoría tecnológica, relación ciencia y tecnología.

1. Introducción

La filosofía ha afrontado los problemas relativos a la tecnología desde diversas perspectivas, siendo mayoritarias las investigaciones que se realizan en torno a los graves problemas éticos y ecológicos que se derivan de su uso. En este sentido, la tecnología es considerada como un conjunto de artefactos con los que transformamos el medio sin tener en cuenta las posibles consecuencias negativas para la humanidad y el medio ambiente. Las reflexiones de este corte comenzaron

* University of Delaware (acuevas@udel.edu)

en los años sesenta con figuras como J. Ellul, L. Mumford, y han continuado la labor autores como L. Winner. También en torno a los años sesenta se retomaron las ideas marxistas acerca de la evidente función que desempeña la tecnología en los medios de producción, y su posible responsabilidad en la alienación de los individuos en las distintas sociedades. La Escuela de Frankfurt, con Marcuse y Habermas a la cabeza, abordaron estas cuestiones. Ambos enfoques han contribuido a que muchos filósofos y pensadores muestren hoy una actitud tecnofóbica. Además, de manera más o menos explícita ambas asumen que la tecnología es un proceso autónomo e incontrolable, que aplica los desarrollos científicos de manera automática y provoca nefastas consecuencias para la sociedad.

Claro está que esas no han sido las únicas reacciones que la tecnología ha suscitado entre los filósofos. También estarían aquellos que, desde una filosofía de la ciencia más positivista, han considerado que la tecnología actual es una prueba del éxito de las investigaciones científicas. Una de las razones más comúnmente esgrimidas para mantener las inversiones en las llamadas áreas de investigación científica básica, es que, tarde o temprano, reportarán un beneficio en forma de artefacto tecnológico.

Estas tres grandes líneas de investigaciones, enfrentadas por su postura tecnofóbica o tecnofílica, comparten sin discutir dos supuestos que puede resultar interesante reconsiderar. El primero es el de pensar que la tecnología es algo imposible de controlar, ya que los artefactos tecnológicos se generan gracias a la aplicación inmediata de conocimientos científicos neutrales. El segundo, que el conocimiento científico básico intenta comprender las leyes que gobiernan el funcionamiento del mundo, para, una vez establecidas esas leyes, utilizarlas en nuestro afán de dominarlo y transformarlo a nuestro antojo. El problema es que nadie ha explicado satisfactoriamente cómo se da (si es que se da) esa utilización del conocimiento básico

en la tecnología; esto es, nadie ha caracterizado de forma suficiente el proceso que hace posible la “ciencia aplicada”.

En este artículo se va a cuestionar la corrección de este enfoque, y se va a defender la idea de que la tecnología desarrolla sus propios conocimientos fundamentales, ya que en muchas ocasiones no tiene la posibilidad de emplear los conocimientos aportados por las ciencias básicas. Es decir, se intentará mostrar que la noción de “tecnología = ciencia aplicada” no es siempre correcta. Si esto es así, se pueden derivar importantes consecuencias con respecto a las auténticas relaciones que se establecen entre la ciencia y la tecnología, así como sobre la función que desempeñan los conocimientos científicos en el desarrollo de algunas tecnologías. También se pueden extraer con respecto a la controlabilidad del desarrollo tecnológico, y la responsabilidad de los ingenieros en las consecuencias del uso de los conocimientos que desarrollan.

2. El conocimiento técnico en la historia de la filosofía

Aristóteles¹ consideraba que el conocimiento técnico es una de las formas de conocimiento posible (junto con la prudencia (frónesis, φρονησις), la ciencia en sentido estricto (episteme, επιστημη) la inteligencia (vovς) y, la sabiduría (σοφια). La técnica es la capacidad de producir algo y mediante ella conocemos el porqué y la causa de las cosas. Además es un conocimiento universal que puede enseñarse, por lo que es superior a la experiencia. Al hombre que posee este saber le llama el *tekhmites*, un *sophós* que tiene “una habitud de hacer las cosas con razón verdadera”².

Dado que durante la Edad Media la filosofía no prestó demasiada atención a la forma científica del conocimiento, se

1. En la *Metafísica* y en la *Ética a Nicómaco*

2. Aristóteles: *Ética a Nicómaco*, 1.140 a 21

podría pensar que la técnica gozó de mejor suerte. Pero, de la misma manera que se pueden encontrar pensadores que reflexionaron sobre los problemas relativos a la ciencia (Beda el Venerable, Juan Escoto Erigena, Duns Scoto y Guillermo de Occam) así también sucede con la técnica. Una mirada no exhaustiva nos muestra que en el siglo VI, Isidoro de Sevilla en sus *Etimológicas* (considerada como una de las mejores enciclopedias de la Edad Media) dedica los últimos tomos (del XVI al XX) a las artes mecánicas: la petrografía y la mineralogía; la agricultura y la horticultura; el ejército, la guerra y los juegos; la marina y los vestidos y, por último, la alimentación, las artes domésticas e instrumentos agrícolas. Hugo de San Víctor en el *Didascalicon de Studio Legendi* por primera vez incluye las técnicas en el conjunto de las artes liberales. En el siglo XII, Domingo Gundisalvo en *De Divisiones Philosophiae*, influido por los pensadores árabes aristotélicos, consideró que la filosofía práctica constaba de política, ética y economía (arte del gobierno familiar)³.

Con la revolución científica del Renacimiento, la técnica pasó a ocupar un lugar preferente en la consideración de algunos filósofos. El caso más llamativo es el de F. Bacon, aunque no el único⁴. La técnica había continuado evolucionando a lo largo de la Edad Media, no sólo en Europa, sino también en Oriente. De allí se importaron algunos artefactos, que unidos a los nuevos inventos occidentales, empujarían a decir a Bacon

3. Mayor detalle excedería los intereses de este trabajo. Para ampliarlo pueden consultarse los excelentes trabajos de A. C. Crombie y E. Gilson, que aparecen en la bibliografía.

4. Descartes, por ejemplo, impresionado por los nuevos artefactos, propuso la creación de escuelas en donde los artesanos puedan adquirir los conocimientos necesarios de su oficio, es decir una escuela de Artes y Oficios (citado en P. Rossi (1970)); Mersenne en las *Questions harmoniques* (1634) insiste en que los elementos constitutivos de las nuevas ciencias se debían basar en los métodos desarrollados por las artes mecánicas, es decir, en el conocimiento descriptivo de los fenómenos y la aplicación del método experimental. Galileo, en su *Discurso en torno a dos nuevas ciencias*, reconoce que las obras llevadas a cabo por los artesanos tienen un valor incalculable, puesto que en ellas se acumula la experiencia de generaciones.

en el *Novum Organum* (1620) que la brújula, la imprenta y la pólvora habían transformado la historia. A pesar de este entusiasmo la técnica siguió recibiendo una consideración inferior a la ciencia, ya que “el mecánico no se toma en absoluto la molestia de investigar la verdad, no presta atención ni pone la mano, más que en aquello que puede facilitar su trabajo.”⁵ El mejor conocimiento posible es proporcionado por la ciencia, que en esa época comienza a superar su relación de obediencia con el pasado. De hecho, la Royal Society, la primera academia científica moderna, se constituye en 1662 bajo el influjo de Bacon. Allí habrían de trabajar juntos científicos y técnicos para el progreso general de la humanidad, aunque a pesar del propósito inicial, lo cierto es que se dio más relevancia al papel de los proyectos científicos que al de los técnicos. Este no fue el único proyecto creado por influencia de la obra de Bacon. Otro fue la *Enciclopedia o el Diccionario de las Ciencias, Artes y Oficios* de los Ilustrados. En ella se intentaba llenar el vacío dejado por las enciclopedias anteriores en torno al tema de los saberes técnicos, constatada en la queja de D’Alembert de que “se ha escrito demasiado sobre las ciencias; no se ha escrito bastante bien sobre la mayoría de las artes liberales; no se ha escrito casi nada sobre las artes mecánicas” (D’Alembert (1771): 141).

Esta actitud tecnofílica recibió un nuevo revés durante el Romanticismo. La industrialización había transformado la vida en un gran número de ciudades occidentales, y las diferencias sociales se hacían todavía más patentes para algunos. Se preconizó entonces una vuelta a la naturaleza, a la vida

5. Bacon, F.(1620), #99. A pesar de que “los descubrimientos de la pólvora para el cañón, de la seda, de la brújula, del azúcar, del papel y otros semejantes, parecen apoyarse en el conocimiento de algunas cualidades secretas de la naturaleza” no todas las técnicas implican esa clase de conocimientos, como por ejemplo la imprenta, cuyo arte “no tiene por cierto nada de misterioso y que no pueda ocurrirse a la inteligencia de cualquiera.” El conocimiento tecnológico continúa siendo considerado inferior al conocimiento científico, incluso por sus principales admiradores

en el campo, del que se presentó una visión bucólica (que no tenía mucho que ver con la auténtica vida rural) y se la contrapuso con las nuevas condiciones económicas y sociales de las ciudades. Del estudio de los abusos y desmanes generados por la nueva clase en el poder, la burguesía, se encargaron Marx y Engels. No ha de resultar difícil apreciar la persistente influencia de estas dos actitudes en reflexiones filosóficas actuales.

En el siglo XX M. Heidegger (1949) y J. Ortega y Gasset (1957), también se ocuparon de la técnica, realizando una indagación entre epistémica y ontológica. Ambos autores piensan la técnica como la transformación humana de la realidad. En el caso de Heidegger esta transformación se produciría en el paso de un estado de ocultación a un estado nuevo de desocultación. Esta desocultación pone y provoca a la naturaleza exigiéndole liberar energías explotadas y acumuladas. Consecuentemente, la tecnología no es un medio neutral, ya que mediante ella podemos descubrir, transformar, repartir y cambiar el mundo.

Ortega afirma que el hombre transforma el medio para adecuarlo a su circunstancia, que cambia el mundo para hacerlo humano. No acepta (como tampoco lo hizo Heidegger) que la tecnología sea el resultado de la aplicación de las teorías científicas. La relación técnica con el mundo es anterior a la relación científica. Antes de conocer de forma abstracta conocemos de manera práctica. Antes de tener teorías que explican lo que sucede, tenemos instrumentos que transforman el mundo.

Es sumamente interesante constatar cuándo y cómo surge la estrecha relación conceptual entre ciencia y tecnología que hoy asumimos. Las nociones de la tecnología como “ciencia aplicada” y de la ciencia como “ciencia pura” o “básica”, a pesar de haber sido tan bien acogidas en algunos entornos filosóficos, no surgieron dentro de la propia filosofía. Layton (1976) y Kline (1995) muestran cómo aparecieron hacia 1880

en entornos científicos e ingenieriles norteamericanos, y por motivos de carácter más bien espurio. Los primeros perseguían defender la preeminencia histórica de la ciencia con respecto a la tecnología, con el fin de que las investigaciones en ciencia básica no decrecieran; mientras, los ingenieros estaban interesados en una caracterización de la tecnología como “ciencia aplicada” porque aumentaba el grado de consideración de su actividad, hasta ese momento vinculada con el trabajo manual y por ello carente de prestigio intelectual⁶. La carga epistemológica que estos nuevos adjetivos traían consigo dibujaba una relación de carácter simbiótico entre la ciencia y la tecnología, pero en la que la tecnología aparecía siempre en situación de dependencia intelectual con respecto a la ciencia.

Al menos en las zonas de mayor influencia anglo-americana, esta consideración de la tecnología ha sido acogida sin apenas críticas por la filosofía de la ciencia contemporánea. Por un lado, la idea de la ciencia como la mejor forma de conocimiento posible es prácticamente un lugar común para la epistemología, que puede rastrearse hasta Aristóteles. Esas ciencias “puras” o “básicas” tienen mucho que ver con la filosofía: son las ramas de un tronco general de conocimiento, que es la filosofía. Las diferentes ciencias se han ido separando paulatinamente de ella, pero comparten una característica primordial: la búsqueda del conocimiento por el conocimiento. Aunque existen comprensiones pragmatistas de la ciencia (J. Dewey, C. S. Peirce) que vinculan su estatuto epistemológico con los resultados prácticos que puede generar, lo cierto es que la tecnología no ha terminado nunca de gozar de una consideración semejante a la de la ciencia. Podemos decir que la filosofía ha menospreciado en gran medida a la tecnología,

6. “Science has traditionally been a high-status occupation, and American engineers have been concerned, almost to the point of obsession, with the low prestige of engineering; an identification as “scientist” was expected to rise status.” Layton, (1976), p. 696

aunque no todos los filósofos, como hemos visto, lo hicieron de igual modo.

Establecida la concepción de la tecnología como ciencia aplicada, y conociendo la tendencia filosófica a estudiar las relaciones entre los distintos fenómenos, podríamos pensar que se han proporcionado variadas caracterizaciones de este mecanismo de aplicación, es decir, la forma en que la ciencia se transforma en tecnología. Pero lo cierto es que no es así. Salvo contadas excepciones, que analizaremos en el siguiente apartado, lo habitual es que se acepte sin más profundización que dicha transformación existe.

Sin embargo puede proponerse una interpretación distinta. No cabe duda de que la tecnología moderna ha adquirido un elevado grado de sofisticación. Sin salir de la cotidianidad, todos nos hemos visto ante un artefacto averiado sin saber ni siquiera por dónde abrirlo. Si para repararlos son necesarios un conjunto amplio de conocimientos, cuántos no serán precisos para crearlos. Por otro lado, si tenemos en cuenta el nivel de especialización que existe hoy en la ciencia, en la que entre áreas de la misma disciplina apenas se puede producir alguna comunicación, ¿cómo puede ser que la ciencia se transforme en tecnología? ¿qué conocimiento científico es el que se aplica, las teorías más confirmadas o las más modernas? ¿hay una heurística especial? ¿un método al menos? Por otro lado ¿quién se encarga de ello? ¿qué tipo de formación ha de tener una persona dedicada a este trabajo? ¿dónde lo hace? ¿con qué propósito?

Hay que hacer constar que todas estas preguntas tampoco gozan de la misma consideración filosófica. Las cuatro primeras son preguntas de corte epistemológico, y según la visión más clásica, corresponden al *contexto de justificación*. Las cuatro últimas, en cambio, se responderían con argumentos no necesariamente filosóficos, sino sociológicos o históricos, es

decir, tienen que ver con el *contexto de descubrimiento*. Tradicionalmente las investigaciones para dar cuenta de ellas marchaban por separado. La filosofía, digamos, no consideraba apropiado analizar las cuestiones del segundo tipo, dado que los datos empíricos que se podían obtener eran por principio irrelevantes para las cuestiones específicamente filosóficas. No obstante, la cuestión de lo que es filosóficamente relevante ha venido experimentando ciertos cambios en los últimos 50 años, en los que se ha apuntado la necesidad de “naturalizar la epistemología” (Quine, W. V. O. (1969)), de estudiar los “paradigmas científicos” (Kuhn, T. S. (1962)), de “analizar la vida en el laboratorio” (Latour, B. (1987)), con el ánimo de proporcionar una visión integral de la ciencia y del conocimiento.

No quiero ocultar el convencimiento que anima este trabajo, de que tal epistemología integradora puede proporcionar respuestas más satisfactorias.

3. Las formas de conocimiento y las teorías tecnológicas

M. A. Quintanilla (1999) propone una clasificación general de las diferentes formas que puede adoptar el conocimiento, en función de su contenido y de su forma. En cuanto al contenido, el conocimiento puede ser: (i) *representacional*, cuando representa o explica las propiedades, características y regularidades de entidades o procesos; (ii) *operacional*, cuando consta de reglas características de acciones u operaciones para transformar cosas o procesos. En cuanto a la forma, puede distinguirse entre: (i) *Conocimiento explícito*, cuando puede ser formulado correctamente mediante un conjunto de afirmaciones; o, (ii) *conocimiento tácito*, que es aquel conocimiento personal, que no se puede formular explícitamente por medio de ningún conjunto de afirmaciones.

En función de esta doble caracterización se articularían las diferentes formas que puede adoptar el conocimiento. Tendríamos por una parte aquel conocimiento que es tácito y operacional: las habilidades o el saber hacer algo. Por otro lado estaría el conocimiento que es explícito y operacional: el saber cómo hacer algo (esto es, saber explicar cómo se hace). En tercer lugar estaría aquel conocimiento que es representacional y tácito: la intuición (por ejemplo, la vaga noción que un matemático tiene de cómo se puede resolver un teorema). Y por último el conocimiento representacional y explícito, el saber qué.

	Representacional	Operacional
Explícito	Saber qué	Saber cómo hacer algo
Tácito	Intuición	Habilidades, saber hacer algo

Con el esquema a la vista, Quintanilla afirma que la mayor parte del conocimiento científico, entre el que considera tanto el básico como el aplicado, es conocimiento representacional y explícito. Aunque existen ciertos conocimientos científicos que, de manera parecida a como sucede en el arte, son operacionales, explícitos y tácitos (los que se implican en el diseño de un experimento y su ejecución, por ejemplo). El conocimiento técnico será fundamentalmente operacional o práctico, con un componente tácito muy importante, sin olvidar la existencia de ciertos conocimientos explícitos, como aquellos que se recogen en los manuales de instrucciones para el uso y el mantenimiento de los sistemas técnicos. Pero interesa especialmente resaltar que, desde la perspectiva de Quintanilla, hay también en la tecnología algunos conocimientos explícitos representacionales. Estos conocimientos son las “teorías tecnológicas”.

La existencia de las “teorías tecnológicas” ha sido analizada por varios autores, de los que a continuación vamos a hacer una breve reseña. Uno de los primeros filósofos que trató el asunto en estos términos fue M. Bunge, y lo hizo en un artículo para la revista *Technology and Culture* nada menos que en 1966. Allí señalaba lo inadecuado de equiparar tecnología con ciencia aplicada, ya que ésta última es el resultado de aplicar el método científico o teorías de la ciencia con fines prácticos, mientras que la tecnología consta además de otros elementos. A su entender, la aplicación de las teorías científicas sirve de base para la elaboración de un sistema de reglas que prescriben el curso de la acción práctica óptima (Bunge, M. (1969)). La tecnología también puede desarrollar sus propias teorías, las cuales pueden ser sustantivas y operativas. Las primeras son “esencialmente aplicaciones de teorías científicas a situaciones aproximadamente reales (...). Las teorías tecnológicas operativas, en cambio, se refieren desde el primer momento a las operaciones de complejos hombre-máquina en situaciones aproximadamente reales. (...) Las teorías tecnológicas sustantivas tienen siempre inmediatamente a sus espaldas teorías científicas, mientras que las teorías operativas nacen en la investigación aplicada y pueden tener poco –o nada– que ver con teorías sustantivas.” (Bunge, M. (1969): 684) Estas teorías emplean el método de la ciencia y “pueden considerarse científicas aunque dirigidas a la acción. Son teorías tecnológicas respecto del objetivo, que es más práctico que cognoscitivo; pero, aparte de eso, no difieren grandemente de las teorías de la ciencia.” (Bunge, M. (1969): 685) También señalaba Bunge una serie de propiedades de estas teorías, a saber: (i) tratan sobre modelos idealizados de la realidad; (ii) emplean conceptos teóricos; (iii) utilizan la información empírica y permiten realizar predicciones; (iv) son empíricamente contrastables, aunque no tan rigurosamente como lo tienen que ser las teorías científicas. Desde el punto de vista práctico, las teorías tecno-

lógicas son más relevantes que las teorías científicas, aunque desde el punto de vista conceptual las teorías tecnológicas son más pobres que las de la ciencia. Ello se debe a que han de ser concebidas para que los tecnólogos las empleen y ellos están más interesados por los efectos controlables a escala humana. Una teoría demasiado complicada puede resultar ineficaz a la hora de obtener resultados prácticos.

Esta explicación propuesta por Bunge albergaba ya varias ideas interesantes bajo nuestro punto de vista, y que retomaremos más adelante. Efectivamente, las teorías tecnológicas emplean conceptos teóricos, así como información empírica para realizar predicciones. No obstante, una de las afirmaciones de Bunge que no compartimos es la de que las teorías tecnológicas sean menos contrastables que las científicas. Como se verá más adelante, este rasgo no parece encajar muy bien con la labor que deben desempeñar estos conocimientos en el trabajo tecnológico, un trabajo que debe plasmarse en artefactos tecnológicos seguros y fiables. Por otra parte, y más importante, su tesis de que la tecnología no es ciencia aplicada se muestra sorprendentemente contradictoria con la caracterización que luego hace de las teorías tecnológicas sustantivas, como efectiva aplicación de teorías científicas. Tampoco apreciamos ninguna diferencia entre lo que describe como ciencia aplicada, y lo que serían las teorías tecnológicas sustantivas⁷.

Una contribución más reciente a la consideración del inestable status de las ciencias aplicadas, ha sido la propuesta por I. Niiniluoto (1995), que las distingue en dos clases: ciencias predictivas y ciencias del diseño. Las primeras intentan establecer regularidades dinámicas que ayuden a predecir el estado futuro de un sistema natural o social, mientras que las segundas intentan establecer normas técnicas o reglas de acción

7. Para una discusión acerca de la explicación de Bunge acerca de la transformación de leyes nomológicas en reglas nomopragmáticas, cfr. Cuevas, A. 2000.

condicionales. En ambos casos se combinan modelos teóricos descriptivos idealizados con información empírica. Las ciencias predictivas se parecen a las investigaciones básicas en que ambas proporcionan conocimiento descriptivo del mundo. Ese conocimiento puede formularse mediante generalizaciones en forma de leyes, que expresan regularidades causales o nómicas en el comportamiento de un sistema determinista o probabilístico. La ciencias del diseño persiguen encontrar normas técnicas verdaderas. No describen la realidad, sino que nos dicen cómo debemos comportarnos para conseguir nuestros objetivos. A diferencia de Bunge, para quien las normas técnicas debían estar basadas en teorías científicas, Niiniluoto apunta acertadamente que las normas técnicas no pueden derivarse de las regularidades descritas por la investigación básica, ya que en muchas ocasiones no hay una teoría básica que aplicar.

La principal objeción que planteamos a su explicación es que aunque las normas técnicas no tienen por qué estar basadas en teorías científicas, no está muy claro el motivo por el que esas normas no pueden describir en cierta manera la realidad, es decir, por qué el conocimiento que se genera a partir de ellas no puede ser conocimiento descriptivo. Menos importante es señalar que según el esquema de Niiniluoto, la ciencia básica sería un conocimiento de regularidades puramente descriptivo y que no serviría para predecir, caracterización para la que resulta difícil encontrar un modelo real.

En una línea similar pueden enmarcarse las explicaciones de F. Rapp (1981), aunque en lugar de hablar de teorías tecnológicas se refiere a las “ciencias de la ingeniería”. Presenta la tecnología como un proceso complejo en el que intervienen varios factores: desde un procedimiento o capacidad aprendida, pasando por los objetos vinculados a estos procedimientos, el conocimiento necesario para realizarlos, entre los que se incluyen las ciencias para la ingeniería y la realización efectiva

de los mismos. Las ciencias de la ingeniería, al igual que las naturales, tratarían sobre “las vinculaciones legales a las que están sometidos los procesos del mundo físico”. Esas vinculaciones se conocen gracias a la investigación experimental, se expresan generalmente en lenguaje matemático y tienen una función descriptiva, al mismo tiempo que predictiva. Las ciencias de la ingeniería tienen un carácter normativo “ya que proporcionan prescripciones de acción que nos dicen cómo hay que proceder para que se produzcan determinados procesos y fenómenos que no están dados naturalmente”. Para conseguir sus objetivos prácticos emplearán *conexiones ya conocidas*. Es decir, utilizarán teorías científicas ya probadas para desarrollar esos enunciados normativos que permiten la fabricación de un cierto artefacto. Así, todos los resultados de las investigaciones llevadas a cabo dentro de las ciencias naturales pueden ser utilizados técnicamente. Es decir, Rapp vuelve a la explicación de las teorías tecnológicas como el resultado de aplicar teorías científicas, pero sin proponer una explicación más satisfactoria de tal “aplicación”. Como veremos más adelante, y de acuerdo con Niiniluoto, no siempre se cuenta con una teoría básica que aplicar.

L. Tondl (1974), en una línea más sociológica, señaló que la diferencia entre las ciencias naturales y las tecnológicas depende de la especialización creciente del trabajo científico. La división entre ciencias naturales o teóricas y ciencias aplicadas no es satisfactoria, ya que las investigaciones realizadas dentro del marco de las ciencias naturales tienen como fin ciertos conocimientos para los que es difícil encontrar una aplicación inmediata, mientras que las investigaciones aplicadas buscan como objetivos más inmediatos las posibilidades de rendimiento práctico. De esta manera, las ciencias tecnológicas pueden implicar ciertas investigaciones básicas, así como aplicadas y otro tanto ocurre en las ciencias naturales. Si se reserva el ámbito de las investigaciones aplicadas a la tec-

nología, entonces las ciencias naturales serían las únicas con carácter creativo, pero esto no es correcto desde mi punto de vista. Las ciencias, en general, tienen como objetivo formular nuevas tareas, buscar nuevas soluciones para estas tareas, así como encontrar mejores soluciones para tareas anteriores. Lo que distingue las ciencias naturales de las tecnológicas no es si se realizan más unas tareas que otras en cada una de ellas, sino en el hecho de que, en el caso de las ciencias naturales, se tiene en perspectiva la *posibilidad* de encontrar una solución, mientras que en el de las ciencias tecnológicas lo que se tiene en mente es la *implementación* de la solución.

El último autor que vamos a considerar en este repaso es J. Agassi (1980)⁸, que a nuestro juicio ofrece la propuesta más interesante. Parte de una distinción entre cuatro elementos: la ciencia pura, la ciencia aplicada, la tecnología y la investigación básica o fundamental, que se corresponde con aquellas investigaciones orientadas teóricamente y realizadas por ingenieros, tecnólogos y científicos aplicados. Las interpretaciones comunes de la ciencia y la tecnología tienden a considerar que este tipo de investigaciones básicas pertenecen al conjunto de las que son realizadas por la ciencia pura, y ya que la tecnología es ciencia aplicada toda investigación tecnológica debe ser un ejercicio de aplicación de la ciencia. Siendo así, la filosofía de la tecnología no sería más que un caso especial de la filosofía de la ciencia. Pero el hecho de que la ciencia y la tecnología impliquen modos diferentes de investigación, con objetivos distintos, permite desmentir esa interpretación. Existe un criterio importante que no ha sido señalado por la filosofía de la ciencia tradicional: mientras que la investigación científica no precisa de corroboraciones exitosas, sino de *falsaciones*, la investigación tecnológica sí necesita esas

8. Podríamos continuar con Kotarbinski, Vincenty, H. Rumpf, G. Ropohl, pero por motivos de espacio, se han escogido los más representativos.

corroboraciones, ya que toda invención debe superar ciertos criterios de seguridad con el fin de que el artefacto o proceso pueda ser empleado públicamente. Luego existe al menos una diferencia entre la ciencia y la tecnología lo suficientemente importante como para permitir pensar en la separación en dos áreas distintas. Además, entre la ciencia aplicada y la invención tecnológica existe un salto cuyo vacío sólo puede llenar la existencia de un cuarto elemento: la investigación básica o fundamental. De modo que si: (i) la investigación científica consiste en la búsqueda de conjeturas explicativas que tratarán de ser refutadas, y (ii) la tecnología es la búsqueda de conjeturas corroboradas, entonces la investigación fundamental ha de ser algo que se sitúa entre ellas. Esta situación intermedia la hace especial: debe resultar exitosa desde los patrones de la ciencia (ofrecer explicaciones contrastables satisfactorias) y desde los de la tecnología (ofrecer corroboraciones a teorías potencialmente útiles). Según este esquema, la investigación fundamental y la ciencia pura se distinguen sólo por sus objetivos: mientras que el principal objetivo de la investigación fundamental es la aplicación de resultados, esto no es más que un subproducto para la ciencia pura. Los fines inmediatos de las dos actividades son idénticos, las diferencias se establecen a largo plazo.

La introducción de este cuarto elemento posibilita la explicación de determinados fenómenos que según las perspectivas anteriores caían indistintamente bajo el epígrafe de “ciencia aplicada”. Lo único que puede alegarse aquí en contra de la explicación de Agassi es que la identificación que hace entre la tecnología y la creación de artefactos es, al menos, discutible, siendo precisamente esta asimilación la que le lleva a situar en un espacio aparte e intermedio a la investigación fundamental. A nuestro parecer, resulta más conveniente incluir esta forma de conocimiento entre los propios elementos cognitivos tecnológicos, junto con los que se requieren en las fase de diseño y

fabricación de artefactos. Es decir, las investigaciones fundamentales forman parte del quehacer tecnológico, no hay ningún motivo para mantenerlas fuera de la propia tecnología.

Pretendíamos con este breve repaso dejar constancia de que la cuestión no se puede considerar ni mucho menos cerrada. Con el ánimo de que sirva de marco de referencia a nuestra propia contribución, hemos estudiado un caso particular de teoría tecnológica (Cuevas, A. (2000)), el de la resistencia de materiales, para pasar a continuación a dar una caracterización tentativa de lo que pueden ser las ciencias ingenieriles, así como las relaciones que guardan con las teorías de las otras ciencias.

4. La resistencia de materiales: una ciencia ingenieril

Nuestro análisis de esta teoría se ha basado en varios manuales utilizados por los propios ingenieros⁹. En ellos se define la resistencia de materiales como la *ciencia ingenieril que trata sobre la resistencia, la rigidez y la estabilidad de los elementos de las estructuras*. Esta ciencia proporciona los métodos de cálculo que determinan las dimensiones necesarias y seguras de las diferentes partes de esas estructuras o piezas de máquinas.

Todos los sólidos poseen la propiedad de resistir fuerzas externas (cargas, en términos de la teoría), sin romperse y sin sufrir grandes variaciones en sus dimensiones geométricas. Ello se debe a que poseen las propiedades de resistencia y rigidez. La mecánica teórica trata acerca de las leyes del equilibrio y del movimiento de los cuerpos absolutamente rígidos, es decir, se considera que los cuerpos no cambian a pesar de estar sometidos a ciertas cargas. Pero en realidad, todos los cuerpos

9. Se han usado, entre otros: Pisarenko, G. S., Yakovlev, A. P., Matveev, V. V.: (1979); Stepin, P.: (1963); Feodosiev, I.: (1980); Timoshenko, S. P.: (1930); Timoshenko, S. P., Gleason H.: (1935).

se deforman bajo la acción de una fuerza. En muchos casos estas deformaciones son pequeñas y sólo pueden detectarse mediante instrumentos de observación especiales; asimismo, no afectan a las leyes generales sobre el equilibrio y el movimiento de los cuerpos, por lo que la mecánica teórica no los debe tener en cuenta. Pero sin su consideración y estudio sería difícil resolver importantes problemas con los que se enfrenta el ingeniero en su trabajo, a saber: conocer bajo qué condiciones puede ocurrir un fallo, así como conocer las condiciones de seguridad de los diferentes materiales y estructuras.

Los conceptos clave de esta ciencia son los de *resistencia, rigidez y estabilidad*. “La resistencia es la capacidad de una estructura, de sus partes y sus elementos a contrarrestar una carga determinada sin descomponerse. La rigidez es la propiedad de una estructura o de sus elementos de oponerse a las cargas exteriores en lo que se refiere a las deformaciones (cambios de forma y dimensiones). (...) La estabilidad es la capacidad de una estructura o de sus elementos de conservar una forma inicial determinada de equilibrio estático.” (Pisarenko, G. S. et al (1979):5) La resistencia de materiales se encargará de proporcionar los conocimientos suficientes para que los diseños de las estructuras tengan las formas adecuadas y respondan a las exigencias de resistencia, rigidez y estabilidad.

Como cualquier otra teoría, la resistencia de materiales elimina aquellas propiedades de los fenómenos que trata que considera irrelevantes. Sin este tipo de simplificaciones no sería posible hallar solución alguna, ya que si intentamos considerar todas las propiedades de una estructura nos daremos cuenta de que son inagotables, y en muchos casos irrelevantes para el resultado final.

Estas simplificaciones se harán sobre: (i) las propiedades de los materiales, (ii) la forma de las estructuras y, (iii) los sistemas de fuerzas aplicados a los elementos de las estructuras.

- (i) El primer conjunto de simplificaciones considerará que los materiales son *homogéneos* y *continuos*, independientemente de sus propiedades internas. Este supuesto se adopta a pesar de que se sabe que ningún material puede ser realmente homogéneo, debido a su composición molecular, pero esto no se considera relevante dado que el tamaño de las estructuras a estudiar son muy superiores al nivel atómico. Si son homogéneos, serán también *continuos*, ya que la materia ocupa plenamente el volumen del sólido. Gracias a esta propiedad se puede aplicar el cálculo infinitesimal a los sólidos. Asimismo, los materiales se consideran *isótropos* (las propiedades de cualquier parte del mismo no dependen de la orientación original angular).
- (ii) Otra de las simplificaciones se realiza sobre la forma geométrica de los sólidos, que se reducen a cuatro figuras elementales: barras, placas, bóvedas y macizos.
- (iii) Por último, en lo que se refiere a las fuerzas, la resistencia de materiales distingue entre fuerzas *exteriores* y fuerzas *interiores*. Las primeras se dividen a su vez en: *fuerzas de volumen*, que están distribuidas en el volumen del sólido y aplicadas a cada partícula del cuerpo; y *fuerzas de superficie*, que sólo están aplicadas sobre determinadas áreas de la superficie. Las fuerzas interiores están determinadas por la interacción de las partes del cuerpo, dentro de unos límites fijados. Para caracterizar la ley de distribución de las fuerzas interiores se introduce el concepto de tensión, que será la medida de la intensidad de las fuerzas interiores.

Como ya se ha comentado, la resistencia de materiales se distingue de otras teorías científicas porque considera que los materiales no son absolutamente rígidos, sino que se deforman bajo la acción de determinadas cargas. Así, distingue entre *de-*

formaciones elásticas, que desaparecen después de haberse anulado la carga, y *deformaciones plásticas*, que no desaparecen. También se propone una clasificación de las diferentes clases de cargas, que serán cuatro en la teoría: tracción (y compresión), torsión, flexión y cizallamiento.

En resumen y recapitulando, la resistencia de materiales asume las siguientes hipótesis:

- (1) *Hipótesis sobre la continuidad del material*. Se supone que el material llena completamente el volumen que ocupa. En este caso, la teoría atomística de la composición discreta de la materia no se toma en consideración.
- (2) *Hipótesis sobre la homogeneidad e isotropía*. Se supone que las propiedades del material son iguales en todos los puntos y, en cada punto, en todas las direcciones. Esta suposición se hace a pesar de que en algunos casos es inaceptable: por ejemplo, la madera, cuyas propiedades son esencialmente diferentes de través y a lo largo de las fibras, es anisótropa como también lo es el papel.
- (3) *Hipótesis sobre la pequeñez de las deformaciones* (hipótesis de la rigidez relativa del material). Se supone que las deformaciones son pequeñas en comparación con las dimensiones del cuerpo deformado. En algunos casos se ven obligados a renunciar a este principio, lo que se acuerda especialmente.
- (4) *Hipótesis sobre la elasticidad perfecta del material*. Se supone que todos los cuerpos son absolutamente elásticos, aunque se sabe que lo son solamente hasta ciertos valores de las cargas.
- (5) *Hipótesis sobre la dependencia lineal entre las deformaciones y las cargas*. Se supone que para la mayoría de los materiales es válida la ley de Hooke, que establece

la dependencia proporcional directa entre las deformaciones y las cargas.

- (6) Como consecuencia de las hipótesis sobre la *pequeñez de las deformaciones y la dependencia lineal* entre las deformaciones y los esfuerzos, durante la solución de la mayoría de los problemas de resistencia de materiales es aplicable el *principio de superposición* (los esfuerzos en cualquier parte de la estructura provocados por diferentes cargas son iguales a la suma de los esfuerzos provocados por cada una de esas cargas y no depende del orden de su aplicación).
- (7) *Principio de Saint-Venant*: según este principio, las fuerzas internas de los puntos de un cuerpo situados a una distancia suficiente del lugar de aplicación de las cargas, dependen mínimamente de la forma particular en que se aplican esas cargas. Mediante este principio se puede simplificar los cálculos usando la resultante de las fuerzas concentradas en lugar de las fuerzas distribuidas continuamente sobre un área pequeña (Stepin, P: (1963):15).

Una de las hipótesis hace referencia a la ley de Hooke, expuesta por primera vez en 1679 cuando afirmó *ut tensio, sic vis* o lo que es lo mismo *según es la fuerza así será la deformación*. Según la interpretación moderna de la ley de Hooke, la dependencia lineal se establece entre la tensión y la deformación y no entre la fuerza y el desplazamiento. La ley expresa las propiedades del material.

Como puede verse, la resistencia de materiales y la mecánica teórica son teorías relacionadas pero muy diferentes, debido fundamentalmente a las hipótesis que se asumen en cada una de ellas. Mientras que la mecánica teórica decide que los materiales no se deforman, es decir, son absolutamente rí-

gidos, la resistencia de materiales asume que se deforman, e incluso que son perfectamente elásticos. Es decir, la propiedad fundamental de los objetos sobre los que trata la resistencia de materiales es su capacidad de deformarse, y por ello ciertas leyes de la mecánica teórica no tienen sentido dentro de la teoría ingenieril. Además de esta hipótesis, que puede considerarse como la principal, se asume otro conjunto de hipótesis relacionadas, como son las de homogeneidad, isotropía y elasticidad perfecta del material, que servirán para el propósito de caracterizar los fenómenos de los que se ocupa la teoría: serán interesantes aquellos materiales que cumplan estas propiedades, e incluso, en algunos casos en los que se sabe que no se cumplen, se puede forzar la definición para ampliar el conjunto de los elementos a estudiar. Así por ejemplo, se sabe que los metales no cumplen la propiedad de isotropía, pero sólo si se analizan a nivel micromolecular. A un nivel mayor el comportamiento de estos materiales es el mismo que el de los puramente isótropos, por lo que se decide que los metales también cumplen la propiedad de isotropía.

Una vez que se acepta la hipótesis de que los materiales se deforman surgen ciertos conceptos relacionados. Entre ellos están los de *causa de la deformación*, lo que en esta teoría se denomina *carga*, o el de *tensión interna del material*, o el de las *diferentes formas que pueden adoptar estas cargas*, o los *tipos de deformaciones* que provocan las diferentes cargas. Estos son los conceptos básicos de la resistencia de materiales y a partir de ellos y mediante la aplicación de métodos experimentales y matemáticos se construye su corpus teórico característico.

La resistencia de materiales mantiene una relación especial con la mecánica teórica y la teoría matemática de la elasticidad. Las tres ciencias comparten, en cierto sentido, el objeto de estudio, así como algunos principios. La resistencia de ma-

teriales y la mecánica teórica tienen en común los teoremas de la estática, y ahí se termina la semejanza, ya que para la teoría ingenieril los materiales se deforman bajo la acción de ciertas fuerzas, mientras que la teoría física asume que los materiales son perfectamente rígidos. La resistencia de materiales y la teoría matemática de la elasticidad participan del mismo objeto de estudio, pero sus objetivos las hacen diferentes: la resistencia de materiales intenta encontrar resultados numéricos específicos para resolver problemas prácticos, mientras que los cálculos en la teoría matemática de la elasticidad son demasiado complejos como para resultar útiles o manejables. Los ingenieros tienen objetivos prácticos y deben trabajar en ocasiones con aproximaciones, mientras que las matemáticas pueden tener como objetivo la búsqueda de un cálculo perfecto.¹⁰

5. Consideraciones epistemológicas generales

Sin que haya un fundamento claro para ello, las investigaciones que dan lugar a conocimientos de carácter explícito y representacional suelen disociarse de toda actividad realizada dentro de la tecnología. Como ya se ha señalado, en las interpretaciones más habituales suele ser la ciencia la encargada de proporcionar conocimientos de carácter fundamental, que la tecnología utiliza para desarrollar diseños y poder fabricar a partir de ellos los artefactos tecnológicos, objetivo último de toda tecnología. De aquí se deriva la conclusión de que mientras que la ciencia tiene como finalidad la obtención de conocimiento, el objetivo de la tecnología es la fabricación de artefactos. El problema es que, a pesar de que la conclusión es

10. El contraste es fácilmente verificable. Los estudiantes de cursos avanzados en mecánica teórica pueden no tener ningún conocimiento de cómo emplear las ecuaciones que aparecen en los manuales de resistencia de materiales. Los estudiantes dentro de la teoría matemática de la elasticidad pueden tener un problema diferente: todas aquellas fórmulas les parecerían como "recetas de cocina" y no como auténtica matemática.

correcta, las premisas no lo son. No se quiere negar el carácter epistémico de los objetivos científicos, ni el práctico de los tecnológicos, pero para obtener resultados prácticos puede ser preciso llevar a cabo actividades de índole muy diversa, como es el caso de las investigaciones de carácter fundamental.

Estas investigaciones comparten ciertas características con las investigaciones realizadas en el ámbito de las ciencias naturales y sociales. Por una parte, buscan la obtención de cierto conocimiento, para lo que aplican un método que les permite indagar en los aspectos de la realidad por los que se interesan. La diferencia sustancial es que, mientras que el objetivo último de las investigaciones de las ciencias naturales y sociales es obtener un conocimiento *descriptivo-explicativo*, las investigaciones de las ciencias ingenieriles buscan un conocimiento *descriptivo-útil* para la resolución de problemas que surgen durante el diseño de artefactos, aunque no por ello este conocimiento es menos fundamental que el de las otras ciencias. Son investigaciones que, a pesar de estar motivadas por problemas prácticos, proporcionan conocimientos fundamentales. Es preciso subrayar esta característica, puesto que es la clave para distinguir entre los resultados que se obtienen en las investigaciones realizadas en el seno de las ciencias ingenieriles y tecnológicas en general y los resultados de otras ciencias.

Las investigaciones llevadas a cabo en el ámbito tecnológico han sido posibles gracias a la institucionalización de las ingenierías y su incorporación al mundo académico. N. Rosenberg y R. Nelson¹¹ han analizado el papel de las investigaciones “básicas aunque con objetivos prácticos” de algunas de estas ciencias ingenieriles: la ingeniería eléctrica, la química, la aeronáutica y la informática. A pesar de que existe la tendencia a pensar que estas disciplinas no son más que aplicaciones de

11. Rosenberg, N & Nelson, R. R.: (1994)

los conocimientos desarrollados en áreas afines, como podrían ser la física o la química, lo cierto es que ellas han desarrollado su propio cuerpo de conocimientos fundamentales. En el caso de la ingeniería eléctrica, por ejemplo, problemas relacionados con el alto voltaje, o las propiedades de aislamiento de los materiales, hicieron necesarias investigaciones en las escuelas de ingeniería. O el caso de la ingeniería química, que surgió debido a que las investigaciones que se llevaban a cabo por la química básica no proporcionaban soluciones en la producción de nuevos artefactos a escala comercial. La ingeniería química no es, en contra de lo que muchos podrían creer, química aplicada. Es más bien una combinación de ingeniería mecánica y química. Desde el momento en que se consigue sintetizar un producto en el laboratorio hasta que puede ser fabricado a nivel industrial es necesario que los ingenieros diseñen distintos procesos que permiten trasladar aquellos resultados a una planta industrial. Del mismo modo cabe hablar acerca de la ingeniería aeronáutica o de la informática, tecnologías que han realizado actividades de investigación de carácter fundamental y que han conseguido un alto grado de desarrollo.

Las diferentes ciencias ingenieriles están formadas por conjuntos de teorías que tratan de proporcionar conocimientos -volviendo a la clasificación de Quintanilla- de carácter representacional y explícito acerca de ciertos aspectos de los fenómenos naturales y artificiales. Para la formulación de estas teorías se emplean métodos experimentales, se utilizan herramientas matemáticas y se recurre, cuando es necesario, a los conocimientos teóricos desarrollados por otras ciencias afines. La característica que las distingue de otro tipo de ciencias es que, además de un sub-objetivo cognitivo que muestra el aspecto descriptivo propio del conocimiento científico en general, tienen un objetivo general práctico: proporcionar conocimientos bien fundamentados que posteriormente puedan ser utilizados por los diseñadores en la fase siguiente. Este

objetivo práctico condiciona la naturaleza de los elementos de las teorías, como la utilización del aparato matemático, menos sofisticado que en las otras ciencias; el empleo de las abstracciones, que escogerán aquellos aspectos de la realidad relacionados con la fabricación de artefactos, y la inclusión de factores de corrección junto con las leyes propuestas, con el objetivo de respetar las medidas de seguridad y que las leyes no fallen en condiciones reales.

Las investigaciones pueden originarse de dos modos diferentes, bien a partir de problemas surgidos durante la fase de diseño, o bien a partir de las propias investigaciones llevadas a cabo en el seno de la ciencia en cuestión. El primer caso se produce cuando los ingenieros constatan que la necesidad con la que se enfrentan podría solucionarse con métodos más eficaces, para lo que pueden intentar desarrollar sus propios conocimientos. En el caso de que se obtenga una buena solución, se continuará sobre esa línea, realizando investigaciones e intentando elaborar una teoría acerca de las propiedades y características de ciertos fenómenos relativos a los problemas con los que tratan los diseñadores. Pero también puede suceder que, dentro de una línea de investigación que ya está abierta, se produzcan nuevos conocimientos en la propia marcha de la investigación que también resulten útiles para el diseño de nuevos artefactos.

Una vez que se ha determinado el problema que pretende resolverse, se seleccionan aquellos aspectos de la realidad relevantes y se identifican las propiedades sobre las que va a tratar la teoría. Para identificar este conjunto de objetos, se ha de recurrir, como en el resto de las ciencias, a ciertas *abstracciones* y *simplificaciones* sobre las propiedades del objeto de estudio, que acotarán los fenómenos sobre los que la teoría trate. La diferencia es que mediante distintas simplificaciones y abstracciones se definen objetos de estudio diferentes. Es

decir, las propiedades que se tratan son suficientemente distintas como para determinar dos ámbitos de estudio diferentes.

Por otro lado, las ciencias ingenieriles pueden realizar ciertas simplificaciones y abstracciones que desde el punto de vista de otras ciencias son inaceptables. Ello se debe a que el objetivo general de las ciencias ingenieriles, la obtención de conocimientos útiles, puede obligar a eludir lo que desde otra teoría sería un planteamiento correcto y exacto. El requisito de conocimientos más correctos y exactos en términos explicativos supondría para el ingeniero elevar la complejidad del fenómeno de tal manera que no podría obtener a partir de ellos una respuesta útil. Una vez más el objetivo práctico de las ciencias ingenieriles está determinando la estructura de sus teorías particulares. La búsqueda de conocimiento útil confiere de un carácter menos riguroso desde el punto de vista explicativo a las simplificaciones de estas ciencias. En las ciencias naturales y sociales se realizan abstracciones generales de los elementos de la realidad sobre los que quieren tratar, de forma que pueden dar cuenta de un gran número de fenómenos. En el caso de las ciencias ingenieriles las abstracciones son menos generales y dan cuenta de menos fenómenos debido a que la caracterización de los mismos debe ser más particular y pormenorizada, admitiendo así una reducción en la capacidad explicativa en aras de una mayor capacidad operativa.

Una vez que se posee un conocimiento contrastado acerca del comportamiento de los fenómenos estudiados y sus propiedades, se podrán enunciar leyes que tendrán funciones predictivas y descriptivas. La diferencia entre las leyes enunciadas en el seno de las ciencias ingenieriles y las de las ciencias naturales es que las simplificaciones que se realizan sobre los fenómenos en las ciencias ingenieriles se hacen siempre con el objetivo práctico del que se ha hablado, de tal forma que se consideran también los factores de corrección que permiten

modificar esa ley en el caso de que no sea lo suficientemente precisa en algún caso. Además, las teorías suelen presentarse acompañadas con un conjunto bastante amplio de casos particulares, concreciones de las teorías y de las leyes que facilitan el trabajo a los diseñadores. Por otro lado, en el caso de que no se conozca con exactitud el comportamiento real de los fenómenos, y si la ley lo único que proporciona es una aproximación a ese estado, pueden acotarse unos valores máximos y mínimos seguros, entre los cuales se sabe que los fenómenos exhibirán un comportamiento adecuado a las necesidades establecidas. Otra posibilidad es generar reglas menos generales mediante una descripción de los datos experimentales con los que se cuenta, que intentarán utilizar lo menos posible las suposiciones simplificadas. El problema de esta solución es que el conocimiento así obtenido no tiene un carácter general y está más pegado a los casos particulares que pretende explicar. Pero en resumidas cuentas, aplicando estas soluciones, las leyes de las teorías de las ciencias ingenieriles salvan la distancia que existe entre una formulación abstracta y simplificada de los fenómenos y los hechos reales con los que se enfrentan los ingenieros cuando tienen que diseñar cierto artefacto o proceso.

Las investigaciones fundamentales pueden llevarse a cabo en dos ámbitos diferentes: las universidades y los laboratorios de investigación y desarrollo (I+D) de las empresas. Las investigaciones que se realizan en las empresas suelen estar más relacionadas con la solución de problemas concretos que han surgido en las fases de diseño. De esta forma, sus resultados tienen un gran impacto en los nuevos artefactos que se fabrican, aunque suele pesar sobre ellas la privacidad de estos conocimientos. El esfuerzo que las empresas particulares tienen que realizar para poder llevar a cabo esas investigaciones tiene que verse recompensado económicamente en forma de patentes y de nuevos procesos y artefactos con los que com-

petir en el mercado. Suelen dar como resultado mejoras más o menos sustanciales sobre artefactos y procesos de los que ya existía una línea dentro de la empresa. Las otras investigaciones, las realizadas en las universidades, tienen un carácter más general y pueden ser de utilidad, no sólo para resolver problemas concretos dentro de una empresa, sino para un gran número de ellas. A pesar de su carácter fundamental, estas investigaciones están motivadas por la búsqueda de soluciones para problemas prácticos.

6. Las relaciones ciencia – tecnología

Es evidente que las ciencias ingenieriles guardan relaciones con el resto de las ciencias, aunque no hay por qué definir las en términos de aplicación ni de subordinación. Para comprender mejor estas relaciones es necesario tener en cuenta la doble naturaleza de la ciencia (como proceso y como resultado), y la complejidad epistemológica de la tecnología. En el caso de la ciencia, podemos distinguir entre aquellas acciones realizadas por los científicos encaminadas a la obtención de un resultado, la investigación científica, y por otra parte el resultado mismo, que suele ser cierto incremento en el conocimiento y que puede tener forma de refutación de una hipótesis, de una ley o de una teoría y el subsiguiente asentamiento de un nuevo conocimiento que las sustituya. En el caso de la tecnología se pueden distinguir dos resultados muy diferentes: por un lado estarían los “artefactos tecnológicos”, que son el objetivo general de todo proceso tecnológico. Pero este no es el único resultado al que se llega en la tecnología. También se obtienen las “teorías”, que no pueden considerarse propiamente como resultados finales (como los artefactos), ya que se desarrollan como uno de los pasos dentro del proceso tecnológico. Debido a su estatuto epistemológico, son uno de los elementos que entra en contac-

to con la ciencia. Entre estos elementos se establecen cuatro formas de relación distintas:

Relaciones ciencia- tecnología	Ciencia como resultado: <i>Teorías científicas.</i>	Ciencia como proceso: Elaboración de conocimientos.
Tecnología como resultado: Artefactos.	(I) Los artefactos tecnológicos sirven como ejemplos y modelos de teorías científicas.	(II) (A) Nuevos artefactos tecnológicos pueden precisar una explicación científica (B) Influencia de los artefactos tecnológicos en: (i) Experimentos. (ii) Instrumentos de medición. (iii) Instrumentos de observación. (iv) Metáforas.
Tecnología como proceso: Teorías tecnológicas.	(III) Influencia de los conocimientos científicos en la generación de conocimientos tecnológicos fundamentales.	(IV) Influencia de los nuevos conocimientos tecnológicos en la generación de conocimientos científicos novedosos.

(I) La primera de estas formas de relación, aquella que se establece entre la tecnología como resultado en forma de artefacto y la ciencia como resultado en forma de teoría o parte de una teoría, suele pasarse por alto entre los filósofos de la tecnología y de la ciencia. Se correspondería, por ejemplo, con la relación que existe entre la formulación del sistema heliocéntrico (un resultado científico) y una representación a escala de dicho sistema (un objeto o artefacto tecnológico), ejemplos de creación tecnológica que sirven de modelo a una teoría. Es importante no confundir esta forma de relación con la experimentación, ya que estos artefactos tecnológicos no sirven para contrastar los conocimientos científicos en desarrollo, sino que se utilizan como modelos que son útiles a la hora de ejemplificar la teoría.

(II) La segunda clase de relaciones serían aquellas que se establecen entre la tecnología como artefacto y la ciencia como proceso de investigación y generación de conocimiento. De esta

manera se tiene en cuenta la influencia que los artefactos tecnológicos pueden tener en la generación de explicaciones científicas. Un ejemplo paradigmático es la máquina de vapor y el desarrollo de la termodinámica (ver, por ejemplo, Rosenberg, N. (1982)). Además, los artefactos tecnológicos también permiten la elaboración de experimentos o la observación y medición en la ciencia, fundamentales para la elaboración de conocimientos. O pueden servir de metáfora para la explicación de fenómenos para los que la teoría científica aún no cuenta con una explicación satisfactoria (por ejemplo, la Inteligencia Artificial).

(III) La tercera clase está formada por aquellas relaciones que se establecen entre las teorías de las ciencias clásicas y la ciencias tecnológicas. Los conocimientos de la ciencia pueden ser útiles a la hora de elaborar nuevos conocimientos fundamentales de la tecnología, que a su vez proporcionan nuevas posibilidades de creación tecnológica. Hasta ahora esta clase de relaciones eran las que se explicaban en el modelo lineal clásico: la ciencia proporcionaba conocimientos que la tecnología aplicaba en la fabricación de artefactos. Pero, para que se produzca esta aplicación es necesario, en primer lugar, que ciertos tecnólogos se den cuenta de la necesidad de nuevos conocimientos científicos. Estos tecnólogos deberán ser capaces de buscar y, lo que es más difícil, encontrar dentro de las teorías científicas conclusiones útiles para sus propósitos. En segundo lugar, y no menos importante, hay que destacar que ese fragmento de conocimiento no puede ser aplicado totalmente, debido a que tanto las leyes científicas como las hipótesis asumen ciertas propiedades abstractas que las hacen inaceptables para las aspiraciones tecnológicas. Por ello, se deben traducir a un nuevo lenguaje, teniendo en mente esos problemas tecnológicos para los que se busca una solución. Estas tareas no pueden ser realizadas por cualquier tecnólogo, debiendo reunir una serie de cualidades, como son, por un lado, tener un buen conocimiento del estado de la ciencia contemporánea,

y por otro, tener la capacidad de seleccionar entre las leyes científicas, las hipótesis y las teorías aquellas potencialmente útiles para sus propósitos. A partir de ellas construirán esas soluciones que no sólo dan una interpretación de la realidad, que es el objetivo de las teorías científicas, sino que además proporcionan respuestas a los interrogantes planteados desde la fase de diseño. El proceso de aplicación no puede interpretarse como un proceso mecánico, que vierte directamente los nuevos conocimientos científicos en innovaciones tecnológicas. Puede ser preferible utilizar otro concepto, como el de “inspiración”, que sugiere una influencia y no una mera traducción. Este sería el caso de la mecánica de fluidos y la teoría de vuelo, la química molecular y la creación de nuevos materiales o la teoría física y la teoría matemática de la elasticidad y su relación con la resistencia de materiales.

(IV) La cuarta forma de relación se produce entre las teorías ingenieriles y el proceso de generación de nuevos conocimientos científicos. Los conocimientos desarrollados por los tecnólogos pueden ser un importante estímulo para nuevos desarrollos científicos. Esta forma de relación no ha sido estudiada por la filosofía de la tecnología, y es el caso, por ejemplo, de la influencia que ejerció la resistencia de materiales en el desarrollo de ciertas explicaciones acerca de las propiedades del éter. Desde las teorías físicas clásicas y sus teoremas no se podía explicar la existencia de este medio, que debía ser, al mismo tiempo elástico y rígido, elástico porque los planetas debían moverse a través de él, y rígido para poder dar cuenta del comportamiento de la luz. La ciencia ingenieril, al aceptar que los materiales son perfectamente elásticos proporcionaba modelos a partir de los cuales se podían comprender las extrañas cualidades del éter.

7. Conclusiones

La tecnología es un problema acuciante para la filosofía.

No hay ninguna cultura humana sin técnica, pero el caso de nuestra cultura no admite comparación, la vida gira en torno a ella como en ningún otro caso: asumimos su actividad acelerada cada vez menos capaces de asombrarnos ante las posibilidades que abre, y nos acostumbramos rápidamente al confort que nos proporciona aunque, en no pocas ocasiones, las repercusiones de su desarrollo provocan nuestro estupor y rechazo. Creemos preciso analizar estas cuestiones desde la filosofía, y participar en el debate empleando los esquemas proporcionados por la ética, de modo que el desarrollo tecnológico no se juzgue como algo fatal e incontrolable. Pero para hacerlo es preciso disponer de una caracterización adecuada de lo que es la tecnología, o si no correremos el riesgo de apuntar soluciones poco factibles, o de identificar erróneamente los problemas. Si estamos de acuerdo con la idea de que la tecnología es el resultado de aplicar conocimientos derivados de las ciencias, entonces deberemos ser capaces de explicar cómo se produce esta aplicación, es decir, hemos de proporcionar una caracterización del mecanismo que transforma un conocimiento científico abstracto en un artefacto tecnológico concreto. Si esto fuera así, es decir, si existiera realmente esta aplicación, entonces un buen modo de controlar a la tecnología sería a través del control de los proyectos de investigación científica. Por el contrario, en el caso de que se admita la caracterización que hemos esbozado aquí, y consideremos que la tecnología puede realizar sus investigaciones teóricas para encontrar soluciones a problemas derivados del diseño, entonces lo que deberemos controlar es la propia tecnología. Estas investigaciones presentan un elemento nuevo que caracterizará a los resultados que se obtienen: el objetivo práctico, que como se ha visto, configura las teorías tecnológicas de un modo diferente a las de algunas ciencias naturales y formales, con objetivos puramente cognoscitivos.

He dicho algunas, porque cada vez es más difícil encontrar

investigaciones realizadas con un objetivo meramente teórico. La balanza en las investigaciones científicas se está inclinando (y esa inclinación la determinan las inversiones y subvenciones) hacia estas ciencias prácticas, quedando muy pocas áreas en las que la investigación se realiza como un fin en sí mismo. No creo que debamos precipitarnos en el juicio epistemológico, atrincherarnos en una concepción milenaria de la ciencia como búsqueda del conocimiento por el conocimiento mismo, y afirmar que las auténticas ciencias son sólo las generadas de esa manera¹². Lo que caracteriza al conocimiento científico no es tanto su objetivo como su método y su forma, su carácter público, verificable, contrastable y discutible. Y todo esto se encuentra en las ciencias ingenieriles. Otra característica de orden práctico que deberían compartir el conocimiento científico y el tecnológico es que, en la medida en que su desarrollo y consecuencias son asunto de interés público, puede y debe ser controlado públicamente¹³. En este sentido, una de las consecuencias de nuestra perspectiva de las teorías ingenieriles puede ser la de rescatar del anonimato a los ingenieros que las desarrollan, para que así asuman los méritos y las responsabilidades derivadas de su actividad. Lo mismo que su neutralidad, la incontrolabilidad de la tecnología es algo que no está demostrado.

Bibliografía

1. AGASSI, J. (1981): *Science and Society*, Dordrecht, Reidel.
2. ARISTÓTELES: *Metafísica y Ética a Nicómaco*
3. BACON, F.(1620): *Novum Organum*, Sarpe, Madrid, 1984.

12.- Esta actitud normativa no es nada infrecuente entre filósofos de la ciencia, que sostienen una visión tan idealizada de la misma que, cuando tienen que ejemplificarla con algo, siempre recurren a la física de Newton, tan acabada y perfecta a su parecer como Kant pensó que lo estaba la lógica aristotélica.

13.- El trabajo de P. T. Durbin viene profundizando desde hace tiempo este planteamiento. Cfr Durbin, 1980, 1990, 1991, 1992.

4. BUNGE, M. (1966): "Technology as Applied Science", *Technology and Culture*, 3: 329-347.
5. BUNGE, M. (1969): *La investigación científica: Su estrategia y su filosofía*, S. XXI, Buenos Aires.
6. CROMBIE, A. C. (1963): *Scientific Change*, Heinemann, London.
7. CROMBIE, A. C. (1974): *Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo*, 2 vol. Alianza, Madrid.
8. CUEVAS, A. (2000): *Caracterización del conocimiento tecnológico: Hacia una epistemología de las ciencias ingenieriles*. Tesis Doctoral. UPV-EHU.
9. DURBIN, P.T., (1980): *A Guide to the Culture of Science, Technology and Medicine*, Free Press, Nueva York.
10. DURBIN, P.T., (1990): *Broad and narrow interpretations of philosophy of technology*, Boston, Kluwer Academic Publishers.
11. DURBIN, P.T., (1991): *Critical perspectives on nonacademic science and engineering* London, Associated University Presses.
12. DURBIN, P.T., (1992): *Social responsibility in science, technology, and medicine* Bethlehem, Lehigh University Press
13. D'ALEMBERT, J. Le R. (1751): *Discurso preliminar de la enciclopedia*, Aguilar, Buenos Aires, 1974.
14. ELLUL, J. (1962): "The Technological Order", *Technology and Culture* 3: 394-421.
15. FEODOSIEV, I. (1980): *Resistencia de materiales*, Mir, Moscú.
16. GALILEO, G. (1638): *Diálogo sobre dos nuevas ciencias*, Ed. Nacional, Madrid, 1981.
17. GILSON, E. (1952): *La Filosofía en la Edad Media*, Gredos, Madrid, 1985.
18. HABERMAS, J. (1982): *Ciencia y técnica como ideología*, Tecnos, Madrid.
19. HABERMAS, J. (1982): *Conocimiento e interés*, Taurus, Madrid.
20. HEIDEGGER, M. (1949): "La pregunta por la técnica", Trad. A. P. Carpio. *Epoca de filosofía*. (Barcelona): I, 1: (1985), 7-29.
21. KLINE, R. (1995): "Constructing "Technology" as "Applied

- Science” Public Rhetoric of Scientist and Engineers in the United States”, *Isis*, 86: 194-221.
22. KOTARBINSKI, T. (1965): *Praxeology. An introduction to the Science of Efficient Action*, Pergamon Press, Oxford.
 23. KUHN, T. S. (1962): *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México.
 24. LATOUR, B. (1987): *Science in Action*, Harvard U. P., Cambridge Mass.
 25. LAYTON, E. (1976): “American Ideologies of Science and Engineering”, *Technology and Culture*, 17: 688-701.
 26. MARCUSE, H. (1970): *El hombre unidimensional. Ensayo sobre la ideología de la sociedad industrial avanzada*, Seix Barral, Barcelona.
 27. MUMFORD, L. (1934): *Técnica y Civilización*, Alianza, Madrid, 1971.
 28. MUMFORD, L. (1956): *El mito de la máquina: Las técnicas y el desarrollo de la humanidad*, EMECE, Buenos Aires, 1969.
 29. MUMFORD, L. (1970): *The Pentagon of Power*, Harcourt Brace Jovanovich, New York.
 30. NIINILUOTO, I. (1995): “Approximation in Applied Science” en M. Kuokkanen (Ed.): *Structuralism, Approximation, and Idealization*, Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities, Vol. 42: 127-139.
 31. ORTEGA Y GASSET, (1957): *Meditación de la técnica y otros ensayos sobre ciencia y filosofía*, Rev. de Occidente, Alianza, Madrid, 1982.
 32. PISARENKO, G. S., YAKOVLEL, A. P., MATVEEV, V. V.: (1979): *Manual de resistencia de materiales*, Ed. Mir, Moscú.
 33. QUINE, W. V. O. (1969): “Epistemology naturalized”, *Ontological Relativity and Other Essays*, Columbia Univ. Press.
 34. QUINTANILLA, M. A. (1999): *Tecnología y sociedad*, Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Fondo ed..
 35. RAPP, F. (1981): *Analytical Philosophy of Technology*, Boston Studies in Philosophy of Science, vol. 63 Dordrecht.

36. ROPOHL, G. (1979): *Eine Systemtheorie der Technik*, Hanser, Munich.
37. ROSENBERG, N. (1982): *Inside the Black Box. Technology and Economics*, Cambridge U.P., Cambridge.
38. ROSENBERG, N & NELSON, R. R.: "American Universities and Technical Advance in Industry", *Research Policy*, 23, (1994): 323-348.
39. ROSSI, P. (1979): *Los filósofos y las máquinas*, Ed. Labor, Barcelona.
40. STEPIN, P. (1963): *Strength of Materials*, Gordon and Breach, New York.
41. TIMOSHENKO, S. P.: (1930): *Strength of materials*, D. Van Nostrand company, Inc., New York.
42. TIMOSHENKO, S. P., GLEASON H. (1935): *Elements of strength of materials*, MacCullough. New York, D. Van Nostrand company, Inc.,
43. TIMOSHENKO, S. P. (1953): *History of Strength of Materials*, McGraw-Hill, New York.
44. TONDL, L. (1974): "On the Concepts of "Technology" and "Technological Sciences" in F. Rapp (Ed.) (1974): *Contributions to a Philosophy of Technology*, D. Reidel Publishing Company, Holland. Pp. 1-18.
45. VINCENTY, W. G. (1990): *What Engineers Know and How They Know It. Analytical Studies of Aeronautical History*, The Johns Hopkins U. P., Baltimore.
46. WINNER, L. (1984): *The Whale and the Reactor*, Univ. Chicago Press, Chicago.