

# EL PAPEL DE LAS CIENCIAS INGENIERILES EN EL DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

Ana Cuevas Badallo

## RESUMEN

En este artículo se propone una explicación del desarrollo tecnológico que pretende superar los modelos deterministas, según los cuales la tecnología es el resultado de aplicar conocimientos surgidos en el seno de las ciencias básicas. En su lugar, se propone una caracterización del conocimiento tecnológico que incluye a las ciencias ingenieriles, comprendidas como conjuntos de modelos similares eficientes. Estas ciencias serán un elemento fundamental a la hora de comprender cómo se producen los desarrollos tecnológicos. Como ejemplo, se estudia el caso de la resistencia de materiales y su vinculación con el desarrollo y la difusión del ferrocarril.

## ABSTRACT

This paper suggests an explanation about technological development with the aim of surpassing deterministic models. Determinism considers that technology is the outcome of the application of scientific theories. Instead, I would like to propose a new characterization of technological knowledge, taking into account engineering sciences. Those sciences are clusters of similar and efficient models, and they are essential to understand some technological developments. As an example of this perspective, I will analyze the relationships between strength of materials and the development and diffusion of train system.

## INTRODUCCIÓN

¿Qué hace falta para que se produzca el progreso tecnológico? Ésta es una de las preguntas clave en la filosofía de la tecnología. Una de las respuestas más comunes relaciona estos sucesos con ciertos desarrollos anteriores del conocimiento científico, es decir, para que puedan crearse nuevos inventos tecnológicos es preciso que previamente se produzcan descubrimientos científicos. Esta idea, que comúnmente se resume en el aforismo «la tecnología es ciencia aplicada», esconde mucho más de lo que desvela, porque la gran incógnita se encuentra en ese proceso de «aplicación». ¿Quién aplica la ciencia? ¿Cómo lo hace? ¿Existe un método común, o hay métodos diferentes para cada caso?

En este artículo se sostiene que la idea de que la tecnología es ciencia aplicada es una de las manifestaciones del determinismo tecnológico, una concepción del de-



sarrollo social duramente criticada en las ciencias sociales. En su lugar, se defiende que si queremos comprender cómo se produce el desarrollo tecnológico es preciso superar esta definición. Ello no equivale a decir que los desarrollos tecnológicos no requieran de conocimientos de carácter fundamental, pero es más que cuestionable que todos esos conocimientos provengan de las ciencias básicas. Se puede defender la idea de que los propios tecnólogos llevan a cabo investigaciones científicas que dan lugar a las ciencias tecnológicas: conjuntos de modelos (en el sentido de Ronald Giere) que guardan relaciones de similitud con la realidad y que son aceptados por la comunidad tecnológica por su grado de eficiencia a la hora resolver problemas prácticos.

Esta nueva caracterización de la tecnología puede enmarcarse en el esquema propuesto por Miguel Ángel Quintanilla sobre la cultura tecnológica. Veremos cómo, a partir de esta comprensión de la cultura de la tecnología que pretende superar los problemas del determinismo y del constructivismo, es posible explicar un ejemplo concreto: el desarrollo y la implantación del ferrocarril durante el siglo XIX y la relevancia que tuvo resistencia de materiales (una ciencia ingenieril clásica) en este proceso.

### ¿QUÉ ES LA TECNOLOGÍA?

A pesar de que las diferentes manifestaciones tecnológicas han acompañado al ser humano a lo largo de toda su historia, la filosofía no ha prestado atención a este fenómeno hasta épocas más bien recientes. Éste puede ser el principal motivo por el que es difícil encontrar cierto consenso entre las diferentes perspectivas sobre la tecnología, siendo así que hasta se puede considerar controvertido proponer una definición del objeto de estudio. Las definiciones son variadas: la tecnología puede ser una colección de artefactos, una forma de acción humana, una forma de conocimiento, o un proceso social.

Como Peter Kroes señala, desde la filosofía se han identificado dos problemas de demarcación directamente relacionados con la propia definición de tecnología. El primero es de corte ontológico: es preciso disponer de algún criterio para distinguir entre objetos tecnológicos (artificiales) y objetos naturales. Este problema implica nuevas explicaciones acerca de la relación entre el ser humano, la naturaleza y la cultura. El segundo es de corte epistemológico: cómo distinguir entre la ciencia y la tecnología en tanto que formas de conocimiento. Es posible identificar varias formas de conocimiento tecnológico: (1) se identifica el *conocimiento operativo o know-how*: maneras subjetivas y, en muchos casos, incommunicables verbalmente de comprensión<sup>1</sup>; (2) se ha descrito el *conocimiento necesario para el diseño de artefactos complejos*, conocimientos operativos altamente sofisticados, que no son incommunicables pero que no tienen el grado de elaboración de una teoría científicamente

<sup>1</sup> DRUCKER, P.F.: «Modern Technology and Ancient Jobs», *Technology and Culture*, 4, (1963): 277-281. HALL, A.R.: «The Changing Technical Act», *Technology and Culture*, 3, (1962): 501-515. FEIBLEMAN, J.K.: «Technology as Skills», *Technology and Culture*, 3, (1966): 318-328.

ca<sup>2</sup>; (3) se señala el *conocimiento surgido durante el proceso de la fabricación de artefactos*<sup>3</sup>; por último (4) se distingue el conocimiento teórico tecnológico, también llamadas 'ciencias ingenieriles'. Este tipo de teorías resulta de investigaciones científicas realizadas con el fin de obtener conocimientos precisos sobre determinados aspectos de la realidad<sup>4</sup> y, además, aquéllas han de cumplir la función de servir de fundamento para obtener nuevas soluciones a problemas que puedan surgir durante la fase de diseño. La característica que distingue estas ciencias de otras es su doble objetivo: por una parte buscan conocimiento de carácter teórico (objetivo cognoscitivo), pero al mismo tiempo ese conocimiento ha de poder ser empleado en la solución de problemas prácticos (objetivo pragmático). Se produce así una tensión entre los objetivos característicos de toda investigación científica y los propios de la tecnología. El objetivo pragmático determinará en cierta manera la estructura de las teorías.

La idea de que los propios tecnólogos pueden desarrollar conocimientos de carácter teórico ha sido sugerida por varios autores, entre los que destacan los trabajos de Mario Bunge<sup>5</sup>, Edwin Layton<sup>6</sup>, Ladislav Tondl<sup>7</sup>, Joseph Agassi<sup>8</sup>, Friedrich Rapp<sup>9</sup>, Walter Vincenti<sup>10</sup> e Ilkaa Niiniluoto<sup>11</sup>. Todos ellos han distinguido un gru-

---

<sup>2</sup> BUCCIARELLI, L.L., *Designing Engineers*. Cambridge, Mass: MIT Press, 1994; VINCENTI, W.G.: *What Engineers Know and How They Know It. Analytical Studies of Aeronautical History*, The Johns Hopkins U.P., Baltimore, 1990; PETROSKI, H., *Inventing by Design. How Engineers get from Thought to Thing*, Harvard Univ. Press, 1996.

<sup>3</sup> BAIRD, D., *Thing Knowledge: A Philosophy of Scientific Instruments*, California U.P., Berkeley CA, 2001.

<sup>4</sup> En CUEVAS BADALLO, A., «Las ciencias ingenieriles como ciencias para la aplicación. El caso de la resistencia de materiales», *Argumentos de la Razón Técnica*, 6, 2003, pp. 161-180, caracterizaba una ciencia ingenieril clásica, la resistencia de materiales en estos términos.

<sup>5</sup> BUNGE, M., «Technology as Applied Science», *Technology and Culture*, 3, 1966, pp. 329-347; BUNGE, M., *La investigación científica: Su estrategia y su filosofía*, siglo XXI, Buenos Aires, 1969.

<sup>6</sup> LAYTON, E., «Technology as Knowledge», *Technology and Culture*, 15, 1974, pp. 31-41; LAYTON, E., «American Ideologies of Science and Engineering», *Technology and Culture*, 17, 1976, pp. 688-701; LAYTON, E. «Escape from the Jail of Shape; Dimensionality and Engineering Sciences», en Peter KROES y Martijn BAKKER, *Technological Development and Science in the Industrial Age*, Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. 144. Kluwer AC. Pub. Dordrecht, 1992.

<sup>7</sup> TONDL, L., *Scientific Procedures; a Contribution Concerning the Methodological Problems of Scientific Concepts and Scientific Explanation*, Dordrecht Reidel Pub. Boston, 1973.

<sup>8</sup> AGASSI, J., *Science and Society*, Dordrecht Reidel Pub., Boston, 1981; AGASSI, J., *Technology: Philosophical and Social Aspect*, Dordrecht Reidel Pub., Boston, 1985.

<sup>9</sup> RAPP, F., *Analytical Philosophy of Technology*, Boston Studies in Philosophy of Science, vol. 63, Kluwer AC. Pub., Dordrecht, 1981; Ed. Castellana: *Filosofía analítica de la técnica*, Alfa, Barcelona, 1981.

<sup>10</sup> VINCENTI, W.G., *What Engineers Know and How They Know It. Analytical Studies of Aeronautical History*, The Johns Hopkins U.P., Baltimore, 1990; VINCENTI, W.G., «The Experimental Assessment of Engineering Theory as a Tool for Design», *Techné: Journal of the Society for Philosophy and Technology*, 5, 2001, núm. 3.

<sup>11</sup> NIINILUOTO, I., «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, 1995, pp. 127-139.



po de ciencias diferentes de las que suelen aparecer en las clasificaciones más habituales, y están de acuerdo en una serie de rasgos que éstas comparten. Como ciencias que son, requieren de la investigación experimental y del lenguaje matemático (Rapp); se someten a las mismas leyes naturales que el resto de las ciencias (Bunge, Rapp y Vincenti); tienen funciones descriptivas (Rapp y Niiniluoto) y predictivas (Rapp y Bunge); se difunden a través de mecanismos de comunicación y enseñanza similares (Layton y Vincenti); son el resultado de la especialización del trabajo (Tondl, Layton y Vincenti); y el desarrollo de su conocimiento se realiza de manera acumulativa (Layton y Vincenti). A pesar de las posibles discrepancias entre las diferentes explicaciones propuestas, hay algo en lo que todos ellos coinciden: el objetivo práctico que las anima es el rasgo que las distingue de las otras ciencias. Las ciencias ingenieriles se producen con el fin de diseñar y producir artefactos, mientras que las teorías científicas tradicionales se producen con el objetivo de comprender mejor ciertos fenómenos.

Aportaciones como las de estos autores han contribuido a que se comience a superar la idea simplificadora (aunque ello no quiere decir que haya desaparecido del todo) de que el conocimiento teórico presente en la tecnología proviene de las ciencias, sobre todo de las naturales.

En otro sitio<sup>12</sup> he presentado las ciencias ingenieriles dentro de un esquema constructivo realista similar al que Giere propone para las ciencias en general. Las teorías son *clusters* de modelos, que establecen relaciones de *similitud* con los elementos modelados. No hay teorías verdaderas sino catálogos de casos en los cuales los modelos encajan tolerablemente bien con los sistemas del mundo<sup>13</sup>. Estos modelos se generan usando principios generales y condiciones específicas. Los principios generales, que según otras interpretaciones son las leyes científicas, no son verdades universales, sino verdades, en todo caso, consensuadas por los científicos para el modelo en cuestión<sup>14</sup>. El grado de encaje dependerá de cuestiones pragmáticas y no solamente ontológico-epistémicas. Es decir, además de los motivos generalmente considerados, los científicos pueden recurrir a otro tipo de criterios que permitirán determinar si un modelo encaja o no con los sistemas del mundo.

Los científicos son agentes intencionales, y usan los modelos para representar ciertos aspectos del mundo con determinados propósitos. En la elección del mejor modelo posible intervienen desde el primer momento ciertos «valores», siendo el más importante escoger aquel que proponga la mejor representación posible. La comunidad científica ayuda a consensuar la validez de los motivos. Esto no implica un relativismo desde el punto de vista ontológico. Los científicos escogen aquellos aspectos de los fenómenos sobre los que van a tratar, es decir, las propieda-

---

<sup>12</sup> CUEVAS BADALLO, A. (manuscrito), «A model-based approach to technological theories», 2004.

<sup>13</sup> Por ejemplo GIERE, R.N., *Explaining Science: A Cognitive Approach*, Univ. of Chicago Press., Chicago, 1988, p. 92.

<sup>14</sup> Dice expresamente que las leyes naturales no son universales, ni necesarias, ni verdaderas. GIERE, R.N., *Science without Laws*, Univ. of Chicago Press, Chicago, 1999, p. 90.

des que ellos consideran relevantes, conscientes de que dejan otras muchas de lado<sup>15</sup>. No es que se «inventen» la realidad, como podría defenderse desde el constructivismo más radical, sino que se sostiene que el mundo es suficientemente complejo como para que se propongan diferentes modelos sobre los mismos fenómenos sin que signifique necesariamente que uno de ellos ofrece la mejor perspectiva posible. Todo depende del propósito del modelo.

La principal diferencia entre las ciencias en general y las ciencias ingenieriles son los motivos por los que se escoge entre los diferentes modelos posibles. En el caso de estas últimas, se hará atendiendo al criterio de *eficiencia*. La eficiencia proporciona un estándar para ordenar de mejor a peor los diferentes modelos. Así, cuanto más eficiente es un modelo (o lo que es lo mismo, cuanto mayor sea la concordancia entre los objetivos pretendidos y los resultados obtenidos, según la definición propuesta por Quintanilla<sup>16</sup>), mejor candidato será para formar parte de la familia de modelos de la teoría. El objetivo de que los artefactos funcionen en el mundo de manera segura, convierte a estos modelos en los más adecuados desde el punto de vista del tecnólogo. El grado de similitud que proporcionan los modelos de las ciencias ingenieriles dependerá de las posibilidades tecnológicas eficientes que generen posteriormente durante el diseño de artefactos. El criterio de eficiencia se convierte así en un criterio racional que los ingenieros emplean para escoger entre los posibles modelos.

Si tenemos en cuenta estas diferentes posibilidades, la explicación del desarrollo tecnológico basado en el desarrollo de teorías científicas básicas no parece demasiado adecuada. En su lugar conviene proponer una explicación que tenga en cuenta la naturaleza compleja de la tecnología, así como el papel que han de protagonizar las ciencias ingenieriles, todo ello incorporado en un marco que no olvide el papel que las sociedades y las diferentes culturas tienen en el desarrollo tecnológico.

## EL DESARROLLO TECNOLÓGICO

El determinismo tecnológico, la idea de que la tecnología evoluciona siguiendo una lógica interna de aplicación de los mejores conocimientos científicos disponibles, sin que otros factores considerados «externos» tuviesen un papel relevante, ha sido, durante mucho tiempo, la explicación dominante a la hora de dar cuenta del desarrollo tecnológico. En la historia, la sociología, la economía y la filosofía existen diferentes versiones de la misma idea. Según las versiones optimistas, la tecnología es el motor del progreso que nos hace evolucionar hacia un bienestar, dominio y control de la naturaleza cada vez mayores. Poco a poco han surgido

---

<sup>15</sup> *Ibidem*, p. 180.

<sup>16</sup> QUINTANILLA, Miguel Ángel, *Tecnología: Un enfoque filosófico*, FUNDESCO, Madrid, 1989.





críticas frente a esta visión lineal y optimista, las cuales señalan que, si bien la tecnología es un factor importante en el desarrollo de la sociedad, al mismo tiempo ésta ejerce una influencia importante en el desarrollo técnico.

El constructivismo social<sup>17</sup> estudia diferentes casos que muestran cómo diversos grupos sociales intervienen en el desarrollo tecnológico, orientando y dando forma a los artefactos. La tecnología no sigue una lógica interna a la hora de resolver sus problemas, sino que se encuentra configurada socialmente (*socially shaped*), y por ello no es neutral. Hay problemas que son considerados importantes, mientras que otros simplemente se olvidan. Las decisiones sobre qué es o no importante no son azarosas, sino el resultado de la intervención de *grupos relevantes*: instituciones y organizaciones, así como grupos de individuos que no tienen por qué estar organizados. Según el constructivismo, para comprender por qué algunas soluciones tecnológicas pueden resultar problemáticas es preciso describir los motivos que argumentan los distintos grupos sociales relevantes.

Una de las críticas que se ha hecho contra este enfoque es que puede conducir a tesis relativistas extremas. Si por una parte es preciso admitir la existencia de diferentes grupos sociales que intervienen en las decisiones relativas a la orientación del desarrollo tecnológico, no es menos necesario reconocer que hay otros aspectos al menos tan relevantes como éste para la tecnología, como pueden ser el estado del conocimiento disponible, las posibilidades tecnológicas de las diferentes trayectorias, o la importancia de un criterio característicamente tecnológico: la eficiencia. No todos los constructivistas han dejado de lado estos aspectos: hay autores, como Andrew Pickering, que sí han tenido en cuenta estas características peculiares de la tecnología. Lo que les diferencia de las perspectivas puramente epistemológicas es la importancia explícita que otorgan al grupo en la configuración del conocimiento y el hecho de que consideran que es imposible tratar ciertos fenómenos de manera aislada, esto es, desde su punto de vista no se puede hablar de conocimiento tecnológico sin que los valores y criterios del grupo afecten a la supuesta objetividad de este conocimiento reclamada desde enfoques más positivistas.

En la economía han aparecido nuevas propuestas que intentan superar el análisis neoclásico, considerando necesario tener en cuenta que la tecnología es un factor impulsor del cambio y del desarrollo económico. La perspectiva neoclásica presuponía, entre otras cosas, que las empresas no tienen incentivos para innovar, y que la tecnología es información que se puede aplicar en diferentes contextos sin mayor dificultad, es decir, un elemento que se incorpora a la actividad industrial sin riesgo y con una adaptación sin costes. De esta manera, consideraban que el desarrollo tecnológico no era un factor a tener en cuenta dentro del análisis económico.

---

<sup>17</sup> MACKENZIE, D., WAJCMAN, J. (eds.), *The Social Shaping of Technology. How the Refrigerator Got its Hum*, Open Univ. Press, Milton Keynes, Philadelphia, 1985; CALLON, M., LAW, J. & RIP, A. (eds.), *Mapping the Dynamics of Science and Technology*, MacMillan Press, London, 1986; PINCH, T.J., «Opening Black Boxes: Science, Technology and Society», *Social Studies of Science*, 3, 1992, pp. 487-511; BIJKER, W.E. & LAW, J., *Shaping Technology / Building Society*, MIT Press, 1992.

Frente a esta concepción económica, la perspectiva evolucionista<sup>18</sup> define a la tecnología de una manera completamente diferente. En primer lugar, se señala que uno de los elementos claves para comprender qué es la tecnología es atender al tipo de conocimientos que desarrolla y necesita. Esos conocimientos en muchas ocasiones pueden tener un carácter tácito, de manera que la experiencia de aquellos que desarrollan y usan la tecnología es indisociable del artefacto tecnológico. De esta manera, se aprecia la dificultad de un traspaso completo de un desarrollo tecnológico meramente en función de conocimientos codificados en libros y patentes. En segundo lugar, la tecnología tiene un grado de especificidad que hace difícil una implantación idéntica o similar entre empresas, países y culturas. Y en tercero, se apunta que el conocimiento tecnológico tiene un desarrollo más acumulativo que rupturista, es decir, que las trayectorias de investigación y desarrollo tecnológico también han de tenerse en cuenta a la hora de estudiar la tecnología y su papel dentro del progreso económico.

A pesar de todas estas críticas al modelo lineal, sigue predominando, sobre todo entre los filósofos, la idea de que el desarrollo tecnológico y el desarrollo social que éste implica se producen siguiendo el esquema: «nuevos conocimientos científicos —► innovaciones tecnológicas —► cambios sociales». Los filósofos críticos como Langdon Winner<sup>19</sup> y Jürgen Habermas<sup>20</sup> se centran en la segunda parte del esquema y señalan las perniciosas consecuencias que la sociedad sufre en el proceso de adaptación a la evolución tecnológica. Se oponen así a los «optimistas tecnológicos», que recomiendan no enfrentarse al proceso del desarrollo técnico, dado que reportará beneficios a corto y largo plazo. Sin embargo, se sigue aceptando que la principal influencia del desarrollo económico proviene de la tecnología, y no se tiene en cuenta en estas críticas que los diferentes grupos sociales tienen alguna función en la forma que adopta la evolución de la tecnología moderna.

Además de estos análisis relacionados con los valores y las repercusiones del desarrollo tecnológico, existe otra forma de interpretar el determinismo desde la filosofía, aquella que lo hace desde perspectivas «analíticas»<sup>21</sup>, y que se fija en la primera parte del esquema. Según esta explicación, el desarrollo de la tecnología está determinado por una lógica condicionada por las leyes que gobiernan los fenómenos naturales y no por la sociedad en la que tiene lugar su evolución. La tecnología está determinada por el desarrollo de la ciencia: en último término todo depende del desarrollo científico, sin investigación científica no hay desarrollo tecnológico y sin éste no cabe esperar un desarrollo económico y social.

---

<sup>18</sup> DOSI, G. & FREEMAN, C., *Technical Change and Economic Theory*, London, Frances Pinter, 1988; FREEMAN, C., *The Economics of Industrial Innovation*, London, Frances Pinter, 1982.

<sup>19</sup> WINNER, L., *The Whale and the Reactor*, Chicago U.P., Chicago, 1984.

<sup>20</sup> HABERMAS, J., *Ciencia y técnica como ideología*, Tecnos, Madrid, 1982.

<sup>21</sup> BIMBER, B., «Tres caras del determinismo tecnológico», en M. ROE SMITH & L. MARX (eds.), *Historia y determinismo tecnológico*, Alianza Editorial, Madrid, 1996.



Influidos por las nuevas explicaciones propuestas desde la sociología y la economía, aunque sin olvidar el papel de las trayectorias tecnológicas, desde la filosofía se han comenzado a considerar alternativas a los modelos positivista y constructivista más radicales. Los desarrollos tecnológicos y sociales dependen de un gran número de factores. En el caso de la tecnología es preciso incluir entre ellos las influencias que sin duda ejercen los diferentes grupos sociales, influencias que pueden ser económicas, culturales, religiosas, de género, de edad... Asimismo, los desarrollos económicos y sociales que se producen en las diferentes sociedades y en los grupos que las forman también están influidos en cierta medida por factores tecnológicos. Por ello parece más correcto utilizar, en lugar de un modelo en el que sólo se considere una de las influencias, bien sea de la sociedad a la tecnología o viceversa, uno en el que estas relaciones sean bidireccionales.

Esta doble influencia de la tecnología sobre la sociedades y de la sociedad sobre la tecnología ha sido estudiada por M.A. Quintanilla<sup>22</sup>. Quintanilla propone, en primer lugar, una teoría general de la cultura tecnológica que sirve para elaborar modelos específicos de las interacciones que se producen entre la tecnología y la cultura. Se utiliza la definición propuesta por Mosterín (1993), según la cual la cultura es «información transmitida por aprendizaje social entre animales de la misma especie», información que puede ser representacional, práctica y valorativa. Los rasgos culturales presentes en los miembros de un mismo grupo social definirán la cultura de ese grupo. Estos rasgos, a su vez, pueden clasificarse en varias culturas específicas (cultura religiosa, política, científica, empresarial y también técnica). La cultura técnica de un grupo social estará formada por todos los rasgos culturales que se refieren, o se relacionan, con la tecnología. A su vez, los componentes de la cultura técnica pueden estar presentes de dos formas diferentes:

- (A) INCORPORADOS A LOS SISTEMAS TÉCNICOS, que serán: (i) componentes cognitivos, representacionales o simbólicos (los conocimientos técnicos); (ii) componentes prácticos u operacionales (reglas de operación, habilidades técnicas de diseño y uso de artefactos); (iii) componentes valorativos (objetivos incorporados a los sistemas técnicos, y la valoración de sus resultados).
- (B) NO INCORPORADOS A NINGÚN SISTEMA TÉCNICO, a pesar de que forman parte de la cultura técnica. Los componentes no incorporados serán: (i) conocimientos básicos, que no están incorporados a ningún sistema técnico, pero que pueden estarlo en el futuro, así como representaciones simbólicas de la realidad, y los mitos tecnológicos; (ii) reglas de actuación (morales, sociales, religiosas, políticas, económicas), que pueden tener relevancia con respecto al uso o el desarrollo de sistemas técnicos; (iii) valores y preferencias del uso y desarrollo de los sistemas técnicos.

---

<sup>22</sup> QUINTANILLA, M.A., BRAVO, A., «Informe Cultura Tecnológica e Innovación», realizado para la Fundación COTEC, Salamanca, 1997.

Con esta doble clasificación de los rasgos culturales tecnológicos es posible recoger en parte las propuestas realizadas desde la sociología y la economía. Por un lado, se reconoce la importancia que los grupos sociales, sus conocimientos y valores tienen a la hora de que se produzca un cierto desarrollo tecnológico. Pero, por otro lado, se señala que existen ciertas constricciones impuestas desde dentro de la propia tecnología. No toda buena solución desde el punto de vista externo tiene por qué ser realizable tecnológicamente. Las trayectorias tecnológicas, los conocimientos, los valores y los componentes tácitos, también determinan el tipo de tecnología que se desarrolla, imponiendo sus propias restricciones. No es adecuado dejar de lado estos rasgos, para fijarnos sólo en los externos, porque la imagen de irracionalidad tecnológica sugerida no se corresponde necesariamente con cómo se producen los desarrollos tecnológicos. Aquí se pretende aportar a este esquema un análisis más pormenorizado del papel que tienen los conocimientos tecnológicos de carácter teórico en la evolución de la tecnología. La historia, la economía, la sociología e incluso la filosofía ponen el acento en otras influencias, todas ellas condiciones *necesarias* para que tenga lugar la evolución de los sistemas tecnológicos, aunque no *suficientes*, puesto que, hasta que no se crea el ambiente tecnológico propicio, no puede suceder ningún desarrollo en su seno. Entre los elementos destacados que favorecen la existencia de un ambiente u otro se encuentra el estado de los conocimientos tecnológicos. Además, el nivel de conocimientos tecnológicos es uno de los motivos por los que, a pesar de que existen ciertos conocimientos científicos y ciertas necesidades sociales, económicas o políticas, en algunos casos, no es hasta mucho tiempo después que se produce la solución tecnológica adecuada.

Veamos a continuación el caso de la resistencia de materiales, una de las ciencias ingenieriles más desarrolladas y aceptadas por la comunidad tecnológica, y cómo los nuevos conocimientos que surgieron de sus investigaciones supusieron mejoras y avances en ciertos artefactos tecnológicos que promovieron una gran transformación social.

## LA RESISTENCIA DE MATERIALES Y SU RELACIÓN CON EL DESARROLLO DEL FERROCARRIL

El desarrollo del ferrocarril influyó y se vio influido, a su vez, por los nuevos conocimientos de la resistencia de materiales, una ciencia ingenieril bien consolidada ya en el siglo XIX. Suele destacarse la relevancia de las influencias económicas, sociales, políticas o militares en el rumbo y orientación de los desarrollos tecnológicos, y en ningún caso se les quiere restar importancia, porque, efectivamente, la tuvieron en el caso del ferrocarril. Se puede establecer una línea evolutiva que va de las vagonetas que habían sido utilizadas en las minas para el transporte del material por las galerías, hasta los trenes de uso general. Con la creación de la máquina de vapor y su aplicación en las locomotoras, el tren fue capaz de mover masas muy pesadas a lo largo de distancias mucho mayores de lo que había sido capaz ningún otro medio de transporte hasta entonces. La creación y la expansión de su uso tuvo causas económicas y sociales que también contribuyeron a la creación de un nuevo





marco geopolítico. Entre las causas económicas destaca la necesidad de transportar por tierra, de manera más rápida y segura de lo que se había conseguido hasta ese momento, las pesadas cargas que suponían los nuevos materiales empleados en una industria floreciente (principalmente el carbón y el hierro). Una causa social importante fue la necesidad de establecer a la población cerca de los núcleos industriales, donde se iban congregando un número cada vez mayor de personas, lo que hizo necesario reconsiderar la red de abastecimiento para esas nuevas ciudades más populosas. Asimismo, la creación de las líneas ferroviarias supuso un impulso en las investigaciones sobre la resistencia de materiales, cuyos resultados facilitaron la creación de nuevos puentes capaces de resistir el tránsito de los trenes pesados, así como de materiales mejorados que resistiesen las tensiones a las que se verían expuestos los trenes a partir de ese momento.

Uno de los primeros problemas que surgió en el trazado de las líneas ferroviarias fue el paso de los ríos. En algunos casos podían sentarse pilares que ayudaban a realizar estructuras cómodas, similares a las que se habían empleado hasta ese momento, pero esta solución no era válida para aquellos puentes cuya luz debía ser más ancha y permitir el transporte fluvial. Con este objetivo se intentó en Inglaterra la construcción de puentes tubulares que, como su nombre indica, tendrían la forma de un largo tubo con la anchura suficiente para que pasase un tren por su interior y que además no necesitase de ningún soporte intermedio en el río. R. Stephenson<sup>23</sup>, uno de los mejores ingenieros de todos los tiempos y encargado en aquel momento de construir el trazado ferroviario de la línea Londres-Chester-Holyhead, ideó esta solución. Para poder fabricar de forma segura esos puentes tubulares, fue preciso realizar una serie de trabajos experimentales que permitiesen contar con conocimientos sobre el comportamiento de los materiales sometidos a estas tensiones especiales. Uno de los puntos de partida de estos trabajos fue el comportamiento anómalo de las paredes de los puentes tubulares, que presentaban una mayor debilidad en la parte superior en contra de lo que predecían hasta ese momento los modelos de la resistencia de materiales. Se acudió a E. Hodgkinson, uno de los ingenieros teóricos más brillantes de su época, que descubrió que, si se quería calcular la resistencia última del material en las vigas tubulares, no se podían aplicar las fórmulas de la curvatura por tensión. Era necesario realizar una serie de experimentos con el fin de obtener un mejor conocimiento del problema. Por motivos prácticos se seleccionó una sección rectangular y para reforzar las paredes superiores se agregó más material. Cuando más tarde se pudieron realizar los ensayos sugeridos por Hodgkinson, se comenzó a utilizar una estructura celular para reforzar la parte superior del puente que contribuía a mejorar la resistencia de esta zona. Los fallos comenzaron a producirse en la parte inferior, que fue paulatinamente reforzada hasta alcanzar una gran resistencia. Después de una serie de experimentos, se pudo obtener la razón entre la resisten-

---

<sup>23</sup> Quien sería el segundo presidente del Institute of Mechanical Engineers, socio de la Royal Society y presidente entre los años 1856 y 1857 de la Institution of Civil Engineers.

cia en tensión y compresión, experimentos que también permitieron saber por qué los lados del tubo no eran lo suficientemente estables. Una vez que se contó con los datos suficientes, se hallaron en disposición de escoger las dimensiones adecuadas para el diseño de estos puentes.

La construcción de este tipo de puentes contribuyó a un mejor conocimiento sobre la resistencia de ciertos materiales y sobre las estructuras, ya que permitió establecer mediante ensayos la resistencia general de los puentes tubulares. Pero, lo que es más importante, se investigó sobre la resistencia de las láminas de hierro y sobre diferentes tipos de uniones, así como sobre el efecto de la presión lateral del viento y el calentamiento no uniforme producido por el sol. Estas investigaciones permitieron una construcción mejor de nuevos puentes, no sólo tubulares, sino también con formas más habituales. Es decir, a partir de una necesidad concreta surgida durante la fase de diseño, se generó una investigación de carácter fundamental que abrió nuevas líneas de investigación y nuevas conclusiones que permitieron mejorar la teoría.

En Europa Occidental se seguían empleando arcos de piedra y hierro fundido, así como vigas de este material para la realización de puentes duraderos en aquellos casos en los que se pudiese asentar un pilar en la mitad del río. Pero en Estados Unidos y en Rusia las condiciones sociales y geográficas eran distintas: la distancia entre las ciudades era mucho mayor y debía economizarse en la elección de los materiales empleados en la construcción de los puentes. La madera era de uso común, pero no era lo suficientemente resistente para soportar el paso de los trenes, por lo que tenía que ser reforzada con un sistema de soportes. Sobre este sistema ya existían precedentes históricos: algunos puentes romanos se habían construido con soportes similares y habían sido estudiados por el arquitecto renacentista Palladio, que también los empleó. En 1840 se construyó el primer puente, similar a aquellos construidos en madera, pero con todos los soportes metálicos. En 1845 Inglaterra copió la técnica y comenzaron a construir puentes de este tipo, lo que dio lugar a una serie de investigaciones sobre las propiedades y sobre el diseño de estos sistemas de soportes metálicos. Fairbairn en su libro *On the Application of Cast and Wrought Iron* de 1850 incluía los resultados del análisis de W.B. Blood, que proporcionaba fórmulas para calcular la resistencia de los elementos de esas estructuras, así como la distribución uniforme de las cargas muertas y la distribución menos favorable de una carga en movimiento. Estas fórmulas fueron contrastadas mediante experimentos, obteniéndose resultados que concordaban con los obtenidos teóricamente. El ingeniero alemán K. Culmann fue quien realizó las investigaciones más destacadas sobre las características de estos soportes, las cuales proporcionaban un análisis geométrico que permitía conocer las medidas más seguras y correctas para la construcción de esos puentes.

Culmann comenzó a trabajar en el diseño de estructuras para los ferrocarriles de Baviera. Desde allí se le envió a realizar un viaje por Estados Unidos e Inglaterra con el fin de ampliar sus conocimientos sobre la ingeniería de los puentes. Como resultado de este viaje publicó un estudio extensivo sobre ellos, que tuvo una gran influencia en el desarrollo de la teoría de las estructuras y de la ingeniería de puentes en Alemania. Su formación teórica, muy superior a la de la mayoría de los ingenieros





americanos e ingleses, le permitió realizar importantes críticas de las estructuras desarrolladas por aquéllos. Utilizando sus propios métodos de análisis sobre varios tipos de puentes de madera, Culmann demostró que los americanos permitían valores mucho más pequeños para las cargas en movimiento en sus cálculos de lo que era requerido por las especificaciones europeas, al mismo tiempo que utilizaban tensiones de trabajo mucho mayores, por lo que sus puentes eran mucho más inseguros que los europeos. Culmann concluyó que se atribuía una importancia insuficiente al análisis teórico preliminar, lo que daba lugar a ciertas insuficiencias en las construcciones americanas. Del mismo modo, criticó la tarea realizada por Fairbairn, que apenas contaba con formación teórica y que tenía que realizar complicados experimentos para llegar a conclusiones que podía haber encontrado en los libros.

Una vez que regresó a su país continuó investigando sobre este tema, llegando a importantes resultados teóricos sobre las propiedades de las estructuras, generando diagramas que daban los resultados de las tensiones, los valores máximos de las cargas y los valores de equilibrio. Empleó un complejo aparato matemático, que proporcionaba resultados exactos y fiables para su aplicación al diseño de puentes de forma más segura a como se venían realizando en América y en Inglaterra.

Otro de los problemas relativos a la construcción de los ferrocarriles que también inspiró investigaciones fundamentales, fue el problema de los fallos producidos por la fatiga en los ejes de las locomotoras. Durante los años 1849 y 1850 se discutió el asunto en varias reuniones de la Institución de Ingenieros Mecánicos de Inglaterra. En un primer momento se creyó que el material cambiaba su naturaleza de fibrosa a cristalina por causas desconocidas y esto era la causa de que se rompiese con facilidad. Las discusiones se centraron en si era posible que la estructura del hierro cambiase bajo la acción de ciclos de tensión y compresión. R. Stephenson, en aquel momento presidente de la institución, instó a los que investigaban este problema a que fuesen cautos antes de concluir que el hierro podía sufrir una transformación molecular tan grande. P.R. Hodge sugirió que, para conocer la estructura del hierro, se debía recurrir al empleo del microscopio y con su ayuda examinar ambas estructuras. Después de observar una pieza de material «fibroso» y otra de «cristalino» se llegó a la conclusión de que no existían diferencias entre ellas.

Al mismo tiempo, una comisión designada al efecto realizó trabajos experimentales sobre la resistencia de barras de hierro cuando eran sometidas a ciclos de cargas, para lo que se utilizaba una máquina capaz de realizar el examen sobre estas barras. Llegaron a la conclusión de que las barras de este tipo sólo podían soportar la aplicación reiterada de un tercio de su peso sin romperse. Pero hubo que esperar a que A. Wöhler realizase sus investigaciones teóricas sobre la fatiga, para contar con un conocimiento fiable sobre el comportamiento de los materiales sometidos a cargas discontinuas. Wöhler desarrolló estos conocimientos durante su trabajo en el taller de locomotoras de Francfort. Allí comenzó sus investigaciones sobre las propiedades mecánicas de los materiales con el objetivo de poder solucionar alguno de los problemas que iban surgiendo en el diseño de los ferrocarriles. La mayor parte de su trabajo estuvo dedicado al problema de la fatiga de los metales y para ello realizó numerosas investigaciones experimentales que tuvieron resultados prácticos muy importantes.

Una de las principales características que debe poseer un material de cara a sus aplicaciones prácticas es la uniformidad. Con el fin de contar con materiales de este tipo, Wöhler impulsó la creación de una cadena de laboratorios en Alemania que se encargaría de realizar pruebas sobre los materiales, para posteriormente proporcionarles la uniformidad deseada. También especificó una serie de condiciones que debían cumplir aquellos materiales que eran empleados en la construcción de las vías férreas.

El problema de la fatiga se manifestaba en los ejes de los trenes, que se fracturaban después de un cierto tiempo de uso. Para investigar sobre el origen de este problema se volvieron a emplear métodos experimentales. En primer lugar debían conocerse las magnitudes máximas de las fuerzas que actuaban sobre los ejes y, a la vista de estos resultados, se descubrió que aquellos ejemplares de diámetro uniforme eran los más resistentes a la fatiga: era preciso eliminar ejes con cambios en el diámetro, puesto que estos puntos presentaban una mayor incidencia de fracturas. Lo más interesante es que, a partir de estos estudios, se obtuvieron resultados que podían aplicarse también al diseño de otros artefactos.

Estas investigaciones, que surgían de ciertas necesidades prácticas, como era la construcción de ejes para los ferrocarriles que fuesen más resistentes a la fatiga, abrieron la puerta al desarrollo de nuevos conocimientos sobre el comportamiento de los materiales y sobre sus propiedades mecánicas y estáticas. Al mismo tiempo, estos resultados revertían otra vez en el diseño de artefactos concretos. Las investigaciones fundamentales llevadas a cabo en tecnología no pueden dejar de lado el objetivo por el que están siendo realizadas, puesto que sin él carecen de sentido. Esto no impide que los conocimientos obtenidos tengan el carácter propio de un resultado científico, como sucede en este caso, que mejora los conocimientos sobre las propiedades de los materiales y su comportamiento frente a determinadas cargas y tensiones.

## CONCLUSIONES

Las investigaciones llevadas a cabo en el seno de una ciencia ingenieril no sólo resuelven un problema particular, sino que pretenden servir de respuesta para el mayor número de casos posibles. El conocimiento obtenido de esta forma es un medio para alcanzar un fin: construir un artefacto de la mejor manera posible. Pero al mismo tiempo ese conocimiento tiene carácter fundamental: trata sobre las propiedades de ciertos ámbitos de la realidad. Estos conocimientos permiten nuevos desarrollos tecnológicos, artefactos nuevos y mejores que los anteriores. Este elemento cognoscitivo propio de las diferentes tecnologías no suele tenerse en cuenta a la hora de explicar los diferentes desarrollos tecnológicos, aunque como se espera haber mostrado, es uno de los motivos que permite la evolución de la tecnología. No hay que olvidar que los desarrollos tecnológicos también se ven influidos por otros factores que dependen de motivos sociales, económicos o geográficos. Pero no parece legítimo considerar, como podría hacerse desde el constructivismo más radical, que la tecnología solamente es el resultado de estas influencias. Es preciso tener



en cuenta los desarrollos internos a la tecnología. Sin el conjunto de conocimientos necesarios, el desarrollo del ferrocarril no hubiera sido posible, como no lo hubiera sido tampoco sin otros factores. Fue preciso que se produjesen un cúmulo de situaciones económicas y sociales concretas, así como la existencia de ciertos precedentes tecnológicos (como los vagones de transporte de material en las minas, o la máquina de vapor). Las necesidades surgidas durante el proceso de diseño de mejores trenes, puentes y vías provocaron a su vez investigaciones de carácter fundamental, nuevos conocimientos sobre materiales y estructuras, que permitieron una mejor construcción de estos artefactos. Y al mismo tiempo, la creación y expansión del ferrocarril dio lugar a profundas transformaciones políticas, económicas y sociales. El esquema es demasiado complejo para resolverlo con una fórmula simple. El modelo que se proponga para dar cuenta del desarrollo tecnológico y sus repercusiones en los sistemas sociales y económicos, debe ser consciente de este hecho, así como de la importancia que el propio conocimiento tecnológico tiene en la evolución general de la tecnología en su conjunto que, como hemos visto, es causa y consecuencia del desarrollo tecnológico.

