

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

**TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA**

IV

EL OCHOCIENTOS
Pensamiento, profesiones y sociedad

Rafael Rubén Amengual Matas	André Grelon
Juan Carlos Ara Torralba	Jesús Pedro Lorente Lorente
Javier Aracil Santonja	Guillermo Lusa Monforte
Ángel Calvo Calvo	Carlos Jesús Medina Ávila
Horacio Capel Sáez	José Ignacio Muro Morales
Francisco Fernández González	Javier Ordóñez Rodríguez
Irina Gouzévitch	Manuel Silva Suárez

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA

Publicación número 2.736
de la
Institución «Fernando el Católico»
(Excma. Diputación de Zaragoza)
Plaza de España, 2 · 50007 Zaragoza (España)
Tels.: [34] 976 288878/79 · Fax [34] 976 288869
ifc@dpz.es
<http://ifc.dpz.es>

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA SUÁREZ, Manuel
El Ochocientos: Pensamiento, profesiones y sociedad / Manuel Silva Suárez. —
Zaragoza: Real Academia de Ingeniería : Institución «Fernando el Católico» :
Prensas Universitarias, 2007

776 p. : il. ; 24 cm. — (Técnica e Ingeniería en España ; IV)
ISBN: 978-7820-920-0

1. Pensamiento-Sociedad-España-S. XIX. I. Institución «Fernando el Católico», ed.

© De los textos, sus autores, 2007.

© De las fotografías, sus autores. Eventualmente los servicios fotográficos de los archivos, bibliotecas, colecciones, fundaciones o museos que se citan.

© De la presente edición, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico», Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007.

Cubierta: La locomotora Mataró, de la primera línea de ferrocarril peninsular (Barcelona-Mataró, 1848), sobre un arco de fábrica. Flanquea la entrada al edificio de la Universidad de Barcelona por el «jardín anterior parte oeste», mientras que al este se encontraba una pequeña montaña de carbón de Sant Joan de les Abadesses, rematada con una vagoneta cargada con ese mineral. *Álbum de la Exposición Catalana de 1877* (fotos de Juan Martí). Ferrocarril, exposición y fotografía, tres rasgos característicos del singular desarrollo técnico del Ochocientos.

Contracubierta: Lámina (reordenada) de la monografía del ingeniero industrial (1856) Francisco de Paula Rojas Caballero-Infante, sobre «Calentamiento y ventilación de edificios», una de las primeras escritas sobre la materia en español (*Memorias de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*, Madrid, vol. vi, 1868, pp. 221-283).

ISBN: 978-84-7820-814-2 (obra completa)

ISBN: 978-84-7820-920-0 (volumen iv)

Depósito Legal: Z-3885-07

Corrección ortotipográfica: Ana Bescós y Marisancho Menjón

Digitalización: María Regina Ramón y Cristian Mahulea

Maquetación: Littera

Impresión: ARPI Relieve, Zaragoza

IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

1

Entre la utopía y la invención

Javier Aracil Santonja
Universidad de Sevilla

I

LA BUSCA DE LA VERDAD EN LA NATURALEZA Y DE LA UTILIDAD EN LO ARTIFICIAL

Se ha dicho que si un antiguo romano llegase a principios del XIX a una gran ciudad, por ejemplo Londres o París, posiblemente le fascinarían los progresos alcanzados, pero acaso no se sintiera extraño y acabara por adaptarse con facilidad a esos cambios que, por otra parte, le podrían resultar superficiales y, en consecuencia, asimilables. Situado ese mismo ciudadano en similares circunstancias a finales del mismo siglo, es presumible que se sintiera desconcertado y ajeno; le costaría entender lo que veía y requeriría un largo tiempo para habituarse, si es que lo hacía, al mundo en el que se encontraba. ¿Qué había sucedido en ese convulso, variado y fecundo siglo XIX? Muchas cosas, pero aquí interesa resaltar una: el dominio de lo artificial alcanzó un florecimiento no igualado en épocas anteriores. Una inmensa red de artificios empezaba a recubrir el planeta, muy especialmente los núcleos urbanos, mediante una malla que alteraba profundamente el medio natural en el que hasta entonces se había desenvuelto la vida del hombre, sustituyéndolo por otro marcadamente artificial. De ahí el desconcierto del ciudadano romano ante un entorno repleto de ingenios que desbordaban a los modestos artefactos que conocía de su remoto mundo latino.

Esta eclosión de lo artificial adquiere, a partir del XIX, un vertiginoso crecimiento y alcanza en nuestros días un desarrollo exuberante. No es fácil caracterizar con precisión *lo artificial*. En principio, cabe decir que es aquello de lo que la naturaleza no nos ha dotado espontáneamente y que ha requerido alguna forma de intervención humana, precedida de un designio, para llegar a ser. Sin embargo, si nosotros mismos somos producto de la naturaleza, y nuestro ser natural nos lleva a producir artificios, ¿qué separa lo natural de lo artificial? Aquí interesa destacar que la vocación hacia lo artificial tiene un radical ingrediente técnico y forma parte del patrimonio del ingeniero, que, como ha dicho Vaughn Koen¹, es el heredero de la ancestral «estrategia

¹ V. KOEN, 2003.

para causar la mejor transformación en una situación no del todo bien comprendida a partir de los limitados recursos disponibles». Esta idea subyace a todo lo que se dirá en lo que sigue.

La producción de artificios se lleva a cabo con el concurso de los conocimientos asociados con la técnica, que integran el cúmulo de saberes que han permitido esa omnipresente transformación del mundo natural. Es bien sabido que la técnica es crucial en la génesis y desarrollo de la civilización: no hay hombre sin técnica, que además es una parte sustancial de la cultura. Pero ese *saber hacer* ante problemas concretos se ha nutrido tradicionalmente de conocimientos de tipo práctico, que se utilizan desde para la concepción de un ingenio² hasta para los pormenores de su producción, incluyendo las pericias requeridas para su mantenimiento.

El complejo de labores que conocemos genéricamente como técnica, y el modo superior que adquieren en la ingeniería, reúne un saber práctico que se puede reducir, de forma muy simplificada, por una parte, a una ponderada combinación de reglas y procedimientos, en último extremo cultura, y, por otra, a destrezas prácticas, a veces de difícil caracterización, entre las que no están ausentes mañas como la astucia. Sin embargo, aparte de estos componentes, hay en la técnica otro más sutil pero crucial: la creatividad, la concepción de algo inexistente en una síntesis innovadora y su plasmación en algo concreto, para lo que se requieren las reglas y habilidades antes mencionadas. Si de algo se puede decir que constituye la forma suprema del acto técnico, es de la integración de elementos de distinta naturaleza en un compendio funcional sometido a la intención de su creador. Esta es la marca distintiva de la excelencia del quehacer técnico. Todo artefacto es el resultado de la confluencia de unos conocimientos, recopilados de modo sistemático, y de una idea que inspira la concepción de algo de lo que la naturaleza no nos había provisto. El primer componente se puede aprender, pero el segundo no: es un acto de genuina creación.

El conjunto de reglas o recetas que prescriben cómo se hace algo incorpora, de forma más o menos explícita, una componente epistemológica, de *saber* cómo funcionan las cosas en un dominio de aplicación. A lo largo de la historia, en estos saberes sobre cómo actuar para conseguir determinados fines, como extraer agua de un pozo o construir un albergue confortable, se van detectando pautas que trascienden el objetivo concreto y que alcanzan una cierta universalidad. Así, la técnica inspira la búsqueda de los principios generales de comportamiento de la naturaleza llamados a configurar lo que hoy conocemos como ciencia. Hasta el siglo xvii es incuestionable que la técnica antecede a la ciencia, y que está más desarrollada que ella. Se dispone de un amplio bagaje de conocimientos referidos a situaciones concretas con cuyo concurso es posible construir barcos, puentes, máquinas, hilados y un largo etcétera.

² Incluida la ingeniosa y novedosa reutilización de algo ya existente, aunque sea un producto natural, con un propósito determinado. Esta forma de hacer técnica es patente en los albores de la humanidad.

Este conocimiento, sin embargo, no deriva de principios generales ni es necesariamente congruente con un saber que aspire a la universalidad.

Asimismo, la vocación de la técnica por lo concreto ha sido motivo de estímulo para las pretensiones universalistas de la ciencia. Un ejemplo notable de ello es la recomendación que Galileo, en sus *Discorsi*, hace a los filósofos naturales (a quienes a partir del XIX se conocerá como científicos) para que vayan a los astilleros venecianos a empaparse del método que emplean los artesanos para construir los barcos: concebir, proyectar, calcular y construir. En tiempos de Galileo saber básico y saber productivo se mantienen en planos entrelazados, si no indisociables. Ciencia y técnica aparecen entonces como las dos caras de una misma moneda.

A lo largo de la historia los conocimientos que el hombre ha ido generando y acumulando se han organizado en un amplio espectro. Por una parte, los hay que brotan como respuesta a demandas de tipo utilitario, que sirven para hacer determinadas cosas, que permiten concebirlas de modo que su comportamiento sea el deseado; por otra, pueden obedecer a una motivación menos concreta, más especulativa, como es saciar la curiosidad, colmar el placer de entender las cosas, aunque de ello no se desprenda ningún beneficio, al menos en principio. En el primer caso estamos ante un saber que busca la utilidad y cuya legitimidad deriva de que conduzca a modos de actuación conformes con los objetivos que se persiguen, sean el funcionamiento correcto de una máquina, la organización de un servicio, la curación de un enfermo o la adopción de una determinada política económica. El segundo, sin embargo, es más ambicioso: pretende alcanzar eso tan inasible y resbaladizo como es la verdad; emular en sus construcciones intelectuales una especie de inmenso mapa que permita saber cómo es el mundo e incluso prever cómo discurrirá el futuro; acceder a las esencias más profundas de las cosas, llegando incluso, en el caso extremo, a adoptar metafóricamente el punto de vista del «ojo de Dios». Este tipo de conocimiento ha dado lugar a la forma universal de saber más excelsa de la que hoy disponemos: la ciencia.

La pretensión de la ciencia de desvelar la verdad profunda de aquello de lo que trata hace que, de hecho, acabe ocupándose de lo natural, de las cosas como son en su capa más honda. Al fin y al cabo, todas las cosas, sean naturales o artificiales, comparten una composición material que, por otra parte, es el legado de la naturaleza. El técnico se desenvuelve a un nivel de apariencia más superficial, pero su actuación incluye un ingrediente dominante de capacidad para producir algo que previamente no existía³, sometido a rigurosas exigencias de funcionamiento. Para hacerlo se valdrá del mejor conocimiento que se tenga sobre aquello que integra en su proyecto, parte del cual se lo suministrará la ciencia. En este caso, el conocimiento científico forma el sustrato a partir del cual el ingeniero construye sus concepciones; el cual puede servirle también como guía para evitarle ir a ciegas en la búsqueda de una solución a la espera

³ El afamado ingeniero aeronáutico Theodore von Kármán (1881-1963) ha señalado oportunamente este contraste al decir: «the scientist describes what is; the engineer creates what never was».

de un azar afortunado; e incluso puede sugerirle posibilidades de concebir determinados artefactos, al tiempo que le marca el cauce por el que puede discurrir e incluso los límites que no se deben rebasar. Pero la ingeniería no es la mera aplicación de ese conocimiento. Posee elementos metodológicos autónomos y propios, con componentes de arte, de innovación, de originalidad que le imprimen su genuino sello.

En la actualidad, los métodos tanto de la ciencia como de la ingeniería aparentan poseer rasgos comunes. Ambos aplican estrictos y rigurosos procedimientos a los problemas que abordan. En particular, la formalización matemática impregna con su indeclinable rigor las dos actividades. En ellas, la medida y su consiguiente tratamiento matemático ocupan un lugar privilegiado. De hecho, esa afinidad metodológica determina que hasta el siglo XVIII, como se recordaba antes, una misma persona pudiera asumir ambas ocupaciones⁴ con cierta normalidad, fecundidad o ventaja. Es lo que sucede con personajes ilustrados bien conocidos como, por citar a dos españoles, los marinos Jorge Juan y Santaella (1713-1773) y Antonio de Ulloa (1716-1795). El *Examen marítimo*⁵ de Jorge Juan es tanto un manual práctico para la construcción de buques como una exposición rigurosa, y del más alto nivel científico en su época, de los principios físicos de la navegación. Sin embargo, el crecimiento de los conocimientos y de las habilidades necesarias para desenvolverse con ellos determina una paulatina especialización que se produce en el siglo XIX y que provoca la separación entre las actividades científicas y la ingeniería, aunque esta última, inmersa en el desaliñado e impuro ámbito de la práctica, haya mostrado a veces una proverbial añoranza por el impoluto mundo de la ciencia, acusando un injustificado complejo de inferioridad al olvidar o minusvalorar la componente creativa de su labor.

Conviene advertir cómo a raíz de esta especialización se produce una creciente divergencia entre los cánones a los que someten sus productos y actividades científicos e ingenieros. Los primeros tienen como meta la estructuración coherente del saber, con la pretensión de remedar la realidad; mientras que los segundos aspiran a organizar los saberes utilitarios de forma también congruente, con una organización similar a la de los científicos, pero con el fin de facilitar el diseño de artefactos: no buscan la inasible verdad, sino que se conforman con la fecundidad práctica de sus conocimientos. Los científicos extreman sus apetencias de rigor y logran cotas elevadas de virtuosismo para conseguir una precisa explicación de los fenómenos naturales enmarcada en un ámbito de universalidad. Gozan de la ventaja de poder aislarse, en su gabinete de estudio o en su laboratorio, con aquello que están estudiando y prescindir de los aspectos que perturban sus clarificadoras simplificaciones. Su profesión

⁴ La posible raíz común de los métodos del científico y el ingeniero determina que, en la práctica, se realicen fecundos trasvases entre ambas profesiones. Entre medicina y ciencia se produce también un fenómeno análogo. Y así tenemos a grandes científicos como Severo Ochoa que es médico de formación.

⁵ El Colegio de Ingenieros Navales publicó en 1992 una reproducción facsimilar de la edición de 1771.

se articula sobre el fomento de las habilidades necesarias para acrecentar y estructurar el conocimiento sometiéndolo a exigentes controles y cánones con los que alcanzar el calificativo de irrefutable. En su dominio alcanza maestría el arte del análisis y la simplificación. Por su parte, los ingenieros desarrollan unos cánones ajustados a la complejidad de problemas en los que, además de cuestiones técnicas, como la concepción, producción y mantenimiento de los ingenios, tienen que vérselas con aspectos colaterales, pero no por ello menos importantes e incluso determinantes para su labor, como son los económicos y de aceptación social de sus productos. En sus formas superiores son los maestros de la síntesis. Ello se traduce en un distanciamiento entre la actividad de científicos e ingenieros que se consume, a veces imperceptiblemente, a lo largo del XIX.

Esta creciente separación de cánones de actuación profesional se produce con interacciones que, siendo enriquecedoras, pueden ser problemáticas. Así, se abre un inacabable debate, no exento de tintes gremialistas, entre quienes preconizan la prelación histórica de la técnica sobre la ciencia y los que, por el contrario, consideran a la primera, y con ella a la ingeniería, un mero subproducto de la segunda. Para quienes defienden la precedencia de la técnica, es claro que esta *crea* cosas que no están implícitas en el conocimiento teórico disponible; es decir, ninguna teoría permite concebir, ni siquiera propone cómo proyectar, una máquina de vapor, un robot o un avión; por lo que el proyecto de un artefacto posee una gran autonomía metodológica, ya que no está implícito en las teorías científicas disponibles. El genio humano añade algo misterioso e indefinible para hacer brotar artefactos que, aunque regulados por las leyes de la naturaleza, esta no ha producido espontáneamente. Esta génesis conduce a la maravillosa síntesis de un artefacto, siempre unida a una componente de propósito y de arte, provista de intencionalidad creativa, que es a lo que los ingenieros se aferran para defender la autonomía de su actividad.

Por otra parte, para los que preconizan la supremacía de la ciencia, es incuestionable que esta abre posibilidades a la técnica inconcebibles sin su concurso. Al fin y al cabo suministra un conocimiento básico sobre el comportamiento de los elementos que se engarzan en un ingenio técnico, que hace que, en nuestros días, solo productos triviales se puedan inventar careciendo de una sólida base científica. Todo ello ha llevado incluso a postular que la ingeniería es meramente ciencia aplicada; ciencia que, al estar adjetivada, parece de rango inferior. Uno prefiere pensar que ciencia no hay más que una y que, como dijo Louis Pasteur (1822-1895), uno de los grandes del XIX, no existe ciencia aplicada sino aplicaciones de la ciencia. En todo caso es claro que, si bien el concurso de la ciencia es normalmente *necesario* para la concepción de los productos de la moderna ingeniería, es asimismo evidente que no es *suficiente* para diseñarlos. Lo cual restituye el ejercicio de la libertad al ámbito de la creación técnica, siempre, claro está, sustentada sobre los conocimientos que la ciencia ha acumulado en el momento histórico en que esta se produce, pero sin reducirse a una mera aplicación de esos conocimientos.

De este modo, la distinción entre conocimientos utilitarios y básicos adquiere rasgos peculiares a partir del XIX, al fraguarse nuevas profesiones: en especial la de científico y la de ingeniero. Esta última, con raíces en el Renacimiento, pero que no adquiere hasta el Ochocientos los rasgos que la definirán en la modernidad. Recuérdese, por otra parte, que el término *científico* se plantea por primera vez en una reunión de la Asociación Británica para el Progreso de las Ciencias en 1833, en donde se propone la denominación *scientist*, por afinidad con *artist*, que se acepta no sin reticencias, por ejemplo las de Michael Faraday, quien manifestó siempre su preferencia por la denominación *filósofo natural*.

Por lo que respecta a nuestro país, durante la primera mitad del XIX se crean las escuelas de ingenieros que dejará esa centuria. Las facultades de Ciencias no aparecen hasta la Ley Moyano, en 1857, y lo hacen por secesión de las de Filosofía⁶ y en gran medida para aportar base científica a los ingenieros. Es revelador que, cuando se funda en 1847 la Real Academia de Ciencias de Madrid, los ingenieros no militares son la minoría ligeramente mayoritaria en su nómina, y si se suman los ingenieros militares se tiene una mayoría absoluta⁷. Si se compara con la actualidad, el cambio sustancial producido en esa composición es un claro indicio de la transformación ocurrida en la consideración de ciencia e ingeniería a lo largo del XIX y que iba a convertir el XX en un siglo de claro predominio intelectual de la ciencia.

II

LA HERENCIA ILUSTRADA Y LA GESTACIÓN DE LA INGENIERÍA MODERNA

La ingeniería, tal como se entiende hoy, se inicia en el Renacimiento⁸ y alcanza una forma sensiblemente más evolucionada durante el Siglo de las Luces. En ambos casos tiene unos orígenes de clara raíz militar, que se van desdibujando gradualmente según se acercan los tiempos modernos. Tras haberse ocupado de fortificaciones e ingenios bélicos, los ingenieros se involucran progresivamente en la vida económica, la agricultura, la industria y las obras públicas. El crecimiento de la producción y el fomento de los intercambios comerciales empiezan a desempeñar los primeros puestos entre sus objetivos profesionales. Los progresivos intercambios, resultado de la acrecentada producción, sugieren un cierto ideal circulatorio muy cercano a los idea-

⁶ Como todavía recuerda el color del traje académico de los de Ciencias, que se transforma en azul turquí a partir del celeste de los de Filosofía. Véase M. SILVA SUÁREZ, 1999. Este tronco compartido de la filosofía y la ciencia se manifiesta, entre otras muchas cosas, en la común pretensión de buscar la verdad.

⁷ Véase J. M. SÁNCHEZ RON, 1999, pp. 74 y 102-103 y nota 2 en la p. 74, en la que se apunta la posibilidad de algunas imprecisiones en las profesiones asignadas.

⁸ En lo relativo a los orígenes renacentistas de la ingeniería y su posterior evolución véase M. SILVA SUÁREZ: «Sobre Técnica e Ingeniería: en torno a un *excursus* lexicográfico», en M. Silva Suárez, 2004.



1.1. Máquinas de coser: (1) Modelo de Elias Howe (h. 1845); la aguja perfora la ropa en la dirección marcada por el giro de la manivela que se acciona manualmente. En 1846 Howe patentó su ingenio mecánico en los EE. UU. (2) Prototipo de la patente de Singer de 1850. Batallas legales por infracción de patentes entre Howe, Singer y varios otros desembocaron en una interesante mancomunidad de patentes. (3) Willcox & Gibbs (h. 1875), máquina que mejoró sustancialmente la confección de cadenas cerradas. (Fuentes: R. WEAVER y R. DALE, *Machines in the home*, *The British Library*, Londres, 1992; R. BRANDON, *Singer and the Sewing Machine: A Capitalist Romance*, *Kodansha International*, Nueva York, 1977).

les de los ilustrados fisiócratas, que pretendían hacer más fluidas las circulaciones existentes de acuerdo con una metáfora que sugiere que el movimiento purifica, mientras que la inmovilidad permite que la corrupción se desarrolle. Durante el XVIII se fragua, principalmente en Francia, una clase de ingeniero al servicio del Estado formado en escuelas también estatales en las que se promociona un profesional para la administración gubernamental, con una fuerte componente de funcionario público⁹. Este modelo se imitó en nuestro país, por lo que será el que especialmente se considerará en lo que sigue.

II.1. La École Polytechnique y la moderna ingeniería

Al aludir a la ingeniería francesa en el XIX resulta inevitable referirse a la École Polytechnique de París, creada a finales del XVIII pero que alcanza en el XIX todo su esplendor¹⁰. La Polytechnique forma parte de un sistema formativo más amplio que incluye las escuelas de aplicación, las cuales reclutan sus estudiantes en la propia Polytechnique. En esta institución se pretende establecer una clara transición del conocimiento básico al aplicado, es decir, entroncar la ingeniería con la ciencia: que el ingeniero sea primordialmente un científico y no un artista, como la tradición

⁹ Este tipo de ingeniero es distinto al que en la misma época se halla en las Islas Británicas, más vinculado a la industria privada y con menor énfasis en su formación científica. Cada uno de los dos tipos se puede considerar vinculado a cada una de las dos ramas más notables de la Ilustración: la francesa y la escocesa.

¹⁰ T. SHINN, 1980.

renacentista preconizaba. Las matemáticas, la geometría, la física, la química, etcétera, se erigen en disciplinas esenciales para el nuevo ingeniero, lo que se transmitirá al siglo posterior. La Polytechnique fue una institución docente ejemplar que tuvo una gran influencia en la ulterior formación de los ingenieros no solo europeos, sino incluso transatlánticos. Es bien sabido que la Academia de West Point se inspiró en ella.

Desde sus orígenes los objetivos de la Polytechnique se asentaron sobre tres pilares: la contribución a la ordenación de la sociedad de acuerdo con principios racionales, lo que en algún caso llega a derivar hacia la utopía¹¹; la producción de ciencia y su transferencia a dominios de aplicación; y la formación específica en prácticas concretas de tipo técnico. De hecho, la Polytechnique es una fiel representante de la razón post-ilustrada que confiaba ciegamente en la ciencia y en la técnica para resolver los problemas sociales y establecer las bases de un nuevo orden de cosas. Aunque la Polytechnique fue inicialmente un centro para la formación conjunta de sabios y artesanos, en la práctica se convirtió en un centro elitista de educación de ingenieros que llegó a ser el germen de una poderosa tecnocracia. Este término se refiere no tanto a una ideología de base tecnológica como a una casta de funcionarios civiles que se formaban en las Grandes Écoles, principalmente los *polytechniciens* (y, ya en nuestro tiempo, los *énarques*¹²).

Hay que resaltar el contraste del pensamiento de los *polytechniciens* frente al liberal de los economistas políticos¹³. El espíritu politécnico está en el origen de la tradición planificadora y centralista de la sociedad sustentada en políticas intervencionistas, de signo socialista o socialdemócrata, en las antípodas del pensamiento de signo más individualista ligado a una concepción económica liberal basada en el libre mercado¹⁴. Es el contraste que se da entre dos líneas de pensamiento de raíz ilustrada: la de los *polytechniciens* y la de los economistas clásicos escoceses. En ellas se encuentran las bases ideológicas de las dos grandes ciencias sociales: la sociología y la economía.

En el edificio conceptual propugnado por la Polytechnique las matemáticas constituyen el pilar de la enseñanza, hasta el extremo de que las matemáticas puras están en la base de toda educación positiva y tendrán gran influencia en la formación de los ingenieros¹⁵. La introducción de esta disciplina en el ámbito de la ingeniería

¹¹ Algunos *polytechniciens* se vieron involucrados en actividades revolucionarias en 1830-1832 y 1848, aunque también es cierto que con el tiempo la Polytechnique se convirtió en un centro elitista que defendió denodadamente sus privilegios.

¹² De École Nationale d'Administration (conocida habitualmente como ENA), centro donde se forman los miembros del mayor cuerpo administrativo del Estado francés.

¹³ F. HAYEK, 2003.

¹⁴ Esta división puede resultar excesivamente simplificadora. Por ejemplo, en nuestro país el ingeniero José Echegaray está, por una parte, profundamente influido por el espíritu politécnico francés y al mismo tiempo es un declarado y practicante librecambista.

¹⁵ A. PICON, 1992.

(así como en la economía de la acción humana) se produce durante la primera mitad del siglo XIX y se asocia a contribuciones como las de Navier, Cauchy y Coriolis, entre otros. La relación de las matemáticas con la ingeniería siempre ha sido muy estrecha, ya que el primer paso en el método del ingeniero es la concepción de aquello que luego tratará de llevar a la práctica, diseño que tiene que plasmar en una representación que le sirva tanto para desarrollar él mismo un diálogo provechoso con ella como para transmitirla a los demás¹⁶. Esta representación se hace mediante instrumentos o lenguajes adecuados, entre los que el dibujo ha ocupado un lugar prominente¹⁷. La rama de las matemáticas que tradicionalmente, desde la Antigüedad, ha sido utilizada por los ingenieros es la geometría, que con la Polytechnique logra progresos renovadores mediante la geometría descriptiva. En esta época es el análisis matemático el que empieza a suministrar las herramientas para la representación de lo concebido. Por otra parte, todo proyecto lleva involucrados cálculos para los que, a su vez, hay que recurrir a las matemáticas. En la actualidad, con la informática, los modelos matemáticos se han convertido en una herramienta capital para la ingeniería.

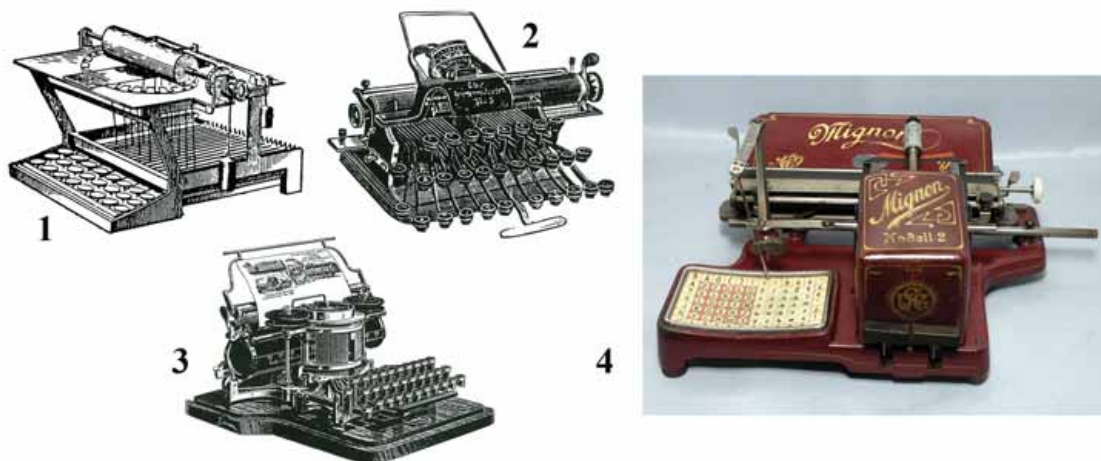
Así pues, con la École Polytechnique adquiere carta de naturaleza una peculiar relación entre ciencia y técnica llamada a predominar en los tiempos modernos. La formación del ingeniero se hace en dos etapas: en la primera están presentes casi exclusivamente los conocimientos científicos, y en la segunda los aspectos más utilitarios. Empieza a aceptarse sutilmente como principio indiscutible que el conocimiento práctico y técnico deriva del científico y básico. De ahí a decir que el primero no es sino una mera aplicación del segundo media un paso, que efectivamente se dio. De este modo llega a aceptarse la creencia de que la práctica de la técnica, la concepción y el diseño de artefactos, son realizaciones concretas de las nociones abstractas propias del pensamiento científico; que *todo* lo necesario para producir un objeto técnico está contenido en teorías científicas preexistentes¹⁸. Por resumir, se pretende que la ingeniería no es sino «ciencia aplicada», empeño al que se ha aludido ya y sobre el que volveremos luego.

El intento de subordinación del mundo de la técnica y de la ingeniería al de la ciencia es plenamente consistente con la ideología cientifista que deriva de la Revolución francesa. Sin embargo, a lo largo del XIX esta supremacía, aunque se mantenga como ideología dominante, se irá diluyendo en la práctica. La propia evolución de la

¹⁶ Si hubiera que destacar algún rasgo que distinga al hombre, posiblemente sería el grado de elaboración incomparablemente superior alcanzado por su capacidad de representación mental de la realidad, y la utilización de esa representación como elemento básico para actuar sobre ella. Ese rasgo está presente, de forma preponderante, en la labor de los ingenieros, aunque obviamente no sea exclusivo de ellos.

¹⁷ M. SILVA SUÁREZ, 2004.

¹⁸ Ver una discusión más detallada en J. ARACIL, 2006.



1.2. Máquinas de escribir: (1) Prototipo de Christopher L. Sholes (1819-90), Wisconsin, EE. UU, 1870; arruinado, sus desarrollos (en particular su teclado denominado QWERTY, diseñado en 1873) pasaron a la familia Remington, en Nueva York. (2) Una Blickensderfer (Blick), de 1893, aproximadamente; pulsando una tecla el tambor con los caracteres se posiciona adecuadamente. (3) La Hammond (1895), en la que se podía cambiar el tipo de letras. Las máquinas de esta época funcionan golpeando el papel desde atrás hasta la cinta entintada. (Fuente: R. DALE y R. WEAVER, *Machines in the office*, The British Library, Londres, 1993). (4) La AEG Mignon de fabricación alemana (1903), de apariencia y principio operativo sorprendentes, es un diseño muy interesante. Funciona señalando las letras sobre una superficie de referencia con un punzón conectado a un cilindro que porta los tipos. Una vez posicionado el punzón (que se maneja con la mano izquierda), con la derecha se pulsa una tecla para realizar la percusión-impresión. El índice y el correspondiente cilindro de tipos son cambiables.

ingeniería, al progresar en su pretensión de constituirse en una profesión autónoma y la de los científicos, como grupo profesional, con una aspiración semejante, obliga a que estos dos paradigmas de actividad humana adquieran rasgos peculiares propios e independientes. La ingeniería, de forma más o menos implícita, va elaborando los preceptos a los que someter su actividad profesional marcando progresivamente diferencias con los propios de los científicos.

Una figura característica del proceso de florecimiento del espíritu científico moderno es Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), quien, aunque no llegó a ser profesor de la École Polytechnique, sí ejerció una enorme influencia en el panorama científico de París a principios del XIX, y en consecuencia sobre la propia Polytechnique. Aunque Laplace se puede considerar un seguidor de Newton, al menos en el sentido de que su principal interés fue la mecánica celeste, ejerció una influencia determinante en la búsqueda de una fundamentación científica, basada en los principios de la mecánica, de los procesos que habitualmente manejaban los ingenieros.

Frente a esta tradición dieciochesca, de un marcado sesgo mecanicista, empezaban a plantearse, aun en el propio ámbito de influencia francesa, tratamientos forma-

les rigurosos de otros fenómenos que escapaban a ese marco dominado por el mecanicismo. En ese sentido cabe citar a autores como Joseph Fourier (1768-1830), cuya *Théorie analytique de la chaleur* se publicó en 1822, aunque llevaba ya muchos años trabajando con la representación matemática de la transmisión del calor en una barra metálica. Asimismo procede mencionar a Agustín J. Fresnel (1788-1827), decidido partidario de la teoría ondulatoria de la luz para explicar el problema de las interferencias frente a las dominantes concepciones corpusculares de origen newtoniano. Por último, también conviene recordar a André Marie Ampère (1735-1836), quien desarrolló una interpretación original de la interacción entre imanes y corrientes eléctricas que alcanzó una amplia aceptación, especialmente a partir de 1820 cuando Hans Christian Oersted (1777-1851) mostró los efectos de una corriente eléctrica sobre un pequeño imán. Estas manifestaciones se han englobado historiográficamente bajo el rótulo de ciencia romántica, aunque aquí se evocan como una muestra, a veces no pretendida, de la inevitable reacción ante el mecanicismo laplaciano.

II.2. Los orígenes de la moderna utopía: Saint-Simon y el sansimonismo

Pero antes de analizar esta reacción frente al racionalismo y la inflexión que produce en la evolución de la ingeniería, vamos a detenernos en un fenómeno colateral que se produce en la época que estamos considerando y que consiste en un renacimiento del espíritu utópico fomentado por las crecientes posibilidades de la sociedad industrial. La aparición del ingeniero moderno no se limita a los aspectos puramente técnicos, relacionados con las máquinas, las obras públicas o la producción industrial: abarca también la propia concepción de la sociedad al tratar de crear ingenieros al servicio del Estado para una más eficiente gestión de la actividad económica en general¹⁹, como sucede en la École Polytechnique. Esta pretensión corre el riesgo de producir, y de hecho produce, derivaciones utópicas. Hace así su aparición el utopismo, del que es una figura especialmente representativa Claude-Henri de Rouvroy (1760-1825), conde de Saint-Simon, personaje vinculado a la Polytechnique, al que se considera el fundador del socialismo francés.

Ocupa un lugar relevante en una época en la que proliferaron mesías megalómanos que alardeaban de poseer la capacidad de curar todos los males de la humanidad. Es un gran precursor de los movimientos ideológicos que marcarán el XIX. De él tomará Marx la relación entre las clases sociales y los progresos de la técnica y de los modos de producción. Es, asimismo, el pionero de lo que cabe llamar religiones seculares; no concibe un mundo basado exclusivamente en la sabiduría tecnológica, sino que en él hay que cultivar también los sentimientos, las emociones y los instintos

¹⁹ Esta pretensión llevará a muchos ingenieros a adentrarse en el mundo de la política. Así sucede en nuestro país, en el que los ingenieros, en el XIX, militan con frecuencia en partidos liberales y progresistas. Por ejemplo, las figuras de José Echegaray (1832-1916) y de Práxedes Mateo Sagasta (1825-1903). Sensiblemente más radical es la posición del ingeniero de minas Lucas Mallada (1841-1921), aunque menos involucrado en una práctica política institucional.

religiosos de la humanidad, aunque reconducidos por los logros de la ciencia y de la técnica. Así, propone una nueva religión, una nueva fe que responda a las necesidades de la época: lo que llama *nouveau christianisme*.

Estuvo obsesionado por la idea de reformar la sociedad mediante enormes proyectos de ingeniería. A él se debe el primer intento de construir el canal de Panamá, de lo que trató de convencer al virrey español de Méjico. Posteriormente en España propuso la construcción de un canal que uniera Madrid con el mar. Su obsesión era que la naturaleza sirviera a la humanidad produciendo algo a cambio de nada, que es lo que él estimaba que hacía un canal en el que el agua, la propia naturaleza, permitía transportar lo que resultaba tan penoso y laborioso llevar por tierra. Saint-Simon fue uno de los primeros en identificar el proceso de industrialización que estaba produciéndose en Europa.

Además, señaló que las personas relevantes en la sociedad de su tiempo habían dejado de ser los sacerdotes, los soldados y los señores feudales; que una clase de hombres totalmente distinta estaba emergiendo: los ingenieros, los industriales, los científicos e incluso, lo que resultaba más chocante en un protosocialista como él, los propios banqueros. La ciencia y la industria eran los puntos capitales del mundo que estaba surgiendo a principios del xix. Como se acaba de apuntar, Saint-Simon tuvo en gran estima a la banca, germen de la red internacional de finanzas, a la que apreciaba como un factor de integración internacional saludable y progresista.

La opinión de Saint-Simon sobre quiénes debían formar la elite en la sociedad por él preconizada evoluciona a lo largo de su vida. En su juventud pensaba que deberían ser los hombres de ciencia, pero luego atribuye este papel a los banqueros e industriales; y acaba proponiendo una gran jerarquía social con los banqueros en la cima, los industriales por debajo, los ingenieros y los técnicos más abajo y, por fin, los artistas, pintores y escritores.

Para Saint-Simon la historia es la historia de la técnica, ya que esta representa el espíritu humano en su aspecto más activo. Para él ciencia y técnica son indisolubles, de modo que en el núcleo mismo de esta concepción se encuentra la creencia de que todas las cosas (sean organizaciones sociales o artefactos producto de la técnica) deben hacerse siguiendo una disciplina rigurosa, y precisamente por aquellos que comprenden los constituyentes de los que está formado el mundo. Estos son los que forman la elite que debe propugnar para el progreso humano cosas tales como «las grandes empresas, el capitalismo de Estado, la organización científica, una organización de la paz mundial, un parlamento mundial, una federación mundial. Todo esto es sansimoniano»²⁰.

Como pensador, Saint-Simon no fue particularmente sistemático, pero ejerció una indudable influencia en el pensamiento posterior, tanto como fundador del socialismo francés como al sugerir ideas que ulteriormente serían elaboradas en el

²⁰ I. BERLIN, 2004.

positivismo de su discípulo Auguste Comte. Su reacción frente al *Ancien Régime* de base feudal y militar fue proponer un régimen en el que los industriales controlasen la sociedad. Estos eran los únicos capaces de organizarla de modo que se optimizase su capacidad productiva, ya que el principal objetivo de la sociedad es producir cosas útiles para la vida. Propuso la creación de una «ciencia de la sociedad» con fundamentos análogos a los de las ciencias naturales, lo que influyó decisivamente en Comte, creador de la Sociología. Sobre Comte volveremos luego.

En Inglaterra se produce un fenómeno similar al de Saint-Simon en Francia. Algunos pensadores, íntimamente vinculados con el proceso de desarrollo industrial, llegan a postular que la innovación en la organización de la sociedad era tan importante como la propia renovación en la técnica. Entre estos autores destacan Jedediah Strutt (1726-1797), Jeremy Bentham (1748-1832) y Robert Owen (1771-1858). Para este último era una necesidad ineludible el acceso al poder de las nuevas fuerzas productivas surgidas con la revolución industrial. Es de los primeros en proponer la propiedad comunal y cooperativa de los medios de producción. En estas ideas se encuentran las raíces del socialismo moderno.

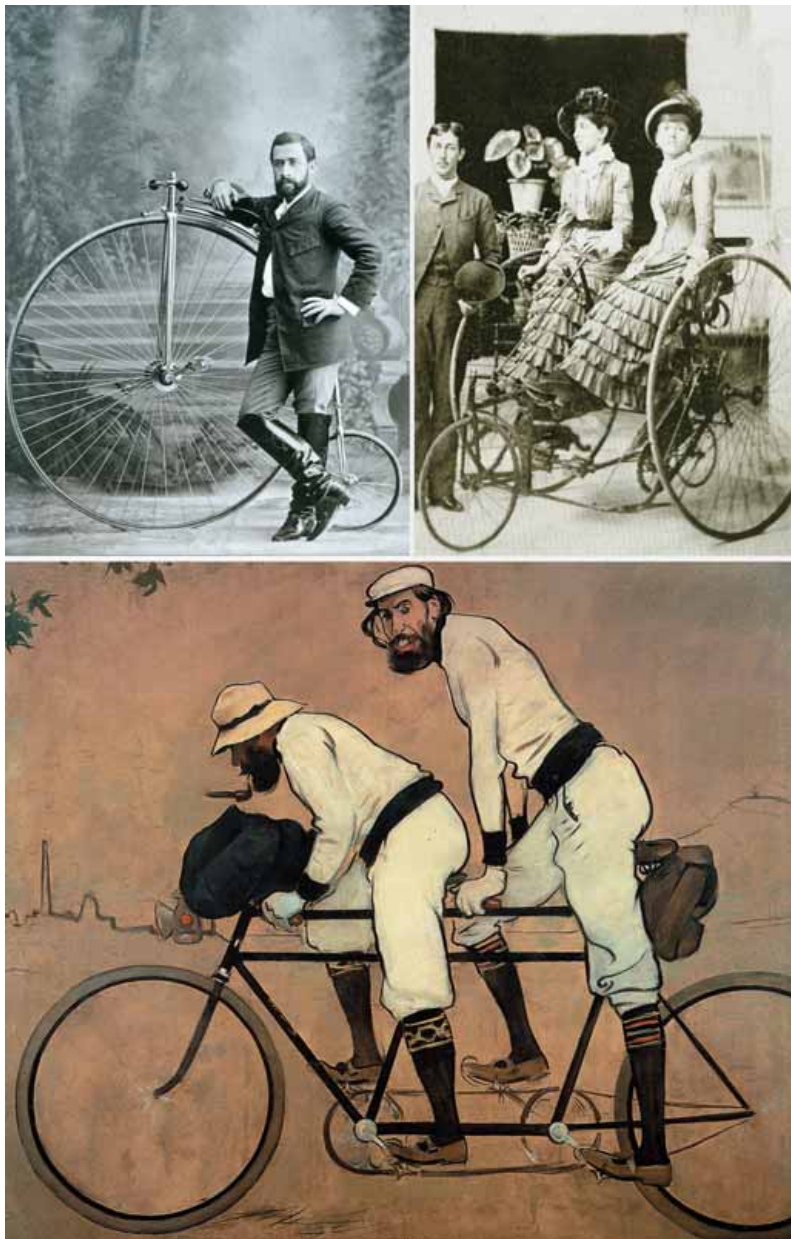
Estas mismas ideas fueron reelaboradas por Carlos Marx (1818-1883), quien, por una parte, postuló que la industrialización y la mecanización eran necesarias si se quería aumentar la producción y la riqueza; pero, al mismo tiempo, rechazó la forma de organización social bajo la que se estaba produciendo esa industrialización, al tiempo que cuestionaba en profundidad que los beneficios del progreso estuvieran siendo distribuidos con justicia²¹. Los socialistas son en cierta medida herederos de la fe ilustrada en que la razón humana es capaz de concebir una organización ideal del orden social, susceptible de ser llevada a la práctica.

III

LA IRRUPCIÓN DEL ROMANTICISMO

El periodo comprendido entre finales del XVIII y principios del XIX es de difícil calificación: es el momento de la consolidación de la incipiente democracia y del ascenso de la clase media en algunos países del occidente europeo. A finales del XVIII

²¹En paralelo, y como alternativa a esas afirmaciones, se puede argüir que de hecho el sistema de trabajo en fábricas y la mecanización del proceso productivo condujeron, con el tiempo, a una reducción de la jornada laboral. En la agricultura, tradicionalmente se ha trabajado de sol a sol, mientras las fuerzas físicas lo permitían y, además, desde la infancia a la vejez, aunque en el campo no se trabajaba todos los días, y hay prolongadas etapas de inactividad que permiten descansar o dedicarse a otras tareas; mientras que en el mundo industrial se trabajaba todos los días, ignorándose a veces incluso las fiestas; y las vacaciones fueron una conquista posterior. Ha sido el sistema industrial moderno el que, como en tantos otros aspectos de la vida, ha propiciado cambios profundos en este orden de cosas.



1.3. Apuntes en el largo proceso de creación y difusión de la bicicleta: Tras la draisina (bicicleta de madera sin pedales, construida por K. F. Drais —también N. Niepce— en 1817), se encuentran, entre otros: (1) El velocípedo, década de 1850 (miembro de El Veloz Club, Madrid, fot. de M. Aviach, h. 1880). (2) Triciclo biplaza, introducido en la década de 1880 (R. Sierra Payba, fotógrafo instalado en Cádiz, h. 1885). (3) El tándem o bicicleta doble (R. Casas, El tándem, 1897; autorretrato en compañía de Pere Romeu, propietario del Quatre Gats, Museu Nacional d'Art de Catalunya, MNAC/MAM 69.806, Barcelona).

se produce una confluencia de revoluciones: unas de signo político, como la francesa o la americana, otras ligadas al mundo de las artes y el pensamiento, como la romántica o la kantiana y, por último, la industrial, determinante de la vida económica y de la organización de la sociedad. Vistas desde la actualidad, cabe considerarlas como diversas manifestaciones de una única revolución.

Mientras el espíritu de la Ilustración, con su foco de irradiación en París, parece dominar el mundo de la cultura y el pensamiento, se está produciendo el germen de una reacción que cuestionará radicalmente sus principios básicos: el Romanticismo. Uno de los primeros pensadores que asestó un duro golpe al supuesto de que el universo era una totalidad racional fue el ilustrado escocés —vinculado al otro gran núcleo de difusión de la Ilustración— David Hume (1711-1776), al poner en entredicho la relación de causalidad y al cuestionar la posibilidad de deducir lógicamente la existencia de un mundo externo. Para él, la aceptación del mundo es una cuestión de asimilación de la experiencia previa, de creencias asumidas más o menos conscientemente, de confianza en los datos que aportan nuestros sentidos elaborados mediante los útiles conceptuales que han sido avalados por la tradición y el progreso. Aunque Hume es un pensador ilustrado, estas ideas tendrán una gran acogida y desarrollo en el mundo del Romanticismo, que adquiere sus caracteres definitorios más radicales en el ámbito germánico. La Ilustración escocesa y el Romanticismo alemán guardan algunas relaciones en lo que se refiere a su reticencia frente a abstracciones y generalidades, y en su pretensión de primar lo concreto frente a lo abstracto.

El Romanticismo se asocia con actitudes tales como la supremacía de las emociones sobre la razón, el amor a la naturaleza, un profundo respeto por la historia y la importancia de la intuición como camino para alcanzar la verdad. Se ha dicho de él que, en sus formas más extremas, es una pasión que rechaza toda disciplina. El amor por la naturaleza de los románticos no tiene límites. Defienden que en ella se puede ver a Dios o a una entidad superior. De ahí el mito romántico de la perversidad de la manipulación de la naturaleza. Una clara muestra se tiene en la novela de Mary Shelley (1797-1851) sobre *Frankenstein*, que plantea las pretendidamente inevitables consecuencias negativas de la alteración del mundo natural. La técnica, en su anhelada omnipotencia, puede hacer el mal intentando hacer el bien. Esta será una postura recurrente en la reflexión sobre la técnica en tiempos modernos²².

El movimiento romántico posee peculiaridades situadas en las antípodas del racionalismo ilustrado²³. Frente a un mundo presidido por el racionalismo, como

²² Una revisión del pesimismo tecnológico puede verse en F. BRONCANO, 2006, pp. 152 y ss. Una referencia interesante en este orden de cosas es H. JONAS, 1995.

²³ Entre los supuestos que se desarrollaron para contrarrestar el espíritu ilustrado se encuentran los de que ni la naturaleza ni la historia están sujetas a ningún plan. Ni las soluciones generales ni los fines universales tienen la validez que les suponía la Ilustración. No es posible sustituir la experiencia mediante generalizaciones. Cada época tiene sus propios planteamientos y sus propias preguntas. Existe un espacio mínimo de acción libre que es una necesidad moral para todos los hombres y que

reivindica la Ilustración, el Romanticismo destaca lo inevitable de la voluntad. Frente a un hipotético mundo regido por leyes deterministas, con validez universal y absoluta, los románticos postulan la ausencia de una estructura en sí de las cosas. La estructura que aparentan tener pertenece al lenguaje —sea ordinario o matemático— con el que las representamos en función de alguna utilidad que se pretende obtener de ellas, aunque sea exclusivamente un mero divertimento.

Uno de los legados más consolidados del Romanticismo es el carácter incuestionable de creación que se da en todas las formas superiores de actividad humana. Se puede argumentar a favor de que crea tanto el artista que produce una excelsa obra de arte como el científico que integra datos dispersos en la sublime unidad de una teoría; y también el ingeniero, que produce objetos inexistentes en el mundo natural. Sin embargo, el acto de creación adquiere formas distintas en cada uno de estos dominios, y es precisamente la diversidad de cánones que rigen la aceptación de las creaciones en estos ámbitos lo que determina las profundas diferencias existentes entre ellos. El artista, al crear, es capaz de provocar emociones en otros, mientras que la creación de una teoría científica consiste en la concepción de un sumario abstracto, lo más simple posible, de multitud de datos dispersos que además permita hacer predicciones; la ingeniería, por su parte, pretende integrar elementos que pueden ser incluso de naturaleza diferente en una unidad de orden práctico provista de alguna utilidad y respondiendo a un cierto propósito de su creador²⁴.

La ingeniería comparte con la ciencia el canon de la racionalidad, aunque posea también un vínculo con el acto de creación artística, pues todo artefacto es un objeto concebido para un fin específico, aunque regido por un criterio de funcionalidad —que puede no estar exento de pretensión estética— y sometido a algún tipo de norma —por ejemplo deontológica— ajena a la mera funcionalidad. Es indudable que las concepciones románticas, aunque no fuesen adoptadas explícitamente por los ingenieros, todavía fascinados por el racionalismo cientifista, estaban llamadas a tener una influencia considerable en la concepción básica de la ingeniería.

Los espíritus de la Ilustración y del Romanticismo forman las dos tradiciones complementarias de las que hoy nos consideramos herederos. Por un lado, la Ilustración, con sus pretensiones de universalidad y su apuesta por la razón, con marcadas tendencias clasificatorias, de modo que todo debía quedar perfectamente ordenado y organizado; por otro, el Romanticismo, con su defensa de las esencias y de las identi-

no puede suprimirse en nombre de principios generales o de abstracciones. La naturaleza no es más que un conjunto de potencialidades que no obedece a ningún plan previo. El único propósito de la vida es sencillamente ser vivida, la propia persistencia de estar vivo. La improvisación siempre es posible y nada obliga al futuro a cumplir un programa previo. La historia no está determinada.

²⁴ Por otra parte, empiezan a establecerse diferencias entre arquitectos e ingenieros. Los primeros aspiran a regirse por un canon estético, mientras que los segundos lo hacen por criterios racionales y funcionales. Los primeros no desdeñan ser considerados artistas, mientras que los segundos se sienten halagados al ser calificados como científicos.

dades individuales y colectivas, de lo concreto y lo determinado, de la voluntad y del acto creativo como motores del mundo²⁵. Esta doble polaridad define el sustrato cultural e ideológico sobre el que se edifica, a lo largo del XIX, la naciente industrialización. Sus influencias se manifestarán también sobre la flamante profesión de ingeniero, que trata de conciliar en su actividad la universalidad de los conocimientos científicos con la creatividad inherente a la búsqueda de soluciones innovadoras y adecuadas a problemas concretos. La tensión entre esos dos polos es una fuente de enriquecimiento para el ingeniero, que siente una latente fascinación por las teorías y métodos que atesora la ciencia natural, a cuyo desarrollo también han contribuido los propios ingenieros, pero que no puede prescindir del carácter radical de creación de algo inexistente que tiene su labor profesional.

IV

EL ESPÍRITU DEL POSITIVISMO EN LOS ALBORES DE LA SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

El positivismo es una corriente filosófica que florece en el XIX, especialmente en su segunda mitad, y que se asocia a un notable personaje francés, también ligado a la *École Polytechnique*, como es Auguste Comte (1798-1857). Para él todo conocimiento proviene de la información «positiva» suministrada por la experiencia observable. Cualquier idea más allá del dominio de los hechos demostrables es metafísica, en un sentido peyorativo. Además, el positivismo pretende ampliar la aplicación del método científico a la vida social, en lo que tiene de objetivo, sistemático, racionalista y basado en observaciones. De hecho, el positivismo de Comte es principalmente una doctrina sobre la sociedad y sobre las actuaciones necesarias para reformarla siguiendo el legado sociológico de los *polytechniciens* parisinos.

Comte fue un hombre profundamente contradictorio que hizo compatible un espíritu romántico, e incluso místico, con una defensa radical del método científico, de la búsqueda rigurosa de las leyes naturales subyacentes a todos los fenómenos y de la ineludible contrastación experimental, unido todo ello al más absoluto desprecio por lo especulativo e imaginario. Se consideraba heredero de la tradición de Francis Bacon²⁶ y pretendía que el positivismo se iniciaba precisamente con este autor británico. La componente mística del pensamiento de Comte se relaciona con postulados medievales, también adoptados por Bacon, sobre la capacidad emancipadora de la técnica y el dominio de la naturaleza. El positivismo de Comte aspira a

²⁵ Los grandes totalitarismos ideológicos del siglo XX han sido el fruto de la degeneración bien del espíritu universalista de la Ilustración o del voluntarista del Romanticismo.

²⁶ Véase M. A. GRANADA MARTÍNEZ: «Valoración filosófica de la técnica», especialmente la parte IV, en M. SILVA SUÁREZ, 2004.

lograr una unidad con el Gran Ser que conduciría a la rehabilitación de la humanidad. Es notable encontrar esta reminiscencia medieval en el núcleo del espíritu regeneracionista del positivismo.

Comte parte del principio de que todo está sujeto a leyes, que estas leyes pueden desvelarse mediante la repetición controlada de los fenómenos (es decir, mediante el método experimental o inductivo, único que admite) y que, por tanto, todo conocimiento debe ser verificable. Este progreso es esencialmente material, generador de una riqueza que permite mejorar el nivel de vida y hacer la existencia de los hombres más cómoda y placentera, reduciendo el tiempo dedicado al trabajo y haciendo que este sea menos duro físicamente (y también, en etapas posteriores, menos rutinario y más interesante), de modo que se disponga de más tiempo para el ocio y el esparcimiento. En los países que disfrutaban del progreso, la mera supervivencia fue sustituida por formas más cómodas de vida, en las que la posibilidad del ocio estaba progresivamente presente. La propia salud era objeto de atención preferente y se estaban alcanzando esperanzas de vida antes desconocidas.

Además, Comte reivindica que la ciencia es la llave del progreso. La ciencia positivista limita su objeto a lo mensurable y cuantificable, y es eminentemente materialista: una de sus pretensiones básicas es encontrar a todo una explicación exclusivamente material. Aunque la filosofía comtiana ha sido objeto de grandes críticas, acusada de superficial e ingenua, no cabe duda de que recorre una senda que conduce indefectiblemente al mundo moderno. Su confianza en el hombre y en su capacidad para comprender el mundo, y su correspondiente fe absoluta en la ciencia como fuente única e infalible de la verdad, están presentes, de una forma u otra, en el sustrato de lo que entendemos por modernidad. Para el teórico positivista el conocimiento humano progresa mediante la ciencia tanto hacia la verdad como hacia el conocimiento útil. La medicina, una práctica profesional milenaria, se beneficia espectacularmente de los logros alcanzados por la ciencia. Algo semejante ocurre con la ingeniería. En ambas profesiones, para los positivistas, el carácter de «ciencia aplicada» se considera un timbre de honor.

Comte propuso una clasificación sistemática y jerárquica de todas las ciencias, incluyendo la física inorgánica (astronomía, ciencias de la tierra y química), la física orgánica (biología) y, con carácter precursor, la *física social*, más tarde bautizada como *sociología*. De hecho, se le reconoce como creador de esta disciplina por su propuesta de aplicar el método científico al dominio de lo social. Él mismo consideró esta nueva ciencia, la Sociología, como la última y más grande de ellas, que debería incluir a las demás e integrarlas en un todo coherente. En el conjunto de los ámbitos del conocimiento el positivismo trata de encontrar regularidades empíricas, expresables mediante relaciones cuantitativas entre variables. Ello no implica una relación causal, pero debe permitir que se formulen leyes y que se puedan hacer predicciones. Sin embargo, el problema de la investigación social reside en que no es fácil obtener resultados sólidos y repetibles en ese dominio.

Otro autor al que hay que aludir en este contexto es John Stuart Mill (1806-1873), que desde el mundo anglosajón participó del espíritu positivista y compartió la misma fe en el progreso. Su aportación al desarrollo del método científico mediante la codificación de reglas de verificación constituye una contribución más sólida que las realizadas por Comte.

El positivismo, una doctrina filosófica, se convierte, en su forma más popular, en algo así como el espíritu de una época. El optimismo positivista se basa en la fe ciega en el progreso y en la eficiencia de la propia ciencia aplicada a un fin práctico. Con esta visión utilitarista de la ciencia se abre la vía hacia el pragmatismo y se modifica su objetivo de buscar la verdad. El hombre había encontrado en el método científico el camino seguro hacia el conocimiento útil que durante siglos había estado buscando. Pero este camino estaba hecho con losas de aplicaciones prácticas. Y así, el símbolo por excelencia de la era positivista es el invento, el producto del ingenio humano dotado de utilidad, que sirve para algo. De este modo la técnica, y en consecuencia la ingeniería, y los beneficios que de ella se derivan contribuyen a crear una nueva mentalidad: para Comte los ingenieros eran la vanguardia del régimen positivista. Es esto una manifestación de la intensa relación que en esa época se afirmaba que existía entre ciencia e ingeniería. Sin embargo, esta pretensión tenía un claro cariz ideológico. Lo que en realidad estaba sucediendo es que cada uno de estos ámbitos iba redefiniendo su propia autonomía, estableciendo los cánones que hacían aceptables sus productos en sus respectivas comunidades. Todo esto sucedía sin aflorar explícitamente, y la opinión dominante suponía una radical compenetración entre ciencia e ingeniería, lo que dejó un poso que aún se detecta en nuestros días. Sin embargo, en la época de los inventos de fin de siglo se puso de manifiesto flagrantemente que se trataba de dos ámbitos autónomos del quehacer humano, a lo sumo provistos de cierta complementariedad.

V

LA SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y LA ÉPOCA DE LOS INVENTOS

En ese ambiente de optimismo y fe desmedida en el progreso se inicia el último período del XIX, en el que se produce la segunda revolución industrial, entre 1860 y la Primera Guerra Mundial. El programa ilustrado se va adaptando a los nuevos tiempos, abandonando algunos supuestos y reforzando otros. La irrupción de la electricidad, por ejemplo, tiene caracteres radicalmente distintos a los de la mecánica, que era ya una técnica largamente asentada cuando se pretende formalizarla en una mecánica racional. La electricidad, por el contrario, se inicia con experimentos de motivación científica que son progresivamente integrados en un cuerpo teórico²⁷. Sin embargo, las aplicaciones prácticas que se desarrollan a finales de siglo no están basadas en ese

²⁷ En esa época la electricidad recibe también la denominación de *industria científica*.

cuerpo teórico, sino que son derivaciones habilidosas, y metodológicamente autónomas, de los resultados experimentales. La construcción de máquinas eléctricas antecede y en todo caso se hace con independencia de la teoría electromagnética de Maxwell²⁸. En el apartado VI.4 se discute el caso paradigmático de la telegrafía sin hilos.

A lo largo del XIX el hombre aprende a domesticar la electricidad, que abre posibilidades ante las que la máquina de vapor aparece como una antigualla. La electricidad tiene dos usos fundamentales: distribuir energía y transmitir información. En ambos frentes los progresos son considerables. Las tecnologías relacionadas con la electricidad transforman la vida del hombre, por una parte mediante el funcionamiento de motores y la iluminación de las ciudades, fábricas, hospitales y domicilios, y por otra permitiendo formas de comunicación instantánea a cualquier distancia, con la telegrafía, el teléfono y la radiodifusión. En su lado más sórdido produce la silla eléctrica, que se empleó por primera vez en 1888 en Nueva York.

La primera aplicación exitosa de la electricidad fue el telégrafo, en 1837. Posiblemente ello se debió a que los problemas técnicos eran relativamente simples comparados con los de la utilización de la electricidad como medio de transporte de energía. La idea básica del telégrafo eléctrico es sencilla, y en ella trabajaron distintas personas hasta que Samuel Morse (1791-1872), en Estados Unidos, y William F. Cooke (1806-1879) y Charles Wheatstone (1802-1875), en Inglaterra consiguieron conectar telegráficamente dos ciudades. Pocos años después todos los estados al este del Mississippi empleaban este medio de comunicación. En 1851 se tendió el cable entre Dover y Calais y en 1866 se unieron Europa y América mediante un cable trasatlántico. Diez años más tarde, en 1876, Alexander Graham Bell (1847-1922) inventó el teléfono. Estos dos inventos permitieron la comunicación instantánea en el mundo entero.

Por otra parte, a lo largo del siglo XIX la electricidad aparece como la forma de energía del futuro, y proporciona luz, calor, energía mecánica y un número creciente de aplicaciones en cualquier sitio que se requiera —solo hacen falta unos cables para llevarla—. A finales de la centuria los ferrocarriles con tracción eléctrica empiezan a funcionar en muchas grandes ciudades y comienzan a electrificarse las líneas de ferrocarriles. En el ámbito doméstico se inician las aplicaciones al alumbrado y a otros usos, hasta transformarse en algo imprescindible en los países más desarrollados. Todo ello hasta el extremo de que el consumo de energía eléctrica se convierte en uno de los indicadores de la riqueza relativa de las naciones. José Echegaray escribió en 1897: «La electricidad, ese fluido maravilloso para engendrar luz, para engendrar calor, para transportar fuerzas, para realizar trabajos, desde los más sutiles, de los que exigen dedos de hadas, hasta los que reclaman músculos de titán, es la última forma del progreso humano en todo lo que a la industria se refiere»²⁹. Posee, además, la

²⁸ Ver, por ejemplo, Francisco de Paula ROJAS, 1887.

²⁹ *Los Lunes de El Imparcial*, 26 de marzo de 1897. Citado en J. L. COMELLAS: *El último cambio de siglo*, Ariel, 2000, p. 62.

enorme ventaja de permitir que el punto donde se genera la energía y aquel en el que se utiliza se encuentren a gran distancia.

La imagen del inventor autodidacta y emprendedor se va alejando de la del científico formado en grandes instituciones académicas. Un personaje representativo de la época es el norteamericano Thomas Alva Edison (1847-1931). De procedencia humilde, apenas asistió a la escuela. Se inició como vendedor de periódicos, llegando a publicar un semanario, el *Grand Trunk Herald*, que imprimió en un vagón de mercancías que le servía al mismo tiempo como laboratorio. En 1862 inventó el telégrafo doble, que permitía mandar dos mensajes en sentido opuesto a través de un solo hilo conductor. Este invento le valió la consideración de ingeniero. El desarrollo del teléfono resultó enormemente beneficiado por el transmisor telefónico de carbono perfeccionado por Edison. En 1877 presentó un fonógrafo que grababa el sonido en un cilindro de papel de estaño. En 1879 dio a conocer la bombilla eléctrica incandescente gracias al filamento de carbón, que es su invento más destacado. En 1888 inventó el kitenoscopio, una de las primeras máquinas que producía imágenes en movimiento mediante la continua sucesión de imágenes individuales. La lista de sus inventos es interminable, llegándose a contabilizar más de mil³⁰. Es un personaje muy representativo de la época de los inventos, en la transición del XIX al XX, que estamos comentando.

La otra gran aplicación de la electricidad es la transmisión de la energía. Los pioneros estaban interesados solamente en el problema del alumbrado. Los primeros pasos en su resolución consistieron, por una parte, en el desarrollo de la lámpara de arco de Davy y, por otra, en la aparición (en 1870) de la dinamo circular de Gramme, un avance significativo hacia la construcción de máquinas eficientes de generación de electricidad. Estos pasos culminaron hacia 1880 con el alumbrado incandescente, que consiguió Edison; además mejoró los generadores existentes mediante la adición de escobillas de carbón y otros notables perfeccionamientos en el devanado. De este modo, el alumbrado público y privado alcanzó su plena implantación, aunque con limitaciones, ya que el suministro se hacía mediante centrales que proporcionaban electricidad a los consumidores de un determinado distrito. Las primitivas centrales trabajaban con corriente continua y a baja tensión, y estaban situadas en el centro del área a la que daban servicio.

La difusión de la iluminación eléctrica promovió el perfeccionamiento de las dinamos. En 1882 se instaló la primera gran central eléctrica del mundo, en Nueva York. Sin embargo, años después la corriente continua se vio desplazada por la alterna, promovida por los inventores Nicola Tesla (1857-1943) y George Westinghouse (1846-1914). A finales del siglo XIX se produce, pues, un cambio de gran trascendencia, ya que la corriente alterna permitía transmitir la electricidad a grandes distancias

³⁰ Edison fundó la revista *Science*, una de las incuestionables referencias del mundo científico en la actualidad. De hecho, Edison, como tantos otros inventores de su época, incluyó en la nómina de sus laboratorios a múltiples científicos que trabajaban, obvio es decirlo, para perfeccionar sus inventos; es decir, que practicaban una ciencia utilitarista.

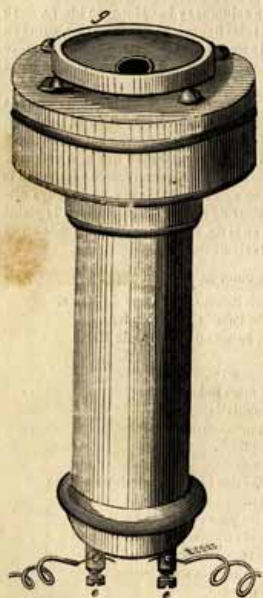
LA GACETA INDUSTRIAL.

1878.

EL TELÉFONO BELL.

En el número de LA GACETA INDUSTRIAL correspondiente al día 10 de Diciembre último, dimos una descripción detallada y completa del admirable instrumento del profesor Graham Bell, que tiene en estos momentos el privilegio de llamar la

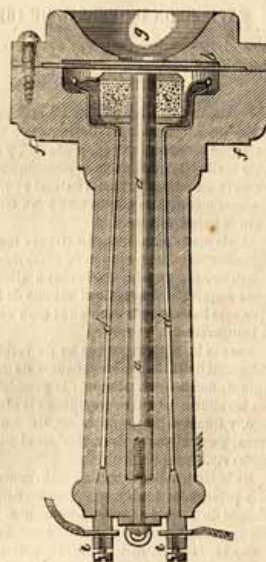
puladores Morse al trasmitir por los demas hilos telegráficos, hasta el punto de poderse descifrar perfectamente al oído las palabras trasmitidas por el aparato Morse. Esto prueba la gran sensibilidad de este aparato, maravilloso por su sencillez, que



(Fig. 1.)

EXPLICACION DE LAS FIGURAS.

- aa Varilla de acero imantado.
- bb Membrana vibratoria ó diafragma metálico.
- cc Bobina eléctrica de hilo de cobre.
- dd Hilos que unen la bobina con el hilo telegráfico.
- ee Tornillos de union.
- ff Caja de madera que contiene el instrumento.
- gg Boca ó embocadura del teléfono.



(Fig. 2.)

atención universal, siendo objeto de numerosos ensayos en todos los países de Europa. Algunos lo han adoptado ya oficialmente, estableciendo un servicio telefónico que, en Alemania, acaso habrá empezado á funcionar en el momento en que escribimos estas líneas.

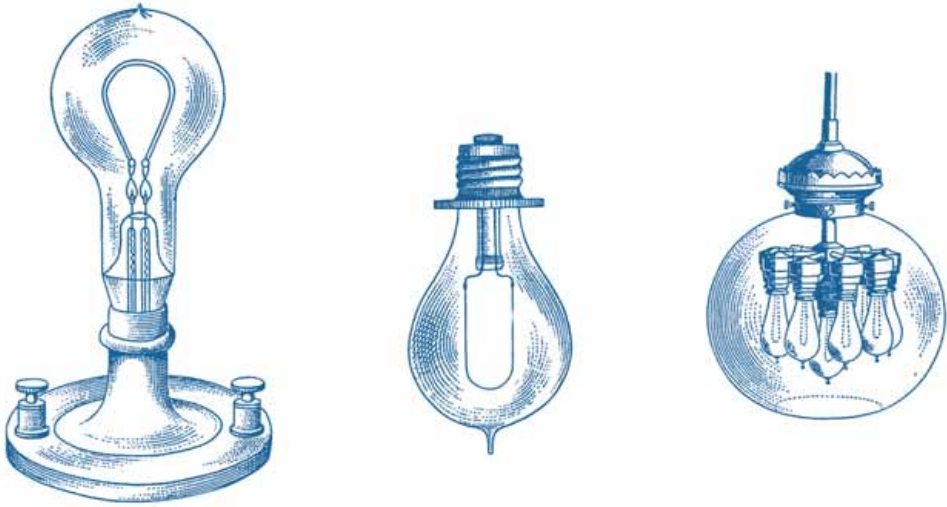
También en España se ha ensayado ya el teléfono Bell, siendo Barcelona la primera que ha introducido el nuevo invento. Entre dicha ciudad y Gerona, que dista 104 kilómetros, se hicieron algunos ensayos, en los cuales se observó un fenómeno singular que merece ser conocido. Cuando no se hablaba con el teléfono, se percibía el ruido que hacían los mani-

está siendo objeto de numerosas modificaciones para agrandar el campo, ya inmenso, de sus aplicaciones.

En Madrid se están haciendo ensayos en estos momentos entre algunos ministerios, y entre estos y algunas capitales de provincia, con los teléfonos traídos por el cuerpo de telegrafos.

El deseo manifestado por muchos de nuestros favorecedores de conocer los dibujos del teléfono, nos ha movido á publicar las dos figuras adjuntas, que representan el aparato Bell, visto exteriormente (Fig. 1), y un corte del mismo (Fig. 2), que permite ver su mecanismo interior, extremadamente

1.4. La aparición del teléfono en España: La Gaceta Industrial, editada y dirigida por el ingeniero industrial José Alcover y Sallent, tras publicar (10 de diciembre de 1878) sobre la existencia y funcionamiento del ingenio de Bell, en el mismo mes da a conocer dos dibujos; al tiempo informa de su introducción en España, a través de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona en 1877, patentado en España por Tomás José Dalmau en noviembre de ese año.



1.5. Lámparas de filamento de Thomas A. Edison, terminal indispensable para la iluminación eléctrica. La primera responde a su exitosa patente de 1880, que protegía sus filamentos, de duración de algunos centenares de horas, dos órdenes de magnitud más que las alternativas.

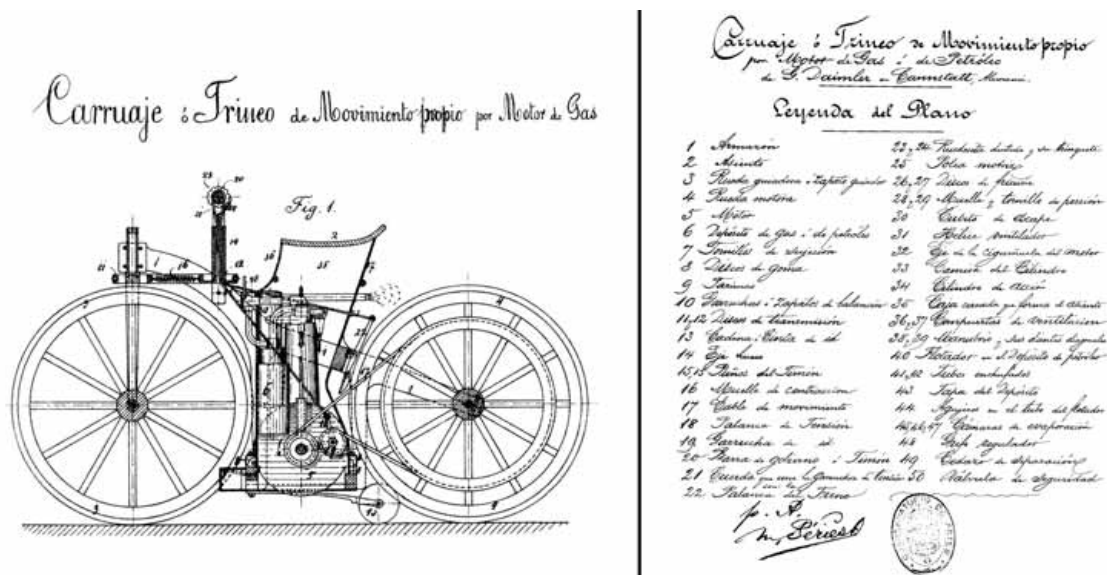
con pérdidas relativamente pequeñas. En la historia de este proceso cabe mencionar los tensos enfrentamientos entre Edison y Tesla, partidario el primero de la corriente continua y vaticinador de los mayores reveses para la alterna, que clarívidentemente propugnaba el segundo. Sin embargo, los reconocidos intereses del establecido Edison le llevaron a escribir una página oscura en su biografía, al tratar de evitar la imparable introducción de la corriente alterna.

Al mismo tiempo se empezó a aplicar la turbina hidráulica a la generación hidroeléctrica. Asimismo, la turbina de vapor desempeñó un papel fundamental en la producción de energía eléctrica en la época que estamos considerando. En relación con la máquina de vapor presenta sensibles ventajas: permite alcanzar un coeficiente de eficacia y potencia más elevado y elimina la necesidad de una biela para convertir el movimiento de vaivén en otro circular. En la segunda mitad del siglo XIX se realizaron múltiples intentos de conseguir una turbina de vapor aceptable que culminaron en 1884 con la patentada por Charles Parsons (1854-1931). Pronto excedió, tanto en tamaño como en eficiencia, a la tradicional máquina de vapor y se convirtió en un elemento insustituible en la generación de electricidad y para la navegación marítima.

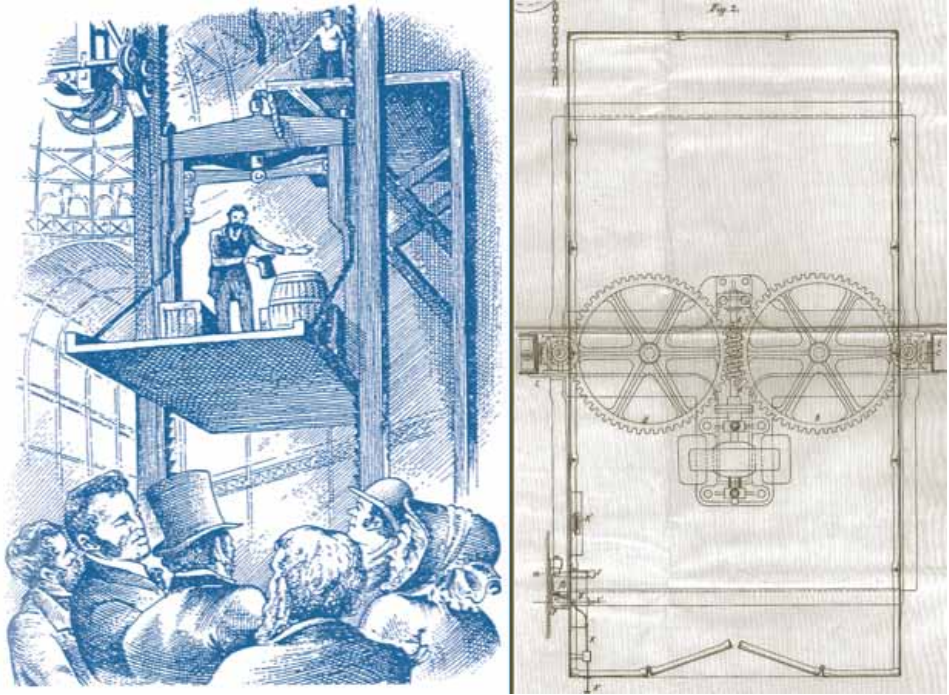
Con todo ello las aplicaciones de la electricidad comenzaron a sobrepasar el mero alumbrado. El transporte urbano empezó a beneficiarse de sus posibilidades, y los motores eléctricos reemplazaron en las fábricas al arcaico sistema de transmisión mediante correas. Años después, la conjunción del alternador, la transmisión de la energía eléctrica en forma alterna y el transformador completarían el proceso de implantación industrial y doméstica de la electricidad. Del mismo modo que con la revolución del vapor, con la segunda revolución industrial se desencadena un proceso de transferencia a la máquina de la actividad productiva del hombre.

Werner Siemens (1816-1892) es otro inventor característico de esta época. Patenta un nuevo y práctico tipo de convertidor de acero y también un aparato telegráfico capaz de imprimir señales. En 1867 inventa el generador electrodinámico, con el que se transforma el trabajo mecánico en energía eléctrica. Acoplando una turbina a una dinamo se tiene una máquina compuesta que permite transformar en energía eléctrica el giro de una turbina impulsada por un fluido (un salto de agua o el vapor a presión), mediante una simbiosis llamada a tener una trascendental importancia en la implantación industrial de la electricidad. También empezó a trabajar en la locomotora eléctrica, y en la Exposición Universal de Berlín de 1879 presentó un tranvía eléctrico (en realidad, el tranvía tiene varios inventores). Después realizó el proyecto del metro de Londres, que se inauguró en 1890. En esa época ensayaba en Berlín las lámparas de arco. En total, Siemens llegó a patentar más de trescientos ingenios dotados de gran utilidad práctica.

La máquina de combustión interna obedece a un principio aparentemente más simple que la máquina de vapor, que requiere una fuente de calor, una caldera y un cilindro junto con un condensador. De hecho, en el siglo XVII Christian Huygens intentó construir una máquina aprovechando la fuerza expansiva de la pólvora. Sin embargo, los problemas prácticos que presenta una máquina de combustión interna son mucho más complejos que los de la máquina de vapor. Por eso es por lo que esta última se desarrolló antes. Pero la de combustión interna resulta muy sugestiva, ya que al eliminar el hogar y la caldera se puede hacer mucho más compacta, y además pro-



1.6. Patente de introducción en España (ES 5.361) de la primera motocicleta propulsada con motor de combustión interna (hobbyhorse-style motorcycle), solicitada por Gottlieb Daimler en 1885 (Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, Madrid).



1.7. El ascensor: (1) Elisha Otis presenta las funcionalidades y seguridad de su invención, en 1854. (2) A finales de siglo serán innumerables las patentes sobre su electrificación. Entre otras, en España, la de Isaac Peral, por Ascensor eléctrico automático, solicitada el 26 de noviembre de 1891, ES 12.703 (se reproduce su plano n.º 2); diversas mejoras fueron recogidas el 28 de diciembre del mismo año, al solicitar un certificado de adición a esa patente, ES 12.873 (Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, Madrid).

mete una mayor eficiencia al desaparecer las pérdidas debidas a la chimenea, la propia caldera y demás elementos de intercambio de calor. De hecho, es uno de los grandes retos que se acometen en la segunda mitad del XIX, y su consecución permitió el desarrollo del automóvil y de la aviación. La relativa ligereza de los motores de gasolina los hace especialmente aplicables en estos sectores.

En este periodo se producen los primeros atisbos de lo que será uno de los mayores efectos de la técnica sobre la vida de los hombres: la transformación del mundo doméstico, una de las grandes novedades en la historia de la cultura occidental. El hogar moderno, con sus aparatos electrodomésticos, y su proyección exterior mediante el automóvil, se ha convertido en uno de los elementos característicos del mundo artificial. Su aparición ha alterado radicalmente nuestro entorno inmediato y ha acentuado sus aspectos artificiales en una medida que parece abocada a un crecimiento exponencial para el que es difícil, hoy en día, imaginar un límite.

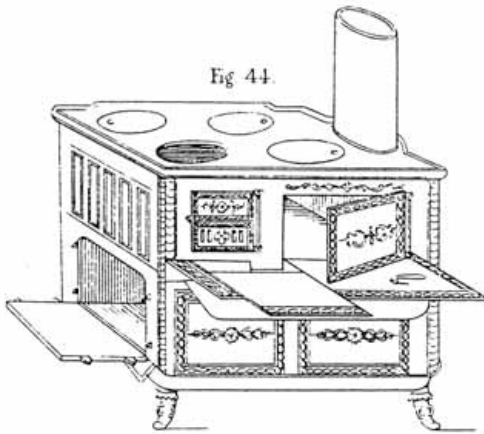
España no participa en primera línea en estos inventos, pero tampoco permanece ajena a ellos. En la introducción de las innovaciones asociadas a la electricidad

tuvieron un papel destacado ingenieros industriales como Francisco de Paula Rojas (1833-1909) o Ramón de Manjarrés i Bofarull (1827-1918), entre otros. Rojas ejerció una gran labor didáctica con sus libros. Además de dirigir la revista *La Electricidad* publicó en 1891 un libro de texto de gran influencia, el *Tratado de electrodinámica industrial* (del que se hicieron cinco ediciones, la última en 1912), que se considera la biblia de la electrotecnia española³¹. Manjarrés, por su parte, intervino de forma decisiva en la introducción en España de dos inventos esenciales: las máquinas generadoras de electricidad y el teléfono. Patentado este último en 1876, Manjarrés consiguió tener dos equipos completos en la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona ya en 1877. Por otra parte, adquirió en 1873 una dinamo Gramme para la Escuela, que fue la primera de su clase que hubo en España. También se le asocia con la introducción de la radiocomunicación, con su participación en la primera presentación pública del invento de Marconi, en Sevilla, donde entonces residía, en la primavera de 1899. Sin embargo, es en el dominio de la química y la agricultura donde sus aportaciones fueron más personales y notables. Llevó a cabo estudios tanto sobre los vinos como sobre los aceites de oliva comestibles, y se interesó en fibras textiles de origen vegetal, como el ramio, del que se obtiene una fibra más resistente que el lino.

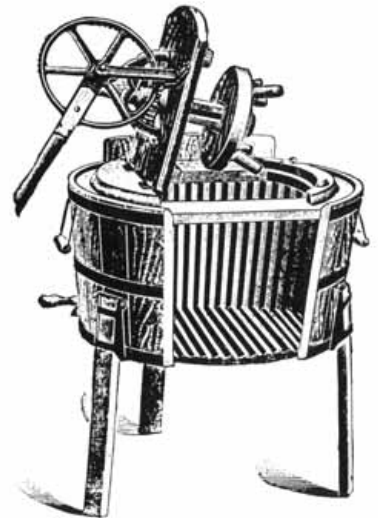
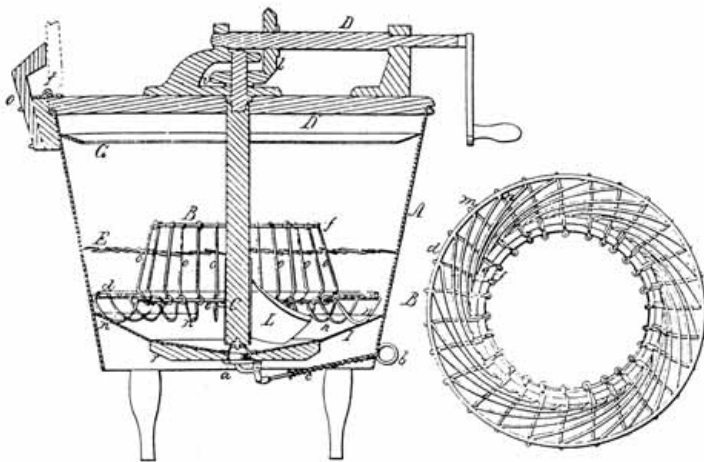
Junto con el desarrollo de la electricidad, la segunda revolución industrial está también relacionada con un profundo desarrollo de la química. Para las aplicaciones industriales fue fundamental la evolución de la química orgánica, que permitió la síntesis del primer tinte de anilina en 1856; poco después, en 1863, se obtuvo el primer tinte sintético; otros hitos son el celuloide en 1868, el rayón en 1892 y la baquelita en 1909. Por otra parte, en ese mismo periodo el petróleo empieza a competir con el carbón.

Un rasgo notable de la segunda revolución industrial (cuyo centro de gravedad estuvo en Alemania, mientras que el de la primera había estado Inglaterra) es que en ella se produce una mayor interacción entre las distintas tecnologías y las ciencias básicas de la naturaleza. Empiezan a cobrar especial importancia los laboratorios de investigación asociados a las industrias, así como la implantación de un eficiente sistema de educación técnica a todos los niveles. Se inicia así un proceso, que se consolidará en el siglo xx, de colaboración entre instituciones: industrias, laboratorios de investigación y escuelas de formación técnica superior. Corresponde a Alemania el haber impulsado de forma especialmente eficiente esta colaboración y el ser la propulsora de su desarrollo. En particular, en este país se da en el último tercio del xix una institucionalización de los vínculos entre la química académica y la industria, y allí se originan tanto la creación de laboratorios de investigación que forman parte del sistema universitario como la utilización de los trabajos que se producen en esos laboratorios por la industria, especialmente la química. De hecho, asociado al laboratorio de investigación aparece en Alemania en el segundo tercio del siglo xix la figura del

³¹ Es notable que en este tratado no se incluya la teoría electromagnética de Maxwell, iniciando lo que se convertiría en una tradición que prácticamente se extiende hasta nuestros días. Ver también F. de P. ROJAS, 1887.



1.8. La cocina: (1) Hornillo americano de mediados del XIX, en el que el aire caliente circula alrededor de diversas placas, incrementándose el rendimiento energético. (2) La electricidad se propone como fuente de energía para la preparación de alimentos (Gloucester Road School of Cookery, Londres, 1895). (Fuente: R. WEAVER y R. DALE, *Machines in the home*, The British Library, Londres, 1992).



1.9. Mecanizar los lavados en el hogar: (1) Lavavajillas, que al accionar la manivela hace que giren los platos en el agua (patente US 51.000, de 21 de noviembre de 1865). (2) Lavadora manual (catálogo de Hibbard, Spencer, Barlett & Co, 1899). (Fuente: R. WEAVER y R. DALE, *Machines in the home*, The British Library, Londres, 1992).

investigador profesional. De este modo, la formación de investigadores en las ciencias de la naturaleza sirvió además para la creación de productos artificiales de interés industrial. Nombres como los de Rudolf Knietsch (1854-1906) o Fritz Haber (1868-1934) ilustran el puente que se tiende entre la teoría química y las plantas industriales de ingeniería química. Este movimiento se extendió más allá del Atlántico, a los Estados Unidos, donde tras la guerra de Secesión se crearon numerosos centros universitarios con una clara vocación de apoyar la naciente industrialización de Norteamérica.

El último cuarto del siglo XIX constituye un periodo de expansión económica sostenida en el mundo occidental, en el que se produce un crecimiento demográfico sin precedentes y hace su aparición el fenómeno de la producción en masa, todo lo cual permite el acceso de un número creciente de personas a un nivel de vida superior al de la mera subsistencia. Es una época impregnada de fuertes dosis de pragmatismo, que rompe con el idealismo romántico, aunque en cierto sentido sea una prolongación de él, y que está dominada por una concepción de la historia en la que el progreso es inevitable.

Para terminar este apartado, conviene mencionar que entre los inventores no faltan los que poseían una elevada dosis de ingenuo utopismo. Un ejemplo característico sería la figura de Narcís Monturiol (1819-1885), quien llegó a creer que su submarino contribuiría a evitar la explotación del hombre por el hombre y a fomentar la armonía en la humanidad.

Algo análogo sucedía con los hermanos Wright, ya en el siglo XX aunque participando del espíritu de la invención de finales del XIX, quienes también pensaban que su invento evitaría las guerras. En efecto, como menciona Fred Kelly³², su biógrafo autorizado, los hermanos Wright pensaban que los aviones permitirían observar e incluso bombardear el territorio enemigo, lo que les llevaba a creer que disuadirían de declarar guerras. Recalcaban que la posibilidad de bombardear tras las líneas enemigas incluía los edificios donde se instalaba el Estado mayor. Ingenuamente confiaban en que su invento haría la guerra tan poco atractiva que ningún Gobierno osaría desencadenar una. Más adelante el propio Wilbur reconocería que su invento no solo no había servido como elemento disuasorio para la guerra, sino que había incrementado desmedidamente sus efectos devastadores. El genio derrochado en sus inventos no se correspondía con su percepción de la naturaleza humana.

VI

ALGUNAS MUESTRAS DE LA RELACIÓN ENTRE CIENCIA E INGENIERÍA EN EL XIX

La revolución científica del XVII se produce sin una neta separación de los mundos de la ciencia (la filosofía natural) y de la técnica. Más aún, como se ha recordado

³² Véase «After Kitty Hawk: A Brief Résumé», en O. WRIGHT, 1953.

antes (cita de Galileo en los *Discorsi*), la técnica, con una tradición milenaria en la concepción y cálculo de barcos, máquinas y edificios, sirve de inspiración metodológica a la naciente ciencia moderna. Hasta el siglo XVIII, una misma persona puede desenvolverse con soltura entre esos dos mundos. Sin embargo, a partir del XIX se produce una creciente especialización y una necesidad de definir cánones de actividad progresivamente diferenciados. Esto sucede no solo en las relaciones entre la ciencia y la ingeniería, sino en el seno de la propia ciencia. Un ejemplo palmario lo suministra la escisión entre la Física y la Química, con evidentes intercambios enriquecedores pero con una clara separación de su ámbito profesional y de las personas que practican estas disciplinas; quedando, por otra parte, los químicos normalmente más vinculados a una actividad técnica industrial. Aquí no se consideran las distinciones en el seno de la ciencia, sino más bien las de la ciencia y la ingeniería, pero conviene evocarlas para ilustrar que el fenómeno de separación entre estas últimas forma parte de uno mucho más amplio de especialización. La pretendida unidad de la ciencia choca con la necesidad de preparación personal diferenciada y la consiguiente creación de dominios de actividad profesional presididos por cánones específicos, que aunque estén interrelacionados, mantienen su propia autonomía. En este apartado se muestran algunos casos concretos que ilustran la paulatina separación de los mundos de la ingeniería y de la ciencia, a la que se ha aludido ya en repetidas ocasiones.

VI.1. Navier, el ingeniero científico

La ruptura con el estricto racionalismo laplaciano, con su pretensión (no exenta de idealismo) de que los problemas prácticos de la técnica fuesen simples aplicaciones de teorías científicas, especialmente de la mecánica racional, se produce incluso en el seno de la propia École Polytechnique. Uno de los profesores que contribuyó a restituir el carácter propiamente ingenieril de las enseñanzas que allí se impartían, y que en cierta medida representa la inserción del centro en el siglo XIX, es Claude-Louis Navier (1785-1836). En 1802 ingresó en la École Polytechnique y en 1804 en la de Ponts et Chaussées. A partir de 1819 se encargó de los cursos de mecánica aplicada, ascendiendo al rango de profesor en 1830. En su docencia puso énfasis en la física y en el análisis matemático. Dividió su enseñanza en tres partes: la primera, consagrada a la resistencia de los sólidos; después se ocupaba de la mecánica de fluidos; y por último, de la teoría de las máquinas. El curso de mecánica aplicada de Navier dominará la enseñanza de los ingenieros hasta el final del siglo XIX.

En la primera mitad del XIX el estudio de la elasticidad se beneficia de la convergencia de aportaciones de científicos y de ingenieros, entre las que destacan las de Navier sobre la teoría de las superficies elásticas. Al contrario de lo que sucede con otros autores, como Simeon-Denis Poisson (1781-1840), muy sesgado a lo científico, Navier se ocupa de los problemas concretos que se encuentran los ingenieros. Utiliza en sus trabajos el formalismo lagrangiano y los métodos desarrollados por Joseph Fourier (1768-1830) en su teoría del calor. Este último enseñó análisis matemático a Navier y ejerció una gran influencia en su formación y a lo largo de toda su vida.

La obra de Navier es ecléctica y pretende ser consistente con la tradición de los ingenieros, más preocupados por la eficacia que por el rigor conceptual. Aunque no alcance la altura científica de otros contemporáneos suyos, desempeña un papel de primera magnitud en la formalización matemática de la ingeniería de su época. Escribió para los ingenieros practicantes, pero acercando el método de la ciencia a la ingeniería allí donde antes se había empleado casi exclusivamente el conocimiento empírico.

Navier se recuerda hoy no como un famoso constructor de puentes, por lo que realmente fue conocido en su tiempo, sino por las ecuaciones de Navier-Stokes de la mecánica de fluidos, que en 1821 propuso para fluidos incompresibles y en 1822 extendió a fluidos viscosos. Trabajó en la aplicación de las matemáticas a la ingeniería, la elasticidad y la mecánica de fluidos, y además realizó contribuciones matemáticas a las series de Fourier y su aplicación a problemas físicos.

Vivió un periodo de agudas convulsiones políticas en Europa, y en Francia en particular. Posiblemente, las dos personas que mayor influencia tuvieron en su pensamiento político fueron Auguste Comte y Henri de Saint-Simon.

Como tantos hombres de su tiempo, Navier creía en un mundo industrializado en el que la ciencia y la técnica resolverían la mayor parte de los problemas. Desde 1830 asesoró al Gobierno sobre las ventajas que una y otra podían aportar al país. En este sentido se interesó por las políticas de transporte, en especial la construcción de carreteras y ferrocarriles. Sus memorias muestran las notables habilidades de un ingeniero comprometido con el desarrollo de una sociedad industrializada de la que pudiera beneficiarse la mayoría³³.

VI.2. La máquina de vapor: la termodinámica y el control automático

Cuando se pretende ilustrar históricamente la preeminencia de la técnica sobre la ciencia resulta inevitable referirse a la máquina de vapor, un ingenio capital en la revolución industrial. Su gestación³⁴ a lo largo de los siglos XVII y XVIII se hace sin especial referencia a la ciencia existente. Los estudios que permitieron comprender el funcio-

³³ Esta fe en el industrialismo se difunde por toda Europa. En nuestro país podemos encontrar también en esta época ingenieros con rasgos semejantes. Uno de ellos es el malagueño José López de Peñalver, producto de la Ilustración, quien, tras el ostracismo al que fue sometido en la primera época fernandina, impulsa la industrialización desde las instituciones creando en 1825, en Madrid, un Conservatorio de Artes y Oficios que puede considerarse el primer centro tecnológico, con terminología de hoy, creado en España. En él se encuentran los orígenes del Real Instituto Industrial y, por tanto, de los estudios de ingeniería industrial. Es notable el artículo de Peñalver «De la influencia de la industria en la situación política de las naciones», recogido en LÓPEZ DE PEÑALVER, 1992, en el que se lee: «la industria es el verdadero fundamento de la libertad que pueden y deben gozar las naciones en el actual período de la civilización» y también, «buscad la libertad en la independencia, y la independencia en la industria».

³⁴ La secuencia que lleva a la máquina de Watt tiene importantes eslabones en las obras de Savery y de Papin, y cabe encontrar sus raíces en la obra del ingeniero español Jerónimo de Ayanz y Beaumont (véase N. GARCÍA TAPIA: «Privilegios de invención», en M. SILVA SUÁREZ, 2004, pp. 568-569).

namiento de la máquina de vapor y estudiar su rendimiento se originan en la obra del ingeniero francés Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832). Este es un capítulo bien conocido de la historia de la técnica y por ello no vamos a volver a insistir en él³⁵. Sin embargo, la máquina de vapor no solo está en la génesis de la termodinámica, sino también en la de una rama de la ingeniería llamada a tener gran pujanza en el siglo xx: el control automático, basada en el empleo de la realimentación para conseguir que la máquina gobierne autónomamente su comportamiento. Mediante la realimentación la máquina recibe información sobre su propio estado, a partir de la cual «toma decisiones» sobre su gobierno, que transmite a los actuadores que la controlan. En el caso de la máquina de vapor, la realimentación se produce mediante el ingenioso regulador a bolas empleado por el ingeniero escocés James Watt³⁶ (1736-1819), un personaje altamente representativo de la vertiente técnica de la fecunda Ilustración escocesa³⁷.

Los primeros reguladores a bolas de Watt funcionaban aceptablemente bien por lo que se refiere a la estabilidad del sistema, debido en parte a la gran fricción que presentaban las partes mecánicas. Ello hizo que su uso se difundiese con gran rapidez: se estima que en 1870 había en torno a 75.000 máquinas de vapor, con sus correspondientes reguladores de Watt, trabajando en Inglaterra. Sin embargo, cuando se pretendió mejorar su construcción y se trató de reducir la fricción que presentaban las partes mecánicas y las pérdidas por el mal ajuste de las piezas, se produjo un curioso fenómeno en la historia de la técnica: un perfeccionamiento en las partes de la máquina conducía a un peor funcionamiento del conjunto. En efecto, en la medida en que se atenuaban los efectos de la fricción se presentaban problemas de estabilidad del sistema.

Estos problemas atrajeron la atención de ingenieros y científicos. Uno de los primeros trabajos que se dedicaron a este regulador se debe a uno de los mayores físicos del xix, James Clerk Maxwell (1831-1879), quien en 1868 publicó un artículo titulado «On Governors» en el que analiza estos problemas de estabilidad desde un punto de vista matemático. Pero este trabajo, suscitado más por un afán de estudiar matemáticamente la inestabilidad relativa del sistema que de ayudar a la concepción y fabricación de las máquinas, no tuvo trascendencia práctica en el mundo de la ingeniería. Es una muestra de lo que se ha dicho en páginas anteriores sobre la creciente divergencia de intereses de científicos y técnicos a lo largo del Ochocientos. A Maxwell lo que

³⁵ Véase, por ejemplo, la introducción de Javier Ordóñez a N. L. SADI CARNOT, 1987.

³⁶ Atribuido a Watt, aunque ya se usaba previamente, por ejemplo, en los molinos de viento. Véase M. SILVA SUÁREZ, 2005.

³⁷ A cuya larga nómina hay que sumar a David Hume, para muchos el filósofo europeo más importante de su siglo; a Adam M. Smith (1723-1790), fundador de la ciencia económica; al geólogo James Hutton (1726-1797), padre de la geología, que propuso la primera teoría de la formación geológica de la Tierra e incluso sugirió, 65 años antes que Darwin, la teoría de la selección natural; al químico Joseph Black (1728-1799), que descubrió el dióxido de carbono; o al filósofo e historiador Adam Ferguson (1723-1816).

le interesaba era escribir un brillante artículo sobre la estabilidad de una máquina de vapor dotada de un regulador a bolas de Watt. El que eso fuera de alguna utilidad parece escapar a sus intereses.

Una muestra de aportación positiva al problema del diseño de la máquina de vapor se tiene en los trabajos del ruso I. A. Vyshnegradskii (1831-1895), coetáneo de Maxwell y matemático de formación aunque ingeniero por su actividad profesional, como profesor y como impulsor de actividades industriales. En 1876 publicó una memoria que tuvo gran influencia práctica al incluir recomendaciones concretas para los constructores que efectivamente sirvieron para mejorar las prestaciones de la máquina. Este trabajo es fundacional en la ingeniería de los sistemas realimentados que tanta importancia iban a adquirir en el siglo siguiente.

El concepto de realimentación es una de las grandes aportaciones surgidas de la ingeniería, que la ha trascendido y ha invadido tanto las ciencias de la naturaleza y las sociales como el pensamiento cotidiano. Ya en siglo xx, Norbert Wiener (1894-1964) postuló en la cibernética³⁸ la ubicuidad de este concepto. El propio Wiener subtituló su libro *El control y la comunicación en el animal y en la máquina*. Resaltaba así el papel de la realimentación en la justificación de las propiedades homeostáticas de los seres vivos. La realimentación también está presente en los sistemas sociales, en los que permite explicar múltiples procesos como, por ejemplo, el mecanismo de equilibrio entre la oferta y la demanda. El concepto de realimentación en connivencia con el de información abre posibilidades aún inexploradas para comprender lo natural y lo artificial, y aporta el primer eslabón hacia la autonomía de las máquinas (lo que, acaso un tanto abusivamente, suele llamarse hoy *inteligencia*). Los robots son inconcebibles sin los mecanismos de realimentación que permiten controlar autónomamente su comportamiento. Pero todo ello ya se adentra en la ingeniería del siglo xx, aunque las raíces de la formalización y el estudio del concepto en sí se remontan al xix, y en especial a la máquina de vapor.

VI.3. La agricultura en la obra de Charles Darwin

Cuando se habla de los saberes prácticos y de los teóricos, en último extremo de técnica y ciencia, resulta interesante referirse a uno de los más grandes logros científicos del xix, y posiblemente de toda la historia, como es la teoría de evolución³⁹ de Charles Darwin (1809-1882). Aunque se trate de una construcción teórica de una incuestionable generalidad y capacidad explicativa, su fuente de inspiración se encuentra en la técnica que alumbró los albores de la civilización: la agricultura. Darwin conocía bien las modificaciones que los agricultores, a lo largo de la historia, habían logrado en las plantas cultivadas y en los animales domésticos. El mecanismo era muy simple: el agricultor seleccionaba los mejores productos de una cosecha y los

³⁸ N. WIENER, 1961.

³⁹ Conviene observar que la evolución participa de raíces románticas al admitir que todo es cambiante, que nada es definitivo.

usaba para sembrar la siguiente. En eso consistía la selección artificial inducida. Su genialidad consistió en postular un mecanismo de selección semejante para la naturaleza, inspirado precisamente en lo que había observado en agricultores y ganaderos. De acuerdo con él, la escasez de recursos hace las veces del agricultor. Los seres vivos poseen la capacidad de reproducirse, pero al ser los recursos limitados, solo sobreviven los más aptos de cada generación, y esos serán los que transmitan sus atributos a la siguiente. De este modo una genial idea científica se inspira en una práctica técnica, agrícola en este caso⁴⁰.

Debe notarse que la propuesta de Darwin se hace desconociendo los mecanismos genéticos que la justifican. Es decir, en cierto sentido se encuentra en los antipodas de las pretensiones mecanicistas ilustradas. Se trata de una concepción científica radicalmente innovadora que se inspira en usos tradicionales.

VI.4. De Maxwell a Marconi: una ruta sinuosa

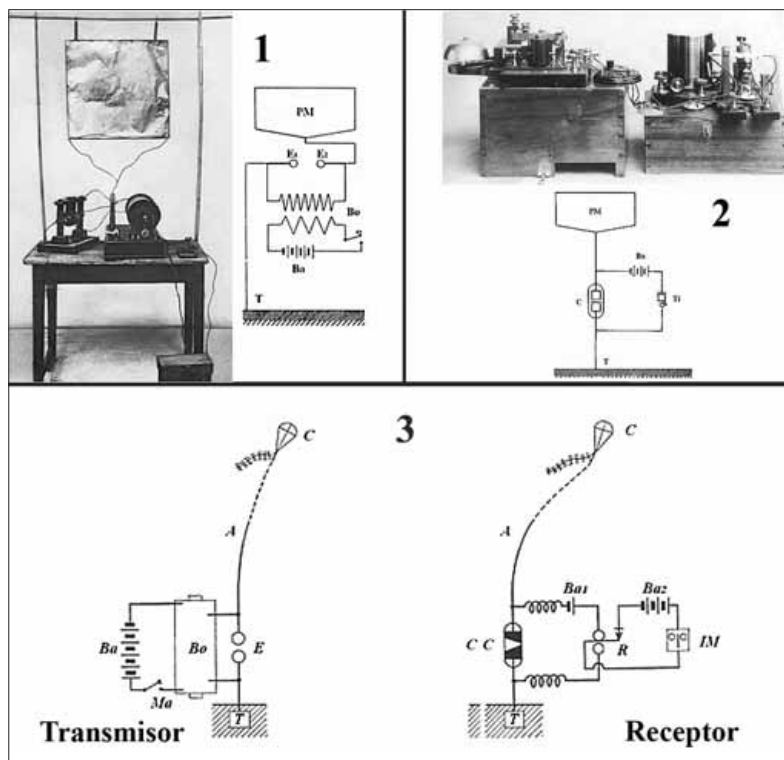
La invención de la telegrafía inalámbrica, en la segunda mitad del XIX, suministra un magnífico ejemplo de la controvertida relación entre el conocimiento teórico y las realizaciones prácticas. Es un caso que merece atención por haber sido tradicionalmente utilizado como paradigma de cómo una concepción teórica antecede y determina una aplicación práctica. La secuencia que conduce de Maxwell a Hertz y luego a Marconi se suele citar para ilustrar la cadena que lleva de la una a la otra. Sin embargo, el vínculo que liga las ecuaciones de Maxwell con la síntesis de Marconi se ajusta con dificultad a este esquema simplificador⁴¹.

De acuerdo con el punto de vista tradicional, demostrada la existencia de las ondas hertzianas solo faltaba un clarividente y habilidoso ingeniero que explotase sus posibilidades para la transmisión de señales eléctricas a distancia, y ahí hace su aparición la figura de un inventor, el italiano Guglielmo Marconi (1874-1937), que en 1897 integró en un único aparato el oscilador de Hertz, el tubo detector de Édouard Branly (1844-1940), el pulsador de Samuel Morse (1791-1872) y la antena de Nicola Tesla (1856-1943) (o de Alexander Popov, 1859-1906), y con todo ello hizo una demostración espectacular en Salisbury ante el director de la oficina postal inglesa, logrando transmitir un mensaje telegráfico sin ningún hilo que lo soportase. Poco después fundaba la primera compañía de telegrafía sin hilos, la Wireless Telegraph and Signal Company, Ltd.

Sin embargo, la secuencia de causalidad unidireccional (de Maxwell a Hertz y después a Marconi) constituye una simplificación abusiva. En ella subyace una actitud preconcebida según la cual toda creación técnica es sencillamente la transformación de un conocimiento científico (una teoría) en un objeto técnico; de modo que este último no es si no una aplicación a un caso concreto de ese conocimiento científico

⁴⁰ También se valió de los trabajos de otros naturalistas, como Félix de Azara (1742-1821) quien estudió las especies animales americanas, y al que Darwin cita en varias ocasiones.

⁴¹ G. BASALLA, 1991.



1.10. La telegrafía sin hilos: (1) Transmisor construido en 1895 por Marconi en el que se ve la placa de metal que actuaba como antena. (2) Receptor realizado también por Marconi en 1895, en el que un cohesor inventado por Édouard Branly, al recibir las ondas electromagnéticas, disminuía su resistencia, lo que permitía hacer sonar un timbre. (3) Sistema empleado por Marconi en su demostración en Salisbury en 1897. Los esquemas de esta figura están basados en los recogidos en las correspondientes patentes.

previo. Por el contrario, la transición de Maxwell a Marconi puede que no sea más que un prejuicio del pensamiento retrospectivo.

La gran aportación teórica de Maxwell es el concepto de onda a la vez eléctrica y magnética. Esta oscilación electromagnética se desplaza por un medio extraño, el éter, que aunque invisible e imponderable debe tener una realidad material⁴². Maxwell dedujo que el éter de la óptica poseía las mismas propiedades que el

⁴² La transmisión de una fuerza entre dos cuerpos solo admite tres posibilidades: el contacto directo o choque, la acción a distancia newtoniana no soportada por ningún medio, y la acción a través de un medio mediante un campo, que es la propuesta por Maxwell para la acción electromagnética. El concepto de campo como soporte de la acción a distancia estaba llamado a desempeñar un papel primordial en la física moderna, especialmente en la teoría de la relatividad generalizada, además de alterar profundamente el ulterior desarrollo de la teoría física.

de la electricidad y el magnetismo, por lo que se podía asimilar la luz a una onda electromagnética.

Los trabajos de Heinrich Hertz (1857-1894) no estuvieron motivados por el deseo de contrastar empíricamente esta propuesta de Maxwell. Al contrario, él pretendía probar la teoría alternativa de su maestro Hermann Helmholtz (1821-1894), que suponía la acción a distancia ejercida mediante partículas electrizadas. Este físico desarrolló una teoría que conduce a unas ecuaciones de las que las de Maxwell son un caso particular. Hertz se propuso verificar experimentalmente la teoría de Helmholtz. El propio Hertz reconocía incluso en 1882 que su comprensión de la teoría de Maxwell no era del todo satisfactoria, aunque sus trabajos le llevaron a admitir que era la que mejor explicaba sus resultados experimentales.

Construyó, en 1887, un generador y un receptor de ondas⁴³ con los que realizó experimentos que corroboraban la teoría de Maxwell. De este modo Hertz descubrió, sin haberlo previsto, que un circuito oscilante «abierto» era capaz de engendrar ondas detectables a corta distancia⁴⁴. Se encontró con lo que hoy conocemos como ondas hertzianas sin buscarlas, a su pesar, en contradicción con lo que esperaba y desconociendo relativamente la teoría de Maxwell. Se ve, pues, que la transición corrientemente aceptada de Maxwell a Hertz requiere importantes matizaciones. Algo análogo sucede con la de Hertz a Marconi.

La originalidad de la investigación de Marconi no está en la velocidad de la onda, como en el caso de Hertz, sino en la distancia de propagación, en su alcance. Una transmisión de señales a corta distancia, la propia de un laboratorio, tiene una gran significación científica, pero un interés práctico nulo. Por el contrario, la onda de Marconi debe tener las propiedades de ser modulable al ritmo de las señales telegráficas, de franquear determinados obstáculos y de propagarse a larga distancia en un espacio situado entre un suelo parcialmente conductor y las capas ionizadas de la alta atmósfera. Todas estas virtudes representan condiciones indispensables para la realización de la telegrafía sin hilos y no están presentes en las propiedades estudiadas por Hertz: son la gran aportación de Marconi. Aunque físicamente sean la misma cosa, las cualidades hechas explícitas por ambos investigadores pueden llevar incluso a decir que conceptualmente la onda de Marconi es distinta de la de Hertz. La originalidad de las aportaciones de Marconi le hicieron acreedor del Premio Nobel de Física en 1909.

⁴³ Para el generador utilizó un carrete o bobina de Ruhmkorff como generador de oscilaciones, y una batería con la que lo alimentaba. Luego conectó el carrete a un dispositivo formado por dos varillas de cobre, en cada uno de cuyos extremos dispuso una esfera grande y otra pequeña. Cada una de las esferas grandes servía como condensador para almacenar carga eléctrica. Una vez hecha la conexión, en cierto instante, el voltaje entre las esferas pequeñas era lo suficientemente grande para que saltara una chispa entre ellas. Al saltar estas chispas se producía una variación en el campo eléctrico que inducía uno magnético. De esta forma, Hertz construyó un radiador de ondas electromagnéticas. Asimismo, construyó un detector basado en unos principios análogos.

⁴⁴ Al comprobar la existencia de un tiempo finito y medible desde la generación del campo hasta su detección, con lo que además se desmoronaba la acción a distancia instantánea.

Es más, a Marconi la carencia de determinados conocimientos científicos le permitió no creer insuperables ciertas dificultades de realización práctica. De hecho, sus experimentos están exclusivamente motivados por la necesidad de obtener el mayor alcance posible para las ondas. Por ejemplo, añadió al excitador de Hertz un conductor aéreo y un hilo puesto a tierra, con lo que aumentó, sin saberlo, la longitud de onda y pudo enviar las modulaciones telegráficas a distancias que ni la teoría de Maxwell ni las experiencias de Hertz permitían esperar⁴⁵. Así, la invención de la telegrafía inalámbrica se hizo fuera del marco estricto de la teoría de Maxwell⁴⁶.

Lo anterior no significa que la inspiración suministrada por determinadas conocimientos científicos que le transmitió su preceptor de Física Augusto Righi (1850-1920) no haya sido, hasta cierto punto, un factor desencadenante de sus trabajos. El conocimiento de las ondas hertzianas y de los principales secretos de su producción le abrieron las enormes posibilidades por las que luego discurrió su invento. Pero de los trabajos de Hertz no retuvo más que lo que tenía un aspecto más técnico. A ello unió sus resultados experimentales, obtenidos por ensayos sucesivos, con los que estableció las bases para un estudio de la onda electromagnética en un dominio de saber utilitario, de tipo técnico. Es la clase de saber formado por fines y procedimientos que, aun integrando algunos hallazgos de los científicos de la naturaleza, posee un ámbito de autonomía que es el propio de las ciencias de lo artificial, como son la técnica y la ingeniería.

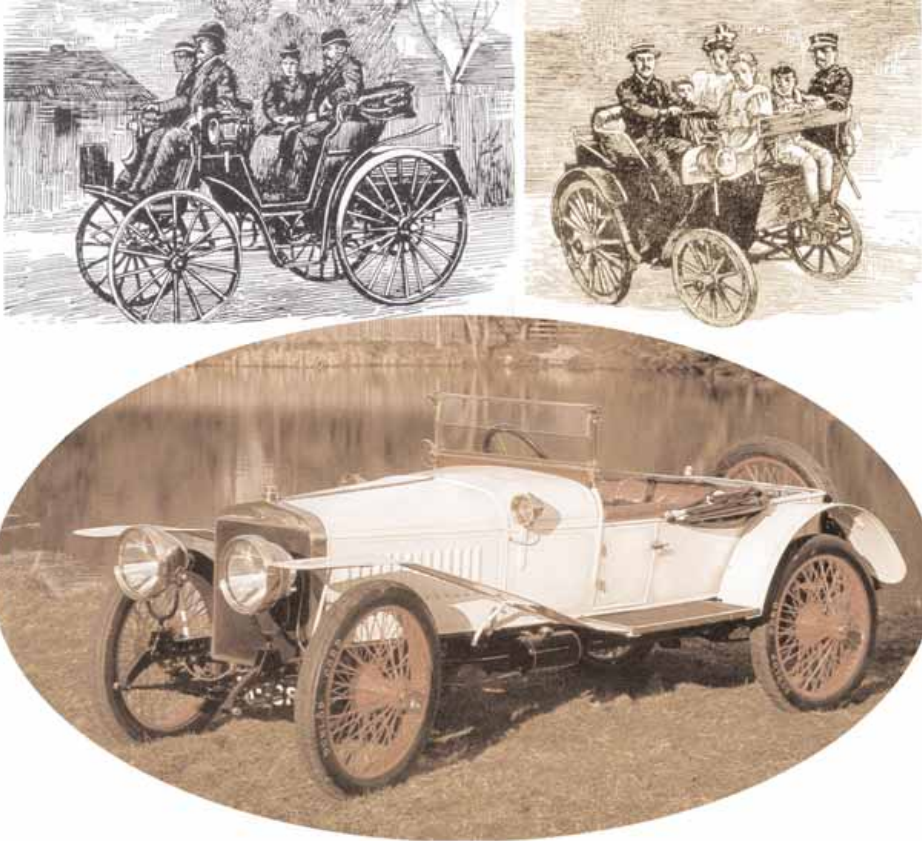
VII

LA TÉCNICA Y EL MUNDO DEL PENSAMIENTO EN EL XIX

En el Ochocientos se apuntan algunos intentos de pensar la técnica bajo una perspectiva amplia y autónoma. Una corriente filosófica que se inicia en el último

⁴⁵ En aquella época se desconocían los mecanismos habituales de propagación de la radiación electromagnética que permiten en la actualidad las telecomunicaciones: efecto guía-onda entre la ionosfera y la corteza terrestre —grandes longitudes de onda—, reflexión ionosférica —onda media—, difracción —que permite la comunicación aunque no haya visión directa—, etc. Estos conocimientos pertenecen al complejo ámbito de la realidad experimental y solo rara vez pueden estudiarse matemáticamente con todo detalle. Estos efectos son capitales en toda telecomunicación, a diferencia de las pruebas de Hertz, donde la configuración experimental se reduce a una disposición muy simple que permite contrastar una determinada predicción teórica.

⁴⁶ En todo este proceso de transición desde Maxwell a Marconi no solo están involucrados aspectos concernientes a las relaciones entre la técnica y la ciencia, como acabamos de ver, sino otros pertenecientes a cuestiones de orgullo nacional. Para los discípulos de Maxwell ingleses, los «maxwellianos», resultaba inadmisibles que un italiano hubiese resuelto los problemas técnicos de la transmisión inalámbrica; y así fomentaron la adscripción de la gloria del descubrimiento al físico inglés Oliver Lodge (1851-1940). Por su parte, los rusos adjudicaron a Alexander Popov (1859-1905) el mismo mérito. Sin embargo, sin minusvalorar esas dos figuras, hoy se acepta que el honor corresponde a Marconi (véase, por ejemplo, Sungook HONG: «Marconi and the Maxwellians: The Origins of Wireless Telegraphy Revisited», *Technology and Culture*, 1994, pp. 717-749).



1.11. Evolución del automóvil: (Arriba) Coches de tiro sin caballos: calesín con motor de explosión y faetón Milord, con máquina de vapor (década de 1890). (Fuente: Historia gráfica del siglo XIX, Edimat Libros, Madrid, 2001). (Abajo) En poco más de un cuarto de siglo, se disfruta de formas específicas tan depuradas como las de los prestigiosos Hispano Suiza. En la imagen, el modelo 15 T, conocido como el Alfonso (en honor al rey de España), fabricado en Barcelona en 1912.

cuarto de siglo, y que resulta enormemente sugestiva para la ingeniería, es el pragmatismo americano⁴⁷. El pensamiento positivista abre el camino hacia el pragmatismo de William James (1842-1910) o de Charles Sanders Peirce (1839-1914), en el que se produce una identificación entre utilidad y verdad. Los pragmatistas, como a principios de siglo los románticos y los ilustrados escoceses, huyen de la abstracción excesiva y son reticentes a los principios generales. Se sienten a sus anchas en el dominio de lo concreto, de los hechos, de la acción. En este sentido su actitud es radicalmente

⁴⁷ Una introducción interesante en lengua española al pragmatismo americano se tiene en Á. M. FAERNA, 1996.

empirista y distante del racionalismo. Para ellos el conocimiento ya no es una imagen o figura de la realidad, sino un instrumento valioso para actuar eficientemente sobre ella y del que caben incontables usos diferentes. Así, los pragmatistas creían que los conceptos y teorías no se encontraban «ahí afuera» esperando ser descubiertos, sino que eran instrumentos para tratar intelectivamente con el mundo. Creían, además, que las ideas se producían no por individuos aislados sino por grupos humanos: eran esencialmente sociales. Por último, pretendían que, puesto que las teorías eran respuestas provisionales a circunstancias particulares, su supervivencia dependía no de su inmutabilidad, sino de su adaptabilidad. El atractivo de estas ideas para el ingeniero es innegable. Como lo es el hecho de que la época de finales del XIX en la que aparece esta corriente filosófica es, en cierto sentido, la época de oro de la ingeniería.

Se establece de este modo una cierta relación entre el pragmatismo y las ideas que un siglo antes había propuesto Immanuel Kant (1724-1804). La revolución romántica se relaciona con Kant en la medida en que este reclama la participación de la mente en la construcción de la realidad: la mente participa en la elaboración del mundo exterior, que capta activamente en vez de limitarse a reflejarlo pasivamente. Por ello Kant pretendía que el conocimiento científico no alcanzaba a la cosa-en-sí⁴⁸.

En este orden de cosas, el intento de la mecánica racional, producto genuino de la Ilustración, de emular la estructura profunda del mundo material mediante una estructura axiomática, de forma análoga a lo conseguido en la Antigüedad por la geometría euclidiana, suscita sugestivas reflexiones. La escuela alejandrina, y en concreto Euclides, habían producido una síntesis axiomatizada de los conocimientos geométricos, los cuales a su vez tienen sus orígenes en sus aplicaciones a la agrimensura y la arquitectura, que pervivió casi inalterada durante más dos mil años y que constituye uno de los más sólidos legados de la Antigüedad a la ciencia moderna. Esta geometría posee unas componentes de evidencia que hicieron que durante siglos se asumiese que la realidad era intrínsecamente euclidiana; es decir, que no era solamente una poderosísima construcción intelectual con la que aprehender determinados aspectos geométricos, sino que pertenecía a la propia realidad: que las relaciones espaciales entre las cosas eran, en un sentido absoluto y necesario, como la geometría euclidiana proclamaba. Sin embargo, esta pretensión iba a sufrir un serio revés en el XIX al gestarse una trascendental revolución en la geometría. Motivados por aplicaciones prácticas concretas, la medición de la forma de la Tierra y otros problemas geodésicos semejantes, los matemáticos se ven progresivamente abocados a abandonar la geometría euclidia-

⁴⁸ Por el contrario, un filósofo de la técnica como Friedrich Dessauer (1881-1963) propone que la invención técnica permite a la humanidad establecer contacto con las cosas-en-sí-mismas. En tiempos modernos, Juan David García Bacca (1901-1992) afirma que el técnico (y, por tanto, el ingeniero) es un «ontólogo practicante». El proceso creativo de invención produce una existencia que precede a la esencia y cuyo resultado es una solución práctica y operativa a un problema. Dessauer concedió una naturaleza trascendental a este proceso.

na y a crear otras geometrías que les permitían un mejor ajuste de los datos que aportaban sus mediciones sobre la superficie terrestre. Esos problemas, en manos de matemáticos como Carl Friedrich Gauss (1777-1855), dieron lugar a la geometría sobre superficies curvas que fue un primer paso hacia las geometrías no euclidianas.

La anhelada correspondencia entre un sistema axiomático y la realidad recóndita de las cosas, implícita en la formulación axiomática llevada a cabo por Euclides y en su aceptación como forma suprema de conocimiento, ha tenido una gran influencia en la historia del pensamiento científico. Por ello se había intentado emularla con la mecánica racional, que pretendía desvelar el mecanismo básico del mundo, el esqueleto de la realidad física, a partir del cual se podría deducir todo el conocimiento del mundo material, incluido el más superficial propio de la técnica, referido este último al comportamiento aparente de las cosas sin especial atención a su constitución profunda. De este modo se legitimaba la pretensión de que el mundo de la técnica estuviese subordinado al de la ciencia. Ya hemos visto cómo este era uno de los legados de la Revolución francesa, y en concreto de la École Polytechnique de París. Una exigencia que hereda también la mayor parte del espíritu científico moderno: hay un conocimiento dominante, una forma superior de ver el mundo que aspira a traducir la «verdad» de las cosas (el pretendido «ojo de Dios») a la que inevitablemente se tienen que someter todas las demás formas de conocimiento, e incluso la propia acción.

Sin embargo, para Kant el problema no estaba en *qué* era la realidad, sino en *cómo* podía nuestra mente llegar a conocerla, para lo que planteaba que el intelecto unifica la diversidad de la experiencia construyendo una representación del mundo. Con ello Kant transformó radicalmente nuestra concepción del conocimiento. A partir de él sufre un fuerte cuestionamiento la pretensión, asociada con el mecanicismo racionalista, de que nuestra mente sea como un espejo en el que se refleja el mundo; por el contrario, somos nosotros los que cofabricamos lo que llamamos «realidad», dejando a la mente el papel nada desdeñable de alumbrar esa construcción. Este punto de vista es lindante con el Romanticismo, para el que la actividad mental de elaborar representaciones no es pasiva, sino que tiene una componente decisiva de revelación activa asociada a una intervención experimental. La realización de representaciones puede estar sometida a controles muy rigurosos, como sucede en la ciencia, pero no por ello dejan de ser algo construido por nosotros⁴⁹.

Esta construcción abstracta la hacemos con vistas a obtener alguna predicción beneficiosa para nuestra relación con el mundo. De acuerdo con este punto de vista, que será asumido por el pragmatismo, la ciencia, y en particular las construcciones teóricas, no son otra cosa que herramientas o instrumentos para predecir el

⁴⁹ No obstante, a pesar de su inflexión constructivista, Kant no pudo evitar reconocer que la geometría euclidiana aportaba el marco más idóneo para nuestra percepción de la realidad, por lo que, en la práctica, se convertía para él en un instrumento irremplazable para tratarla intelectivamente. Algo análogo sucede con el concepto de causalidad, que Hume había fustigado con vigor.

comportamiento de las cosas y de este modo poder controlarlo. Esta concepción asigna a las teorías un papel neutral en sus intentos de alcanzar la verdad; el éxito de las aplicaciones es la última garantía de la bondad de una teoría. De este modo la pretendida correspondencia entre una teoría y la realidad de aquello que describe toma un carácter más superficial, menos profundo; o, si se quiere decir así, más local o concreto, menos global o absoluto; es decir, se reduce a una adecuación empírica (el concepto de adecuación empírica ha sido propuesto y minuciosamente elaborado en VAN FRAASEN, 1980). En último extremo, el pragmatismo incorpora la constatación de que el progreso se alcanza por una vía formada por el examen riguroso de las prácticas ordinarias por las que se decide qué es correcto o razonable; y no por el camino que busca la formulación de la teoría correcta que aspira al calificativo de verdadera. Esta forma de ver las cosas entronca directamente con la que tiene el ingeniero, para el que la utilidad prima sobre la verdad, de modo que la actuación exitosa sobre lo concreto debe prevalecer sobre la generalidad de los resultados teóricos implicados.

La visión monista o platónica, con hondas raíces en el periodo ilustrado, florece con el pensamiento científico moderno. Postula que, aunque no se haya alcanzado la verdad, nos vamos acercando progresivamente a ella como límite al que convergen por aproximaciones sucesivas nuestros conocimientos; límite que reproduciría el mundo platónico al que llevaría nuestra reconstrucción de la «realidad». El platonismo alcanza una de las formas supremas de este unitarismo o monismo epistemológico al proponer la existencia de un potencial saber único al que tienden todos los que parcialmente —las sombras en la caverna— vamos alcanzando en los distintos dominios de la realidad. Este monismo epistemológico parece haber estado siempre en el núcleo de la actividad del científico, en cuanto filósofo natural, que pretende desvelar la realidad profunda de las cosas, que por su propia naturaleza solo podría ser una. En el científico ha sido dominante una vocación monista.

El ingeniero, por su parte, tiende al pluralismo. Al buscar una solución al problema que tiene entre manos, está dispuesto a pagar el precio que sea, incluida la renuncia a la unicidad teórica. Lo que le interesa es que su solución funcione, aunque ello le obligue a aceptar teorías aparentemente dispares. Para él la legitimidad de su producto no estriba tanto en la sustentación que le aportan las teorías científicas en las que puede haberse inspirado, o en las que ha basado sus cálculos, sino en el hecho experimental y constatable de los múltiples productos (a veces millones) que funcionan de acuerdo con las pretensiones que los inspiraron. Los conocimientos que hayan podido servir para la fabricación de un artefacto no están sometidos a las mismas normas rigurosas que son tan caras al científico, entre las que ocupa un papel destacado la consistencia⁵⁰. De este modo el ingeniero parece estar más cercano a la vertiente experimental de la ciencia que a la propiamente teórica, aunque por su formación sea por esta última por la que, a veces, sienta una especial fascinación.

⁵⁰ Esta radical pretensión ha sufrido un duro embate con los celebrados teoremas de Gödel.

Viene aquí a colación recordar las primeras páginas del brillante alegato por el pluralismo de Hilary Putnam (1926-), en su libro sobre las mil caras del realismo⁵¹, donde propone una alegoría en la cual una joven doncella, el sentido común, que aquí hermanaríamos con la técnica, es seducida por un embaucador, que simboliza a la ciencia, que aspira a monopolizar el conocimiento de la Realidad (con mayúscula) de las cosas y que la convence de que solo a partir de este conocimiento podrá resolver sus problemas, como intentaban Laplace y sus seguidores a principios del XIX. Del mundo se puede decir de manera significativa tanto que está formado por objetos materiales corrientes de tamaño medio, como sillas y cubos de hielo, como que todo está hecho de átomos y partículas subatómicas; lo que conduce de modo inevitable a formas de pluralismo asociadas a la variedad de descripciones que podemos hacer con pleno sentido de la realidad. Volviendo a la doncella, esta, tras abandonarse a los embrujos de la seducción, descubre que esa pretendida Realidad que le aporta la ciencia no basta para satisfacer sus anhelos. «Algunos dirán que la dama ha sido engañada», acaba diciendo Putnam.

El mundo de la acción resulta excesivamente complejo para ser reducido a un único punto de vista; aunque la ciencia haya alcanzado éxitos notables desvelando una fascinante y misteriosa unidad en determinados ámbitos del pensamiento, la realidad resulta más rica que lo que permite el limitado marco de una teoría. El ingeniero, por muy atractiva que le resulte esa unidad, tiene que renunciar a ese confinamiento y enfrentarse a las cosas con toda su desbordante complejidad. Ello le aproxima a un dominio más pragmático, no del que busca la verdad o el conocimiento más estructurado que sea capaz de alcanzar en un determinado dominio, sino aquel para el que lo prioritario es el éxito en la acción; cuyo objetivo principal es conseguir un comportamiento acorde con sus pretensiones, lo que, por otra parte, no es poco. El legado del Romanticismo sobrevuela el pluralismo.

Antes de terminar este apartado sobre algunas cuestiones filosóficas relevantes para la técnica, conviene mencionar que en la segunda mitad del siglo XIX se acuña la locución «filosofía de la técnica» por Ernst Kapp (1808-1896), que tiene como continuadores a pensadores como Friedric Dessauer (1881-1963) y José Ortega y Gasset (1883-1955), ya en el XX. Todos ellos resaltan en mayor o menor medida los efectos positivos de la técnica. Alternativamente, coexiste una corriente de pensamiento, también de origen alemán, marcada por el utopismo, que representa de alguna forma la continuación del ludismo y que resalta los efectos sociales negativos del progreso técnico. Ya hemos apuntado las raíces románticas del cuestionamiento de la actuación sobre la naturaleza. En esta línea destaca Oswald Spengler (1880-1936), autor representativo de la crisis finisecular del Ochocientos⁵².

⁵¹ H. PUTNAM, 1978.

⁵² O. SPENGLER, 1923 y 1947.



1.12. El nuevo siglo se abre, entre múltiples adelantos, con los comienzos de la aviación: Biplano con hélice propulsora construido en 1909 por Gaspar Brunet y Viadera (1867-1928), ingeniero industrial (Barcelona, 1889). A los mandos está, en Paterna, Juan Olivert Serra (1887-1949), también ingeniero industrial, que con la Diputación Provincial de Valencia cofinanció el desarrollo. A Brunet se debe el primer tratado español sobre técnica de aviación. «El libro constituye una sorpresa, pues no es de esperar, en esa fecha, una publicación tan extensa y completa de conocimientos técnicos y prácticos sobre aeroplanos» (J. M.^a ROMÁN Y ARROYO, *Tres escuelas y veinte promociones de ingenieros aeronáuticos, ETS, Asociación y CC. OO. de Ingenieros Aeronáuticos, Madrid, 1993*).

Ernst Kapp es un filósofo alemán, emigrante a Estados Unidos por problemas políticos en su país, que escribió un libro sobre filosofía de la técnica⁵³. La técnica era para Kapp un medio de «sobrellevar la dependencia de la dura naturaleza»; un medio para conquistar el tiempo (a través de los sistemas de comunicación, desde el lenguaje al telégrafo) y el espacio (mediante la agricultura, la minería, la arquitectura, la ingeniería civil, etc.). Su tesis principal es que las técnicas son proyecciones de los órganos humanos. En su libro abundan ejemplos de la relación entre los órganos del cuerpo humano y las técnicas desarrolladas a lo largo de la historia de la humanidad.

La obra de Kapp florece en el crepúsculo del movimiento romántico alemán que reivindicaba una realidad viviente y orgánica, y siempre cambiante. Postulaba una interdependencia entre todos los componentes del universo. En este sentido, las

⁵³ Se desconoce la existencia de traducción de este libro al español o al inglés. Una selección y traducción de textos de Kapp se puede encontrar en la revista *Teorema*, volumen XVII/3, 1998.

ideas de Kapp pueden considerarse precursoras de modernos puntos de vista cercanos al organicismo ecologista.

VIII

A MODO DE CONCLUSIÓN

A lo largo de este capítulo se ha mostrado cómo en el XIX ingenieros y científicos van adquiriendo un perfil profesional diferenciado. La inevitable y creciente especialización, la necesidad de ejercitar elaboradas habilidades específicas, tanto intelectuales como experimentales, en cada uno de los campos científicos y técnicos que se van creando, y la formulación implícita de los cánones a los que se someten las actividades que se desarrollan en cada uno de estos dominios va determinando, a lo largo del siglo, la progresiva separación, no exenta de fecundos intercambios, que conduce a la ramificada proliferación de especialidades profesionales que caracterizan el mundo actual. Es una de las herencias que deja el controvertido XIX.

Se llega así al final de estas reflexiones sobre la eclosión del mundo artificial en el XIX que tanto cautivaría a un deslumbrado ciudadano romano. Los legados de la Ilustración y el Romanticismo, los dos focos de irradiación que brillan en ese siglo, marcan el sendero por el que transita la ingeniería, que comienza bajo el influjo pretendidamente dominante del racionalismo mecanicista y va redefiniendo su autonomía, aunque no sea siempre conscientemente, a lo largo de él. Así se suscitaban cuestiones que aún siguen estando abiertas: ¿dónde situar los saberes utilitarios y la profesión de ingeniero que es heredera de esos saberes? ¿Es la ingeniería una profesión que se nutre solamente de los progresos de la ciencia? ¿Acaso deberíamos dejar de ver la ciencia como el fundamento de nuestras actividades prácticas, para considerarla como una explicación de esas actividades? ¿Cómo conciliar en la actuación de un ingeniero la necesaria utilización de la ciencia con el ineludible ejercicio de la imaginación creadora? ¿A qué cánones somete el ingeniero el ejercicio de su profesión y qué lugar ocupa en ellos la ética profesional? Al fin y al cabo, la ingeniería se desenvuelve en una peculiar encrucijada en la que confluyen el respeto y la explotación racional de las leyes de la naturaleza con el ingenio creativo para concebir y producir artefactos con los que resolver determinados problemas de índole utilitaria.

BIBLIOGRAFÍA

- ARACIL, Javier: «¿Es la ingeniería meramente ciencia aplicada?», en *Ingeniería y pensamiento*, Fundación El Monte, Sevilla, 2006, pp. 145-166.
- BASALLA, George: *Historia de la tecnología*, Crítica, Barcelona, 1991.
- BERLIN, Isaiah: *La traición de la Libertad*, Fondo de Cultura Económica, México, 2004.
- BRONCANO, Fernando: *Entre ingenieros y ciudadanos*, Montesinos, Barcelona, 2006.

- DESSAUER, Friedrich: *Discusión sobre la técnica*, Rialp, Madrid, 1964.
- FAERNA, Ángel Manuel: *Introducción a la teoría pragmatista del conocimiento*, Siglo XXI, Madrid, 1996.
- GARCÍA BACCA, Juan David: *Elogio de la técnica*, Anthropos, Barcelona, 1987.
- GARCÍA TAPIA, Nicolás: «Privilegios de invención», en M. Silva Suárez (ed.): *El Renacimiento*, volumen I de *Técnica e ingeniería en España*, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / PUZ, Zaragoza, 2004, pp. 545-575.
- GRANADA MARTÍNEZ, Miguel Ángel: «Valoración filosófica de la técnica», en M. Silva Suárez (ed.): *El Renacimiento*, volumen I de *Técnica e ingeniería en España*, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / PUZ, Zaragoza, 2004, pp. 63-90.
- HAYEK, Friedrich: *La contrarrevolución de la ciencia*, Union Editorial, Madrid, 2003.
- JONAS, Hans: *El principio de responsabilidad*, Herder, Barcelona, 1995.
- LÓPEZ DE PEÑALVER, Juan: *Escritos de López de Peñalver*, edición y estudio preliminar de E. Lluch, Antoni Bosch, Madrid, 1992.
- MAXWELL, James Clerk: «On Governors», *Proceedings of the Royal Society*, vol. 16, pp. 270-283, 1868. [Reproducido en G. J. Thaler (ed.): *Automatic Control*, Dowden, Stroudsburg, Pennsylvania, 1974, pp. 6-19].
- PICON, Antoine: *L'invention de l'ingénieur moderne*, Presses de l'École des Ponts et Chaussées, París, 1992.
- PUTNAM, Hilary: *The many faces of Realism*, Open Court, LaSalle, Illinois, 1987. [Ed. en España como *Las mil caras del realismo*, Paidós, Barcelona, 1994].
- ROJAS, Francisco de Paula: *Estudio elemental teórico-práctico de las máquinas dinamo eléctricas*, Memorias de la Real Academia de Ciencias, Madrid, 1887.
- SADI CARNOT, Nicolas Léonard: *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esa potencia*, Alianza Editorial, Madrid, 1987.
- SÁNCHEZ MIÑANA, Jesús: *La introducción de las comunicaciones en España*, FUNDETEL, Madrid, 2004.
- SÁNCHEZ RON, José Manuel: *Cinzel, martillo y piedra*, Taurus, Madrid, 1999.
- SHINN, Terry: *L'École Polytechnique*, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, París, 1980.
- SILVA SUÁREZ, Manuel: *Uniformes y emblemas de la ingeniería civil española, 1835-1975*, Institución «Fernando el Católico», Zaragoza, 1999.
- (ed.): *El Renacimiento*, volumen I de *Técnica e ingeniería en España*, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / PUZ, Zaragoza, 2004.
- (ed.): *El Siglo de Las Luces: de la Ingeniería a la nueva navegación*, volumen II de *Técnica e ingeniería en España*, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / PUZ, Zaragoza, 2005.

- SILVA SUÁREZ, Manuel (ed.): *El Siglo de Las Luces: de la industria al ámbito agroforestal*, volumen III de *Técnica e ingeniería en España*, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / PUZ, Zaragoza, 2005.
- SPENGLER, Oswald: *La decadencia de Occidente*, Espasa, Madrid, 1923.
— *El hombre y la técnica*, Espasa, Madrid, 1947.
- TRUESDELL, Clifford: *Ensayos de historia de la mecánica*, Tecnos, Madrid, 1975.
- VAN FRAASSEN, Bas C.: *La imagen científica*, Paidós, México, 1996 (edición original en 1980).
- VAUGHN KOEN, B.: *Discussion of the Method*, Oxford University Press, Nueva York, 2003.
- VYSHNEGRADSKII, I. A.: «Sur la théorie générale des régulateurs», *C. R. Acad. Sci. Paris*, 1876, 318-321.
- WIENER, Norbert: *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, 2.^a ed., The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1961.
- WRIGHT, Orville: *How We Invented the Airplane*, Dover, Nueva York, 1953.