



RASC

Real Academia
Sevillana de Ciencias

Elogio de la ingeniería

discurso pronunciado por el

Excmo. Sr. D.

Javier Aracil Santonja

en el acto de recepción como académico numerario

el día 21 de noviembre de 1995

y

contestación del académico numerario

Excmo. Sr. D.

Juan Manuel Martínez Moreno

ELOGIO DE LA INGENIERÍA

*Discurso pronunciado por el
Excmo. Sr. D. JAVIER ARACIL SANTONJA,
en el Acto de su recepción como Académico Numerario
celebrado el día 21 de Noviembre de 1995*

Excelentísimo Señor Presidente de la Academia,
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores Académicos,
Señoras y Señores,

Es para mí un honor y una satisfacción encontrarme aquí cumpliendo con lo preceptuado para el ingreso en la Real Academia Sevillana de Ciencias. En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento a quienes han depositado su confianza en mí y han hecho posible esta incorporación. Considero un motivo especial de orgullo el integrarme en una institución de la que forman parte personas por las que siento el mayor respeto académico y estima personal. He sido llamado por mi condición de ingeniero, y voy a formar parte de lo que habéis denominado Sección de Tecnología (a mí me hubiese gustado más Técnica, por lo que diré luego) en una Academia de Ciencias. De ello parece desprenderse que se espera que una parte considerable de mi participación se dedique a las relaciones de la ingeniería con la ciencia, e inevitablemente también con la técnica. Ingeniería, ciencia y técnica cubren dominios autónomos, entre los que existen fronteras que implican, a la vez, contacto y separación. Por todo ello resulta natural que dedique ésta aportación inicial a analizar la primera de esas tres esferas del quehacer humano, con especial referencia a la zona que linda los bordes con las otras dos. Además, para referirme a un caso concreto, trataré, aunque sea someramente, del área de la ingeniería en la que se desarrolla mi actividad: la automática, que nos suministrará un ejemplo de cómo desenvolverse entre esas sutiles demarcaciones. Este es el plan que paso a desarrollar, sin dilapidar más tiempo en preámbulos, ya que el hecho de ser una plaza de nueva creación me libera del tradicional elogio al anterior ocupante.

El término ingeniería se usa, al menos, en dos sentidos. En uno amplio, se refiere a todas las actividades propias de los ingenieros. En el restringido, a los trabajos de una oficina técnica que lleva a cabo el estudio completo de un proyecto industrial, de un sistema de comunicación o transporte, etcétera. Estas dos acepciones se

hallan emparentadas, y así, mientras la primera hace alusión a una función social que se ha decantado a lo largo del tiempo en una profesión, la segunda se refiere a una forma concreta de manifestarse ésta. Aquí nos ocuparemos fundamentalmente de la primera. Partiremos de que la ingeniería es lo que hacen los ingenieros, por lo que la cuestión se traslada a la de qué son los ingenieros y de cómo han aparecido.

Cuando hablamos de ingenieros todo el mundo sabe a qué nos referimos, al menos en principio. Ciertos profesionales que conciben, proyectan, construyen y gestionan la explotación eficiente de obras públicas, máquinas, procesos productivos, sistemas de control, redes de comunicaciones, centrales energéticas, sistemas de regadíos, y un largo etcétera. Sería vana la pretensión de una definición extensiva de la ingeniería, aunque en todas sus labores encontramos un rasgo común: se trata de ingeniar objetos artificiales con los que reducir la dependencia directa de los seres humanos con respecto a ciertas vicisitudes a las que los somete la naturaleza. Para la realización de esas actividades los ingenieros recurren a todos los conocimientos disponibles respecto a los ámbitos correspondientes, y entre ellos encuentran un lugar preeminente los que suministra la ciencia. Eso es así hasta el punto de que es frecuente encontrar definiciones de la ingeniería que la reducen a la aplicación del conocimiento científico. Frente a esa acepción se encuentra la de los que proponen que lo específico de la ingeniería no es la mera aplicación de la ciencia, sino la concepción de ingenios artificiales¹ (algo que previamente no existía) de los que se pretende alguna forma de utilidad. En lo que sigue voy a argumentar en favor de esta segunda acepción. En la otra está implícita una cierta subordinación, al menos conceptual, que priva a la ingeniería de su autonomía y especificidad.

En este orden de cosas es notable que el término ingeniería esté asociado a una facultad del espíritu humano (posiblemente sea la única profesión en la que ocurre algo análogo). En su etimología latina *ingenium* viene de *geno*. Este término tiene dos valores: por una parte alude a lo innato, a lo natural; por otra a la invención, a la capacidad de generar. Estos dos valores se reúnen en la idea según la cual el *ingenio* es un conjunto de cualidades innatas que, por su propia naturaleza, nos llevan a resolver determinadas dificultades mediante la habilidosa concepción de instrumentos o dispositivos adecuados al caso. Esta facultad se ha vinculado con el quehacer de los ingenieros y está en la base de la consideración de la ingeniería como invención, como concepción, como innovación.

Pero antes de buscar precisiones a esas definiciones vamos a evocar un rápido bosquejo de la historia de la ingeniería, que nos ayude a comprender cómo aparecen

1. Puede pensarse que se cae en un círculo vicioso al definir los artefactos como lo que hacen los ingenieros, y los ingenieros como los que hacen los artefactos. Sin embargo, ese círculo vicioso es más aparente que real, pues históricamente los ingenieros se han ocupado de un cierto tipo de artefactos, que son los que han definido el campo profesional de los ingenieros. Este campo ha variado a lo largo de la historia. En tiempos antiguos se limitaba a las obras públicas. En la actualidad comprende un área muy vasta, que incluye no sólo el aspecto físico de los artefactos, sino también cuestiones de organización y de información. Por ello el concepto de objeto artificial hay que entenderlo en un sentido muy amplio, que incluya no sólo la materialidad del objeto sino aspectos de organización, especialmente en sistemas complejos.

y qué hacen los ingenieros. La primera de las ramas que aparece históricamente es la ingeniería civil, dedicada a la construcción de obras públicas, monumentos y vías de comunicación. Se menciona al egipcio Imhotep como el primer ingeniero de nombre conocido, constructor de la pirámide de Saqqara, cerca de Menfis, en torno al año 2550 a.C. Los logros de la ingeniería civil en las antiguas civilizaciones nos causan aún hoy profunda admiración, y se cuentan entre las más admirables manifestaciones del genio del género humano.

Por otra parte, en el mundo griego encontramos en las actividades de los mecánicos helenos otro tipo de manifestaciones diferentes, aunque de naturaleza análoga. Con los elementales recursos que suministraba la incipiente tecnología mecánica concibieron y realizaron ingeniosos artilugios para resolver las más básicas necesidades o incluso artefactos ornamentales. La figura más notable posiblemente sea Arquímedes, que desarrolló legendarias maquinarias de guerra y mecanismos de naturaleza muy variada. En una fase posterior del helenismo, en la Escuela de Alejandría, nos encontramos con nombres como los de Tsebios y Herón. No hay constancia de que estas actividades estuviesen asociadas a un cuerpo profesional diferenciado como, por ejemplo, existía ya entonces con los médicos. Sin embargo, sí hay un rasgo común que caracteriza ese modo de actividad y que gira en torno a la imaginación, la invención y la habilidad para llevar a la práctica sus concepciones. Notas que estaban llamadas a ser los rasgos que definen la especificidad de la ingeniería.

Los romanos desarrollaron importantes obras de ingeniería, especialmente en sus obras hidráulicas, y nos legaron un texto esencial para el conocimiento de la técnica de la antigüedad: el de Vitrubio².

Durante la Edad Media se registran las primeras voces en las que se insinúa el término «ingeniero». Así encontramos vocablos como *ingeniator*, *ingeniarius*, *ingeniosus* y otros análogos. Con todos ellos se alude a artesanos especializados en la concepción de máquinas, y particularmente de máquinas bélicas, aunque también de artificios auxiliares para la construcción de iglesias y obras públicas.

Al final de la Edad Media se inicia un complejo proceso en el que el declinar del régimen feudal y el ascenso de la naciente burguesía, creada en los núcleos urbanos en torno a actividades mercantiles, establece las bases de un proceso de singular importancia: el Renacimiento. La burguesía es una clase rica y activa que fomenta la producción industrial y la circulación de bienes. Ello implica la aparición de un nuevo espíritu en el que la actividad práctica adquiere un sensible desarrollo. Se produce un retorno a la «realidad», como reacción a las tendencias marcadamente especulativas que habían dominado los tiempos medievales (no sin atisbos de renovación que precisamente en el Renacimiento se plasmarían). Las aportaciones de los geómetras sobre la perspectiva y las disecciones anatómicas suministran nuevos elementos a los pintores y son ejemplos de la nueva forma de enfrentarse a lo real que traen los tiempos. Empieza a ponerse de manifiesto el interés por lograr descripcio-

2. Entre otras, existe una versión facsímil del *Compendio de los diez libros de Architectura de Vitrubio*, por Claudio Perrault, traducción de Joseph Castañeda, precedida por un estudio de J. Bérchez Gómez, realizada en 1981 por el Consejo Regional de Murcia.

nes matemáticas de los objetos que pueblan el mundo. La geometría entra a formar parte de la formación de los arquitectos o de los diseñadores de máquinas de guerra. Por otra parte, la aritmética es la base primordial de las actividades contables de los mercaderes. La pretensión de disponer de descripciones de la realidad más eficientes condujo a promocionar los medios humanos para alcanzarlas: la experiencia y los procedimientos racionales. El hombre tiende a convertirse en la medida de las cosas, en el sentido de que pretende construir una imagen del mundo basada en los datos que le suministran sus propias facultades, de modo que deje de concebir la existencia de verdades más allá de lo que pueda aprender de su contacto con la realidad. La importancia que todo ello iba a tener para la ingeniería es considerable, ya que para ésta, al pretender transformar determinados aspectos del mundo físico, la concepción que se tenga de lo que éste sea será fundamental a la hora de realizar esa transformación. No hay que olvidar, sin embargo, que la ciencia a fines del siglo XV no contenía todavía más que elementos muy dispares. Las matemáticas se encontraban poco desarrolladas y no se utilizaban más que en ciertos casos límites. La física se reducía prácticamente a la astronomía.

Una figura especialmente representativa de esta época es la de Leonardo da Vinci que es tanto un artista como un ingeniero y posiblemente también un científico (aunque sobre esto último no haya un acuerdo unánime). Aparte de su obra propiamente artística, lo que nos interesa aquí resaltar es su curiosidad inagotable y su confianza exclusiva en aquello que experimentaba directamente con sus ojos. No le interesaban los libros, sino la realidad. Diseccionó cadáveres, para explorar los secretos del cuerpo humano; sondeó los misterios del desarrollo del feto en el seno materno; concibió juguetes mecánicos y efectos especiales para las representaciones escénicas; ejerció como ingeniero militar en la concepción de fortificaciones y canales, así como de armas y nuevos artificios; ideó incluso una fallida máquina voladora como resultado de sus observaciones del vuelo de insectos y pájaros. En él puede verse el prototipo de un espíritu abierto y universal, entre cuyas inquietudes no faltaron las propias de un ingeniero.

Según se va consolidando el Renacimiento se va, a su vez, perfilando la figura del ingeniero que, en esa época, es fundamentalmente un ingeniero militar, especialista en fortificaciones³ y en artificios bélicos, y que desempeña también funciones relacionadas con las obras públicas. Se trata de creadores, más o menos independientes, que ponen sus habilidades al servicio de reyes y príncipes. Hay que añadir que los ingenieros del Renacimiento no llegan a ser promotores de un verdadero progreso técnico.

En esta época arte y técnica se encuentran íntimamente entrelazados, hasta el punto de poderse confundir. El ingeniero del Renacimiento es a la vez artista, artesano y militar. Esta relación entre arte y técnica se ilustra con el hecho de que la distinción entre lo que hoy conocemos como ingenieros, por una parte, y como ar-

3. Cristobal de Rojas, *Tres tratados sobre fortificación y milicia*, CEHOPU, MOPU, 1985; B. Gille, *Les ingénieurs de la Renaissance*, Hermann, 1964.

quitectos, por otra, no estaba claramente definida. Era frecuente que la misma persona desempeñase las dos funciones. A veces se produce un cierto atisbo de separación, al asignarse al arquitecto la concepción del edificio y a los ingenieros la de las máquinas con que se lleva a efecto. Sin embargo, esta separación no es clara y, como sabemos, los ingenieros diseñan edificios aún en la actualidad. Posiblemente la diferencia entre arquitectos e ingenieros civiles haya que buscarla en la crítica a la que someten sus invenciones unos y otros. En los arquitectos prevalece una crítica estética, mientras que en los ingenieros prima una racional⁴. Los unos buscan la belleza de sus proyectos, mientras que los otros pretenden su funcionalidad, su adecuación a los objetivos para los que han sido concebidos. De este modo se van definiendo los perfiles propios de la ingeniería⁵.

Otra distinción que resulta interesante traer a colación es la que tiene lugar entre la actividad técnica propia de los ingenieros y la de los artesanos. Inicialmente, los ingenieros parecen ocuparse de ingenios militares y de obras públicas de cierta envergadura, mientras que las labores de los artesanos parecen estar más orientadas hacia lo que hoy conocemos como actividad industrial. La labor de los artesanos es, más bien, técnica, en el sentido de conocer las reglas que permiten resolver determinados problemas, mientras que el ingeniero se ocupa de concebir artefactos, para cuya construcción, sin embargo, requerirá los recursos técnicos del artesano. Hasta el siglo XIX estas actividades artesanales no adquieren el grado de desarrollo y elaboración que invita a que sean asumidas por ingenieros⁶. Corresponde a las Escuelas de Artes y Oficios decimonónicas el haber desarrollado esa transición, sobre la que volveremos más adelante.

Los tiempos que siguen al Renacimiento, los siglos XVI y XVII, son un tanto confusos. Son los tiempos de la Reforma y Contrarreforma, que ahogan a Europa en largas y sangrientas guerras de religión. En ellos, sin embargo, sigue su curso la historia de la técnica y continúan asentándose las bases para lo que será la ciencia moderna. Estos movimientos incipientes cristalizarán en el siglo siguiente, en el XVIII, que es una época que tiene un especial interés en nuestra historia, pues entonces se fragua el ingeniero, en el sentido moderno del término. Por ello conviene que nos detengamos un poco en ella.

El siglo XVIII es el siglo de las Luces, de la Ilustración o la Edad de la Razón, como también se conoce. Se trata de una época de un esplendoroso florecimiento en la historia de la humanidad, cuyos resplandores aún nos alumbran (con su inevitable complemento de deslumbramientos). La Ilustración es un proceso complejo que presenta múltiples facetas, entre las que si hubiera que resaltar alguna sería la preten-

4. La bifurcación entre ingenieros y arquitectos guarda cierta analogía con la que se produce en el mundo griego al someter el mito a la crítica racional, dando lugar a la filosofía, y a la crítica estética, produciendo la literatura.

5. Es notable que en la actualidad se esté produciendo una nueva aproximación entre la ingeniería y el arte gracias a la informática.

6. Durante el XIX se produce el desdoblamiento de las labores del artesano en las propiamente manuales, que se destinan a los obreros, y en las de concepción que en su nivel superior quedan en manos de los ingenieros.

sión de desarrollar un sistema de valores basado en la autonomía del hombre mediante el ejercicio de su razón. Entre otras cosas, el movimiento ilustrado produce un programa de renovación social. La Ilustración promueve la transición de la teoría a la práctica, de la disquisición especulativa a la acción reformadora, tanto en la vida pública como en la privada. Los ilustrados consiguen que sus ideas se hagan realidad mediante un extraño y contradictorio maridaje con el poder real, el despotismo ilustrado, que representa una alianza entre el espíritu ilustrado y la monarquía absoluta.

El catálogo de reformas generales que pretenden llevar a cabo aquellos países que desean estar a la altura de la Ilustración incluye, entre otras cosas, la promoción de la industria, el fomento del comercio interior mediante la eliminación de barreras comerciales y el desarrollo de vías de comunicación, y el establecimiento de una administración moderna. Para ello se requieren profesionales preparados. Sin embargo, la universidad no es capaz de afrontar el reto y aportarlos. Por ello, la acción gubernamental se vio obligada a promover una serie de instituciones renovadoras, especialmente las Academias y centros análogos. Deben mencionarse también, en España, las Sociedades Patrióticas o Económicas de Amigos del País⁷ (hay instituciones análogas en el resto de los países europeos). Hubo algunos intentos de renovar la universidad española, y uno de los más notables se promovió precisamente aquí en Sevilla, con el Plan General de Estudios del Asistente Pablo Olavide que, como es sabido, no se llevó a la práctica.

Entre los profesionales llamados a llevar a cabo el programa ilustrado pronto se vio que los ingenieros podían jugar un papel considerable. Hasta tal punto que la formación de ingenieros se convierte en uno de los instrumentos capitales para el desarrollo del programa. Se parte de los ingenieros militares⁸, que poseían una sólida reputación profesional (basta considerar, por ejemplo, aquí en Sevilla, la Fábrica de Tabacos) y se trata de reconvertirlos en ingenieros propiamente civiles. Francia juega un papel especialmente relevante en este proceso al crear una serie de Escuelas de Ingenieros⁹. La más conocida de las pioneras es la *École des Ponts et Chaussées* fundada, en el reinado de Luis XV, por Jean Rodolphe Perronet. Las actividades de esta Escuela ponen de manifiesto lo que, en la segunda mitad del siglo XVIII, se estima que debe ser la actividad propia del ingeniero. En primer lugar, concebir y representar las obras que se tiene intención de ejecutar. Después, poner los medios para llevarlas a buen término. En esta Escuela participa un grupo de españoles, dirigidos por Agustín de Betancourt, que fueron becados en 1785 y permanecieron en París hasta 1791. Este grupo recibe el encargo de Floridablanca de la creación, en España, de una Escuela de Caminos y Canales a imagen y semejanza de aquella¹⁰.

7. Carlos III y la ciencia de la Ilustración, M. Sellés, J.L. Peset y A. Lafuente (compiladores), Alianza, 1988.

8. H. Capel y otros., *De Palas a Minerva*, Ediciones del Serbal, 1988.

9. En 1718 se crea la *École des Ingenieurs*, en 1747 la *École des Ponts et Chaussées*, en 1765 la *École du Genie Marin*, y en 1778 la *École des Mines*.

10. Sebastián Padrón Acosta, *El ingeniero Agustín de Béthencourt y Molina*, Instituto de Estudios Canarios,

Ese grupo fue también el núcleo del Real Gabinete de Máquinas instalado en el Palacio del Buen Retiro de Madrid¹¹. Gabinete que es el precedente del Real Conservatorio de Artes y Oficios, que se fundaría más tarde en 1826.

La formación de los ingenieros en la Escuela de Perronet tiene un carácter fundamentalmente pragmático, con una fuerte componente artística. Este punto de vista es cuestionado durante la Revolución Francesa, que propugna un ingeniero que sea más sabio que artista, por lo que se crea, por la Convención, la *École Polytechnique*, el 11 de Marzo de 1794, a partir de una iniciativa de Carnot y de Monge. De este modo, se produce un cambio transcendental en la formación de los ingenieros, a partir del cual el cálculo tiende a sustituir al arte, por lo que empezaron a recibir una educación sistemática de métodos matemáticos y científicos¹².

No es difícil ver componentes ideológicos de corte cientifista en ese cambio. La Escuela, que se denominó inicialmente *École Centrale des Travaux Publics* y pretendió subsumir la de Perronet, incluía una enseñanza científica por parte de profesores que se contaban entre los más grandes matemáticos, físicos y químicos de la época. Ejercieron en ella como profesores Lagrange, Laplace, Monge y Berthollet, y estudiaron Biot, Gay-Lussac, Cauchy, Fresnel y Navier.

A finales del XVIII, los ingenieros se pueden clasificar en tres grandes grupos. En primer lugar, los ingenieros propiamente militares, cuya labor fundamental es la construcción y fortificación de plazas. En segundo lugar, los ingenieros navales, que se ocupan de los asuntos náuticos, tanto en su vertiente militar como civil. Y por último, los ingenieros civiles y los de minas, que se ocupan del trazado de las grandes rutas, de la construcción de puentes y canales, de la explotación de las minas, etc. Sin embargo, además de ingenieros para los cuerpos del Estado, se necesitaban otros que dirigiesen la industrialización que se estaba gestando. A principios de siglo XIX el relativo retraso industrial de los países en los que se estaba iniciando la revolución industrial se atribuye a la ausencia de una formación regulada para los ingenieros con destino a la industria privada. Años antes, en 1780, previendo esta necesidad, el duque de la Rochefoucauld-Liancourt había creado la *École des Enfants de l'Armée*, que en 1795 se fusiona con centros análogos para crear un centro de formación profesional, con una enseñanza basada sobre el taller-escuela. Ello da lugar en 1805 a la *École d'Arts et Métiers*, según un modelo que se extiende por toda Francia. Con independencia de esta experiencia se crea en 1829, por iniciativa de los

1958; A. Bogoliúbov, *Agustin de Betancourt*, Seminarios y Ediciones, S.A., 1973; A. Rumeu de Armas, *Ciencia y Tecnología en la España Ilustrada*, Turner, 1980; José A. García-Diego, *En busca de Betancourt y Lanz*, Castalia, 1985.

11. Véase A. Rumeu de Armas, *El Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro*, Castalia, 1990; J.L. Peñalver, *Descripción de las Máquinas del Real Gabinete*, Ed. de J. Fernández Pérez e I. González Tascón, Ediciones Doce Calles, 1991; *Escritos de López de Peñalver*, Edición y estudio preliminar de Ernest Lluch, Antoni Bosch, 1992.

12. La razón de haber incluido aquí la historia de los ingenieros en Francia, y no la de otros países también interesantes, como Inglaterra o Alemania, reside precisamente en que es en Francia donde se produce la inflexión hacia la ciencia en la formación de los ingenieros.

medios industriales, la *École Centrale des Arts et Manufactures*, en la que se trata de formar a profesionales para la industria, ya muy cercanos a lo que hoy en España conocemos como ingenieros industriales. Esta *École Centrale* nace con la pretensión de distanciarse de la *École Polytechnique*. Con ella se trata de compensar la deficiencia de ingenieros en la industria privada y, al mismo tiempo, de contrarrestar el poder que el monopolio de los cuerpos de ingenieros confiere al Estado.

La tendencia cientifista estaba llamada a consolidarse a lo largo del siglo XIX, en el que se acentúa la enseñanza de la ingeniería sobre sólidas bases científicas y teóricas, aunque sea sacrificando ciertos rasgos del pragmatismo ilustrado que formaron parte del acervo de la ingeniería en la segunda mitad del XVIII¹³. El sistema francés de Escuelas de Ingenieros fue adoptado, con variantes más o menos acusadas, prácticamente por el resto de la Europa continental y, en particular, por España. La excepción a esta tendencia se produce en Inglaterra donde el ingeniero permanece más apegado a la práctica, mientras que el francés y, en general, los ingenieros continentales, sufren un sesgo considerable hacia la teoría. Inglaterra adopta una vía propia para la formación de ingenieros como sucede, por otra parte, con el resto de su enseñanza universitaria.

Por lo que respecta a España, en 1802 se crea la Escuela de Caminos y Canales, por Agustín de Betancourt, aunque con carácter efímero¹⁴. Años después, en 1826, se funda el Real Conservatorio de Artes y Oficios de Madrid, con Juan López de Peñalver como Director, que está en el origen de las Escuelas de Ingenieros Industriales¹⁵. Posteriormente, en 1836, se reabre la Escuela de Caminos, y entre esa fecha y mediados de siglo tiene lugar la creación de las Escuelas de Ingenieros decimonónicas.

Los ingenieros, en la época que estamos comentando, tenían una formación en la que dominaba la mecánica, tanto en sus vertientes de ingeniería civil como de máquinas. También poseían conocimientos de metalurgia y de química¹⁶.

A lo largo del siglo XIX se produce la incorporación de las actividades industriales ligadas a la electricidad al patrimonio de la ingeniería. Por otra parte, las explotaciones agrícolas y la gestión de los recursos naturales empiezan también a ser objeto de atención por estos profesionales. Por último, ya en el siglo XX, la información y la organización se incorporan a los campos de actuación de los ingenieros¹⁷.

* * *

13. Education, *Technology and Industrial Performance in Europe, 1850-1939*, R. Fox y A. Guagnini Eds., Cambridge University Press, 1993.

14. F. Sáenz Ridruejo, *Los ingenieros de Caminos*, Colegio de Ingenieros de Caminos, 1993.

15. J.M. Alonso-Viguera, *La ingeniería Industrial Española en el siglo XIX*, Colegio de Ingenieros Industriales de Andalucía, 1994.

16. Aunque estos últimos más orientados hacia la propia metalurgia que hacia los procesos de la industria química, tal como los conocemos en la actualidad.

17. VV. AA. *Breve historia de la ingeniería española*, Dossat, 1950; *La ingeniería española en el siglo XX*, G. Millán y otros, Fundación Juan March, 1984.

La cristalización de la profesión de ingeniero, a lo largo del siglo XVIII, no es ajena al desarrollo científico, entre otras cosas porque la ciencia aporta el marco conceptual para describir el mundo físico, sobre el que aquel actúa. La ingeniería ilustrada se gesta al calor de la nueva concepción científica del mundo. Una parte considerable de la ingeniería moderna se realiza sobre un sustrato de ciencia. Por ello aparecen juntas, tantas veces, la ciencia y la ingeniería, lo que puede hacer que haya cierta tendencia a confundirlas. No obstante, el reconocimiento de la deuda que la ingeniería tiene con la ciencia, no excluye la necesidad de definir un ámbito propio para la primera, estableciendo las claras diferencias entre esas dos formas de actividad humana. En lo que sigue, y tras reconocer esa aportación fundamental de la ciencia a la ingeniería, voy a ocuparme de resaltar sus diferencias para, de ese modo, destacar lo específico de la ingeniería.

La ciencia surge de la satisfacción sistemática de una actitud innata en el hombre: la curiosidad. Para saciarla tratamos de entender cómo es el mundo, de obtener descripciones razonables de su comportamiento, y de contestar al inagotable reguero de preguntas que nos suscita. La ciencia ha producido una singular acumulación de conocimientos, de un tipo muy especial, que es el conocimiento científico y que constituye uno de los mayores monumentos de los que el ser humano puede sentirse legítimamente orgulloso. Con la ciencia se sacia la curiosidad, aunque no se obtenga necesariamente ninguna utilidad; su justificación última reside en el placer que se siente al hacer inteligible el mundo. Se acaba de deslizar la palabra utilidad. Con ella estamos aludiendo a un dominio de naturaleza diferente, como es el de la técnica. La ciencia es desinteresada, al tratar de satisfacer fundamentalmente el afán de saber. La técnica, por el contrario, no lo es; es intrínsecamente interesada (surge con una meta, un interés: la resolución sistemática de un clase de problemas prácticos). La ingeniería, a su vez, trata de entrelazar esos conocimientos en la síntesis de un proyecto que conducirá a un ingenio artificial.

La ciencia responde a un designio: la voluntad de establecer un saber con validez universal. El conocimiento científico es el tipo de conocimiento mejor y más elaborado que tenemos, ya que lo hemos sometido a un complejo proceso de contrastación. Sin embargo, no es el único conocimiento del que disponemos, y es importante que tomemos nota de ello, porque ante determinados problemas complejos, en ausencia de conocimientos científicos, debemos adoptar otras formas de conocimiento, más heurístico, pero no por ello menos útil. Lo contrario sería caer en el cientifismo, que es una forma de fundamentalismo que afirma dogmáticamente la autoridad omnímoda del conocimiento científico y que produce una desproporcionada confianza en él¹⁸.

La base del conocimiento científico es el rigor, la contrastación, la búsqueda de una forma de saber de naturaleza tal que sea insensible a la especulación. Su arma fundamental es el análisis crítico de las diferentes propuestas para explicar la reali-

18. Se habla también de cientifismo para referirse a lo que tiene la falsa pretensión de ser científico, al recurrir a la ciencia de forma ilegítima.

dad; análisis crítico mediante la contrastación con los datos experimentales; y mediante la búsqueda de la coherencia interna de esos conocimientos. Esa coherencia es, para muchos, el factor esencial del placer de saber. Sin embargo, no está exenta de peligros, y su postulación radical no deja de ser un supuesto metafísico, aunque sea un importante motor de la actividad científica.

La imagen del mundo que nos aporta la ciencia constituye la mejor descripción de la que disponemos del mundo físico y biológico, y suministra la base sobre la que el ingeniero tiene que diseñar su actuación sobre él. Sin embargo, no podemos permitirnos olvidar que esa descripción, con ser la mejor, no puede pretender agotar la realidad (ni siquiera tener carácter definitivo). Una actitud crítica ante la ciencia nos lleva a que tengamos que rechazar la idea de que los seres humanos, mediante la facultad de la razón, poseamos una afinidad especial con la naturaleza intrínseca de las cosas que nos permita captarla en su integridad, independientemente del lenguaje en el que se realizan las correspondientes descripciones; esa capacidad sería diferente, y de naturaleza superior, a la mera adecuación de medios y fines, que ya se da en los animales superiores, y en la que los técnicos son expertos. Al tener que descartar la existencia de esa aptitud mediante la cual la ciencia adquiriría un papel desvelador de la realidad última, ésta adquiere un carácter más local, más descriptivo, más fenomenológico, menos global. Y ello, si bien se piensa, nos lleva a reconsiderar determinadas posiciones aceptadas en ciertos medios respecto a las relaciones entre la ciencia y la técnica.

* * *

Antes de analizar esas relaciones, conviene que nos detengamos un poco en la técnica. Desde una perspectiva antropológica, la técnica es una parte sustancial del proceso de hominización. Si bien entre los primates más evolucionados se han detectado indicios rudimentarios del empleo de herramientas, especialmente para conseguir alimentos, el proceso de hominización se identifica, en gran medida, con el desarrollo de las técnicas. Es posible encontrar sociedades humanas sin instituciones jurídicas o políticas, pero nunca sin actividades técnicas. Para conseguir alimentos los homínidos cazaban y pescaban, auxiliándose con los primeros instrumentos técnicos de los que tenemos vestigios: hachas de pedernal, puntas de flechas y lanzas, y anzuelos. Al avanzar la prehistoria se encuentran otras manifestaciones de la actividad técnica del hombre, como son la cerámica y la construcción de habitáculos y templos, los primeros atisbos de una actividad textil, la metalurgia y las artes de navegar. Desde la más remota antigüedad el hombre desarrolla actividades técnicas¹⁹.

Cuando hablamos de la técnica hay una cierta tendencia a pensar en sus productos: los artefactos. Sin embargo, la técnica es básicamente conocimiento humano: conocimiento acerca de cómo hacer ciertas cosas o resolver determinados problemas; conocimiento al que hay que sumar una considerable dosis de habilidad para hacer-

19. L. Mumford, *Técnica y Civilización*, Alianza, 1971.

lo efectivo. En todo caso, una técnica es algo adquirido y no innato. La técnica pertenece al ámbito de la cultura, de lo que podría ser de otra forma; y no al de la naturaleza, de lo que está biológicamente determinado por la herencia.

Una posible definición de una técnica consiste en considerarla como un sistema de reglas intencionalmente orientadas a dirigir una actuación con el fin de conseguir de forma eficiente un resultado útil²⁰. A estas reglas hay que sumar la habilidad al aplicarlas. En esta definición conviene resaltar la importancia que adquiere la eficiencia, o adecuación racional de medios a fines, y la exigencia de utilidad.

Se han propuesto diferentes clasificaciones de las técnicas. Se puede decir que hay una técnica relativa a cada actividad. Se habla de la técnica de un pintor, de técnica musical, de la técnica matemática en la resolución de un problema, de una técnica nemotécnica, de técnica jurídica, de técnica de laboratorio, etc. Las que nos interesan a nosotros son aquellas ligadas a la actividad del ingeniero mediante las que tienen lugar unas ciertas actuaciones sobre el mundo físico; por ejemplo las técnicas de producción de electricidad, de construcción de carreteras o de cultivo del trigo. La importancia de estas técnicas es tal que cuando se alude a la técnica se sobrentiende que es al conjunto de estas técnicas a lo que nos estamos refiriendo.

El arquetipo de una técnica es una receta. De una receta no podemos decir que sea verdad o mentira; sí que es eficaz o no. En esta simple contraposición podemos ver con claridad la diferencia entre ciencia y técnica. La ciencia busca la verdad; la técnica, la eficacia. Lo que sucede es que nos gustaría que las recetas estuviesen fundamentadas en la ciencia; que las actuaciones que proponen estuviesen basadas, o al menos fuesen consistentes, con el conocimiento científico. Y ahí es donde empieza la relación entre ciencia y técnica.

Pero al mismo tiempo que se ponen de manifiesto los vínculos entre ciencia y técnica, también lo hace la diferencia entre ellas. La ciencia tiene como objetivo la constitución de un saber, es decir de un cuerpo de enunciados aceptados como verdaderos en la medida en que su veracidad puede ser contrastada, al menos potencialmente, por todo el mundo. Por su parte, la técnica tiene como objetivo la satisfacción de una necesidad humana, individual o colectiva. La ciencia produce ideas, mientras que la técnica genera soluciones a problemas, a veces en forma de objetos útiles.

Una investigación técnica se basa necesariamente sobre hechos universalmente reproducibles, por lo que podría considerarse que caen dentro de la categoría de científicos. Pero la organización que dirige esta investigación normalmente la mantendrá en secreto, en contradicción con la exigencia de transparencia sobre la que se fundamenta lo científico. Puede incluso ocurrir que en una de estas investigaciones se encuentren resultados científicamente interesantes, pero carentes de interés práctico. En tal caso sucedería que el relativo fracaso en lo técnico se vería compensado por un éxito científico.

20. Esta definición es una variante de la propuesta por Miguel A. Quintanilla, «Bases para la filosofía de la técnica», *Arbor*, Marzo, 1988, 11-28.

El investigador científico no sabe de antemano lo que va a descubrir, o verificar, aunque posea algún tipo de intuición que le dirija en su búsqueda. Por el contrario, el técnico sí sabe lo que trata de hacer, la meta que pretende alcanzar. El científico parte del hecho de que si logra resolver el problema que se ha planteado hará una contribución al conocimiento, contribución que, en el peor de los casos, tendrá un valor pequeño, pero nunca negativo. Esta contribución es posible que sea de utilidad para el técnico, pero normalmente es imposible predecir de antemano el interés práctico de un resultado científico.

La perfección de una actividad técnica hay que buscarla en cada caso particular (por buena que sea la regla en la que esté basada, si no se aplica diestramente de poco nos sirve); mientras que la perfección científica se basa en la capacidad de desenvolverse en ámbitos universales, válidos, en principio, siempre y para todo. Ciencia y técnica, por tanto, no proceden de acuerdo con los mismos esquemas, ya que una trata de lo universal, general y abstracto, y la otra de lo singular, particular y concreto.

Para terminar este apartado sobre la técnica voy a hacer una digresión terminológica, que tiene también su interés para el análisis de las relaciones entre ciencia y técnica. El uso, en español, de la voces «técnica» y «tecnología» ha sufrido profundas modificaciones en estos últimos años. Tradicionalmente se ha empleado el término «técnica» para referirse al modo de quehacer humano del que nos estamos ocupando. En España existen Universidades Politécnicas y Escuelas Técnicas. Ortega escribió una *Meditación de la Técnica* y García Bacca, más recientemente, un *Elogio de la Técnica*²¹. Para la gente de mi edad la colección Ciencia y Técnica, de Espasa-Calpe, constituyó, en su día, una ventana de valor incalculable. Si consultamos la literatura de unos pocos decenios atrás veremos que «técnica» es siempre el sustantivo empleado para aludir al modo de actividad humana que estamos comentando. El término «tecnología» aparecía siempre adjetivado. En nuestras Escuelas existían (y existen todavía) asignaturas de *Tecnología química* o de *Tecnología mecánica*; Caro Baroja escribió un tratado sobre *Tecnología Popular Española*²².

En esa misma época se proponía otra acepción para tecnología, como disciplina dedicada al estudio sistemático y racional de los procedimientos técnicos. Esta definición parece adaptarse bastante bien a la etimología. De acuerdo con ella la tecnología sería una disciplina que se ocuparía de la técnica; ahora algunos preferirían decir que sería una ciencia de la técnica. Se definiría así un ámbito de reflexión propio de lo técnico. Lamentablemente esta acepción no ha conseguido una aceptación consolidada.

Sin embargo, hoy ha hecho fortuna en algunos medios la propuesta de emplear el término tecnología para aludir a la técnica con base científica (en la que los modos de actuación correspondientes tengan la sanción de la ciencia, cuando no han sido

21. J.D. García Bacca, *Elogio de la Técnica*, Anthropos, 1987.

22. J. Caro Baroja, *Tecnología Popular Española*, Editora Nacional, Madrid, 1983.

directamente inspirados por ella). Algunos autores incluso definen la tecnología como la aplicación de la ciencia a la técnica, o como la ciencia aplicada. Esta acepción de tecnología es relativamente reciente. No estoy convencido de que esa propuesta clarifique el panorama; aparte de que crea confusión, al alterar un uso tradicional y bien asentado. Si se piensa bien se verá que detrás de esa propuesta subyace la negación de un ámbito específico de cierta entidad intelectual para lo técnico. Parece decirsenos: hay una técnica superior, basada en la ciencia, a la que enfáticamente se llama tecnología, y una técnica menor (la del fontanero) formada por recetas sin base alguna, en todo caso cercanas a un arte, para la que se reserva esa denominación. Esta distinción presupone que existe una clara demarcación entre estas dos formas de hacer técnica (supuesto que se inserta en una forma de pensamiento dicotómico que considero inaceptable, pero que ahora no puedo detenerme a analizar). Abundando en ello cabe mencionar la introducción, incluso en escritos oficiales, del término «tecnólogo» sobre cuya cursilería no vale la pena insistir demasiado²³. No faltará quien vea en estos usos terminológicos rescoldos de las sociológicamente mal resueltas relaciones entre científicos e ingenieros.

En la actualidad se registra una clara tendencia a usar «técnica» y «tecnología» como sinónimos y posiblemente sea esa la salida que acabe por imponerse²⁴ ya que en las cosas del lenguaje es el uso el que acaba dictando sus propias leyes. Yo, sin embargo, me voy a permitir seguir usando, en este discurso, la vieja y querida palabra con la que me familiaricé en mi juventud (el progreso no consiste en cambiar palabras).

* * *

Hemos visto, a grandes rasgos, cómo aparecen históricamente los ingenieros. Además, hemos analizado las relaciones entre ciencia y técnica. Con todos esos elementos estamos ya en disposición de tener una mejor visión de la ingeniería y decir que es un modo de actividad que consiste en concebir, construir y explotar objetos artificiales con el fin de modificar nuestro entorno para adaptarlo mejor a nuestras necesidades y hacer más cómoda y placentera nuestra vida. Estos objetos artificiales pueden ser materiales y tangibles, como son los objetos tradicionales de la técnica, en los que aparentemente sólo se procesa materia y energía, o formas de organización y representaciones simbólicas, en las que la información juega un papel dominante. Por ello, en la anterior definición además de los aspectos energéticos y materiales, como tradicionalmente se ha hecho, deben tenerse en cuenta la información y la organización, cuya creciente importancia para la ingeniería actual es bien patente. También hay que tener presentes las cuestiones relacionadas con la finitud de los recursos y la degradación del medio ambiente, que establecen límites insoslayables a nuestras posibilidades de actuación sobre la naturaleza.

23. Me refiero a su uso para designar a la persona del técnico, no a otros usos, como cuando se alude en un proyecto a la empresa que aporta la tecnología, de naturaleza concreta, para determinado proceso.

24. Como, por otra parte, ha sucedido en otros casos, como con los términos «método» y «metodología».

En todo caso, la labor propia del ingeniero le lleva a tener que desarrollar una doble capacidad: anticipar y calcular. El ingeniero debe estar dotado de la capacidad de concebir la combinación de medios que permitirán alcanzar un objetivo determinado. Concibe aquello que luego producirá, de modo que en la ingeniería es esencial la noción de concepción, de diseño, de proyecto²⁵. Un proyecto es algo que debemos construir en nuestra mente antes de hacerlo en la realidad. Al concebir debemos auxiliarnos de instrumentos adecuados que nos permitan gestar en la mente, en el papel, y hoy en día, cada vez más, en el computador, el objeto artificial al que se pretende dar el ser²⁶. La descripción de aquello que se proyecta, atendiendo a su funcionamiento, y a los objetivos que se pretenden alcanzar, constituye uno de los principales instrumentos de la actividad de inventar y diseñar.

En todo proyecto se integran, mediante la capacidad creadora del proyectista, elementos de distinta naturaleza. Lo peculiar del ingeniero es relacionar mediante un acto de creación las formas, los materiales, las fuerzas, los comportamientos, las figuras, las magnitudes heterogéneas con el fin de producir efectos preconcebidos. Se ocupa de cómo deben ser las cosas para que funcionen adecuadamente de acuerdo con los fines que se persiguen. Ello presupone, entre otras cosas, la aplicación de principios generales y científicos a un caso singular. Se tienen que conocer las propiedades de los elementos que se manejan, y ese conocimiento, normalmente, lo suministra la ciencia. La construcción de máquinas, cuyo funcionamiento puede pervertirse, ya que las leyes que las regulan son las leyes de la física, constituye un logro del que científico se siente partícipe. Pero la labor del ingeniero, ni mucho menos, se limita a ese conocimiento: en cierto sentido, empieza a partir de él. Aporta una síntesis, que le lleva a un producto artificial (en un sentido amplio), que es el resultado de su actuación genuina como ingeniero.

La aportación metodológica de la ingeniería es la síntesis, de modo análogo a como el análisis pudiera serlo de la ciencia. La síntesis, en el ámbito de la ingeniería, es sinónimo de concepción. Se concibe un proyecto y se instrumentan los medios para llevarlo a la práctica, lo que no quiere decir que el ingeniero no deba emplear el análisis para conocer el problema que tiene que resolver; es obvio que sí²⁷. Sin embargo, es en la búsqueda de una síntesis de las distintas posibilidades que se le presentan para resolverlo donde adquiere sus rasgos característicos.

Es verdad que no todos los ingenieros se dedican a actividades creativas (ni tampoco todos los científicos a desarrollar teorías científicas). Pero si tratamos de definir lo específico de la ingeniería tenemos que convenir que se encuentra en la concepción de lo que de una forma genérica podemos denominar un objeto artificial mediante el cual resolver un determinado problema. El común denominador de la

25. Se considera el término «proyecto» en su acepción más amplia de plan que se idea para realizar algo que se tiene la intención de hacer. En un sentido análogo se emplea «diseño».

26. H.A. Simon, *The Sciences of the Artificial*, The MIT Press, 1981.

27. De manera similar a como en la labor del científico es posible encontrar una labor de síntesis de datos y conocimientos teóricos.

ingeniería reside en la capacidad de diseñar, de concebir, de modo que estos diseños estén subordinados a un principio de racionalidad con relación a los objetivos propuestos. Estos objetivos tienen una fuerte componente funcional, por oposición, por ejemplo, a la componente estética propia de otras actividades en las que están también involucrados proyectos como sucede en la arquitectura y, en general, en las bellas artes. El artista ha sido dotado de la capacidad de organizar formas y colores de manera conveniente para satisfacer nuestra sensibilidad estética; el ingeniero organiza también pero sometido a un principio de racionalidad y eficiencia en el producto que resulta de su labor²⁸.

Al resaltar el carácter de síntesis de la labor del ingeniero, hemos introducido nuevos elementos de diferenciación con la del científico. Otra forma de ver esta disparidad está en considerar que en tanto el interés del científico se dirige hacia lo natural, el ingeniero se desenvuelve en el ámbito de lo artificial. La ciencia pretende ocuparse de las cosas *como son* (hasta el punto de que a veces invade un terreno que durante milenios ha pretendido para sí el filósofo: la ontología). La ingeniería (de manera análoga a la gestión de empresas, la arquitectura, o incluso la medicina) no se ocupa de cómo son las cosas, sino de cómo se puede actuar sobre ellas y modificarlas, para hacerlas más aptas a nuestros propósitos; es decir, de diseñar o proyectar, de modo que organizando cosas que conocemos razonablemente bien alcancemos a disponer de otras artificiales que previamente no existían. Es claro que se tiene que partir de una buena descripción de cómo son las cosas, lo que supone una cierta concepción de qué es la realidad, porque si no no se será capaz de hacer nada consistente con ella. La concepción moderna de qué es la realidad se forja a partir del siglo XVIII con un fuerte influjo de la ciencia. Pero esa descripción es sólo su punto de partida. Es a partir de ella cuando empieza el ingeniero a aportar lo que le es genuino.

Estas cuestiones metodológicas nos llevan al meollo de la ingeniería y permiten aclarar la distancia que media entre ella y la aplicación, más o menos banal, de algunas leyes naturales (como supone la concepción de la ingeniería como ciencia aplicada). El ingeniero utiliza la ciencia, pero en ella *no está implícito* el concebir ingenios útiles. Hacer brotar esa posibilidad es precisamente una de sus labores²⁹.

Las leyes científicas se refieren a la naturaleza mientras que las de la ingeniería, si existieran, tendrían que ocuparse de la concepción y de la racionalidad en la explotación de los recursos. No tendrían como objetivo el ayudar al hombre a comprender el universo, sino suministrarle una base racional a partir de la cual innovar y ac-

28. No hay que olvidar que incluso en la labor del científico se encuentran componentes estéticos. Por ejemplo, Steven Weinberg en *El sueño de una teoría final* reclama la elegancia y la simplicidad como factores estéticos determinantes en la aceptación de la teoría de la relatividad generalizada, aún antes de que los resultados experimentales la sancionasen definitivamente.

29. Decimos que los agujeros negros están implícitos en la teoría de la relatividad generalizada, ya que de los supuestos de esa teoría se desprende su existencia; pero, ¿en que teoría está implícito un artefacto como un avión o un robot?

tuar. Se trata, por tanto, no sólo de una diferencia de ideas, sino de valores: *saber* y *hacer* muestran la diferencia fundamental de las motivaciones del científico y del ingeniero.

El ingeniero, que tiene una vocación básica de resolver problemas, se tiene que enfrentar con muchos que no son conocidos por el científico (al cual, además, posiblemente no interesen). Además de ciertas cuestiones de orden práctico, al científico, por ejemplo, no le afectan los problemas de los costes del producto en el mercado (no así los de financiación de sus investigaciones, pero ese es otro tema). El ingeniero no puede perder nunca de vista que ha sido contratado para que su empresa consiga unos beneficios y que, si no es así, su labor se verá cuestionada. No puede permitirse el especular por cuenta de su empresa.

Para acabar con estas consideraciones generales sobre la ingeniería, conviene recordar que la ingeniería requiere el concurso de la técnica para su realización. Lo artificial, después de haber sido concebido, tiene que ser construido, realizado o implantado. A lo largo del proyecto se produce una adaptación de los medios a un fin. Desde sus primeras etapas debe haber una idea motriz que se traduzca en un plan detallado de actuación. Los ingenios que concibe un ingeniero necesitan, para llevarse a cabo, el concurso de los recursos que suministran las diferentes tecnologías. Así, la tecnología mecánica le aporta los instrumentos para concebir un ingenio mecánico, al tiempo que le hace explícitas sus limitaciones, y análogamente para todas las ramas de la ingeniería. De este modo se comprende el interés fundamental de las técnicas para la ingeniería. Las ideas deben materializarse bajo la forma de proyectos, que a su vez se apoyan sobre técnicas que permiten alcanzar los objetivos propuestos. Por ello no es extraño que los centros universitarios donde se forman los ingenieros se llamen Universidades Politécnicas o Escuelas Técnicas.

Pero, al mismo tiempo se ponen también de manifiesto las diferencias entre la actividad puramente técnica y la propia del ingeniero. La primera trata de aplicar recetas conocidas a problemas concretos. El buen técnico es aquel que ante un problema bien definido conoce, y sabe utilizar, el procedimiento apropiado para resolverlo. Sin embargo, el ingeniero además de emplear esas recetas, cuando realiza la labor por la que genuinamente lo es, introduce un elemento de novedad, de innovación, en la síntesis que realiza, y que es lo que da el valor a su trabajo. Los ingenieros deben hacer compatible un control riguroso de lo que hacen (el conocimiento de las propiedades y de las reglas de funcionamiento de aquellos elementos que se integran en lo que están concibiendo) con la innovación (con la necesidad de novedad), lo que pudiera parecer contradictorio. Sin embargo, la exigencia simultánea de estos dos aspectos aparentemente contrapuestos da su impronta a la labor del ingeniero.

Los saberes metodológicos de los ingenieros son teorizables, generalizables y, en consecuencia, pueden aprenderse. Estos saberes, que están estructurados y son transmisibles, forman el cuerpo de lo que como saber sustantivo se transmite en la formación de los ingenieros. El ingeniero se apoya sobre principios racionales y construcciones teóricas para realizar lo que concibe. Estos elementos racionales se han transformado en sistemas coherentes de pensamiento (como pueden ser la teoría

de circuitos o la mecánica de los medios continuos). Algunos organismos burocráticos han reservado la denominación de ciencias de la ingeniería para el conjunto de estos conocimientos. No estoy convencido de que sea una denominación apropiada, ni me siento cómodo con ella. Se está cometiendo un verdadero abuso en denominaciones como las de ciencias de esto o ciencias de lo otro. Posiblemente habría que implantar un mandato que prohibiese el uso del nombre de la ciencia en vano.

* * *

Voy a dedicar la última parte de mi conferencia a comentar la rama de la ingeniería a la que he dedicado mi actividad académica: la automática, y voy a hacerlo limitándome a algunos aspectos muy generales de esta disciplina, sin la menor pretensión de exhaustividad, y prescindiendo de ramas colaterales como la ingeniería de sistemas, la robótica o la llamada inteligencia artificial. Únicamente pretendo ilustrar lo dicho hasta aquí, refiriéndolo a un caso concreto.

A mediados de este siglo se acuña un concepto que estaba llamado a tener una importancia singular: el de información. La imagen que la física clásica pretendía aportar del mundo, basada en último extremo en las nociones de materia y energía, iba a verse profundamente afectada por este nuevo concepto. Todavía recuerdo la profunda sorpresa y admiración que me produjo, de estudiante, el conocimiento de los trabajos de Claude Shannon, que establecían un isomorfismo entre elementales conmutaciones en circuitos eléctricos y las leyes de la lógica. ¿Cómo era posible que una de las más abstractas potencialidades de la mente humana pudiese emularse mediante simples conexiones de conmutadores eléctricos?

El trabajo de Shannon había visto la luz en 1938 y a partir de él el desarrollo de las tecnologías de la información no era más que cuestión de tiempo.

La construcción de máquinas dedicadas al procesamiento de información es una de las grandes novedades, en el ámbito de la técnica, que aporta el siglo XX³⁰. Un computador hace mucho más que calcular con números; es, de hecho un sistema de procesamiento de información, capaz de cálculo simbólico, sin limitarse al dominio numérico. Su influencia sobre nuestro mundo es difícil de exagerar: recuerda, con ventaja, la revolución que se produjo en la difusión del saber en el siglo XVII, con la aparición de la imprenta. De manera análoga, aunque con una potencia considerablemente superior, la difusión de la informática, a finales del siglo XX, está produciendo una nueva revolución en la propagación del conocimiento y en la potenciación de instrumentos intelectuales.

Pero el concepto de información no limita su interés a los aledaños de la informática. También hace su irrupción en la ciencia básica. La biología moderna no se puede concebir sin su concurso. El ser vivo no sólo intercambia con su entorno materia y energía, sino también información. Su propia organización está codifica-

30. Aunque existen máquinas de procesamiento de información en siglos anteriores, hasta el siglo XX no se produce su desarrollo masivo, que llega a caracterizar una época.

da, de modo que el código genético pone de manifiesto la relación íntima entre la información y la esencia misma de la vida. Incluso la física empieza a incorporar este concepto, aunque sea indirectamente mediante la entropía.

Volviendo a los años anteriores a la segunda guerra mundial, en ellos se produce otra aportación singular en este mismo orden de cosas, aunque sea de menor calado. La búsqueda de métodos para el diseño de servomecanismos conduce al desarrollo de una teoría de los sistemas realimentados³¹.

La realimentación suministra una estructura particularmente simple mediante la cual, para gobernar una acción, comparamos lo que deseamos con lo que realmente tenemos y, a partir de la eventual discrepancia entre ambos, decidimos qué hacer. Es una estructura que incorporan todas las máquinas (o los sistemas) que pretenden regular por sí mismas, de forma autónoma, el valor de una magnitud. Por ejemplo, la temperatura de esta habitación se regula comparando, mediante un termostato, el valor que realmente tiene con el deseado, de modo que ante una eventual discrepancia entre ambos se desencadene la actuación de un calefactor.

De esta estructura interesa resaltar el papel que juega en ella la información. Lo que se realimenta es información con relación al estado del sistema, para que comparándola con otra información, la del valor deseado para ese estado, se decida una actuación que se transmite al sistema, a su vez, mediante otra información. El órgano que actúa como regulador se comporta básicamente como un procesador de información. Además sabemos que la introducción de esta estructura en un sistema determinado puede presentar problemas que se derivan, precisamente, de que los retrasos en la transmisión de la información, en una cadena realimentada, dan lugar a desajustes entre la información procesada, las decisiones tomadas, y el estado real del sistema, que producen efectos indeseados en forma de oscilaciones.

El modo de comportamiento de un sistema dotado de realimentación negativa es un comportamiento autorregulador. Ante eventuales perturbaciones externas el sistema genera actuaciones correctoras que las contrarresten, y lo hace debido a los flujos de información implícitos en su estructura. Por tanto, el modo de comportamiento del sistema viene determinado por la estructura, entendida como modo de organizarse las partes en el sistema, y no por la naturaleza física de las partes componentes. Este es un hecho que no debe ser subestimado, y que muestra cómo podemos explicar el comportamiento exclusivamente a partir de la estructura, prescindiendo de la naturaleza (de la materialidad) de los componentes. La información y la organización son los elementos claves en esa explicación del comportamiento.

Corresponde a Norbert Wiener el haber puesto de manifiesto la ubicuidad de la realimentación negativa. De hecho, el hablar de realimentación se ha hecho común, cuando hace pocas generaciones ese concepto era desconocido. Wiener organizó sus

31. En realidad el análisis de los sistemas realimentados con métodos matemáticos se inicia en el siglo XIX. Una muestra notable de ello es el famoso estudio de James C. Maxwell sobre el regulador a bolas de Watt. Sin embargo, hasta la época que estamos comentando no se desarrolla una teoría general de los ingenios dotados de realimentación que subsuma los métodos prácticos de diseño aceptados en los medios profesionales.

ideas en lo que denominó cibernética³². Este es un término hoy en relativo desuso, aunque no así el cuerpo de conocimiento del que pretendía ocuparse: el control y la comunicación en el animal y en la máquina. La necesidad de control (de gobierno) presupone la interacción de un sistema (el que se quiere gobernar) con su entorno (que le afecta y perturba con sus sollicitaciones). Para gobernar el sistema, el agente decisor necesita información sobre esas interacciones y sobre sus efectos sobre el sistema. Esta información la integra en un modelo, más o menos explícito, que constituye el elemento esencial para el procesamiento de información que conduce a la toma de decisiones. Cuando lo que controlamos es una máquina, entonces estamos en el dominio de la automática, pero la pretensión de Wiener era el mostrar la universalidad del esquema básico de control, mediante la estructura de realimentación y los otros conceptos involucrados en el proceso.

La automática suministra una muestra de una tecnología moderna en la que se ponen especialmente de manifiesto los rasgos de la ingeniería a los que he dedicado el cuerpo de este discurso. El ingeniero especialista en automática tiene que realizar una síntesis entre elementos de naturaleza muy variada para conseguir el objetivo que persigue: el funcionamiento autónomo de las máquinas o los sistemas, cuyo control se le ha encomendado. Su labor no reside únicamente en conocer tal o cual tecnología, correspondiente a los elementos componentes que forman el proceso que pretende controlar, sino en la síntesis, en la conjunción de estos elementos articulados mediante la información. Este requerimiento de síntesis se pone aún más de manifiesto si se considera la robótica, verdadera encrucijada de tecnologías.

Los problemas que se le presentan al ingeniero en automática son variados. El más interesante posiblemente sea el dotarse de herramientas adecuadas para representar aquello que trata de diseñar: el comportamiento de los sistemas (de forma análoga a como el ingeniero clásico necesitaba representar mediante esquemas y planos las relaciones espaciales de las máquinas o edificios que proyectaba). Para la representación de algo tan sutil recurre a los instrumentos que le suministra la teoría matemática de sistemas dinámicos.

Esta teoría surge de una especialización de la rama de las matemáticas aplicadas que se ocupa de las ecuaciones diferenciales. Sin embargo, pronto se comprende que admite una formulación autónoma y general que permite considerar el caso de las ecuaciones diferenciales como un caso particular. Se ha desarrollado una amplia variedad de formas de descripción de sistemas dinámicos según se consideren espacios de estados, o bases de tiempo, continuos o discretos; descripciones de los elementos que intervienen en la descripción de diferentes niveles de precisión; y vínculos entre esos elementos de tipo determinista, estocástico o borroso. En todos los casos, la teoría de sistemas dinámicos pretende aportar esquemas conceptuales mediante los cuales representar cómo se genera la transformación del estado de un sistema a lo largo del tiempo, teniendo presentes las sollicitaciones a las que está sometido.

32. N. Wiener, *Cybernetics*, The MIT Press, 1961.

La teoría de sistemas permite analizar las relaciones entre estructura y comportamiento, entendiendo éste último como evolución en el tiempo de los atributos del sistema correspondiente. En lo tocante a comportamientos hemos aprendido a estudiar tanto aspectos cuantitativos como cualitativos. Con relación a estos últimos disponemos de una teoría cualitativa de los sistemas dinámicos³³, con ramificaciones tan sugerentes como la teoría de bifurcaciones y la del caos (en donde hemos encontrado formalmente límites a nuestra capacidad de predicción en sistemas deterministas, al tiempo que hemos descubierto cómo aun en esos sistemas pueden emerger innovaciones)³⁴. El concepto de sistema dinámico se ha convertido en una herramienta a la que los matemáticos han dotado de gran finura, y de la que los ingenieros nos beneficiamos en nuestras labores de modelado. Además, la informática abre posibilidades insospechadas para tratar tanto de lo cuantitativo como de lo cualitativo. La conciliación de estas posibilidades es una cuestión abierta que ofrece prometedoras potencialidades de investigación.

Volviendo de nuevo a los problemas que se le plantean al ingeniero en automática, sucede que para la automatización de máquinas o procesos se requiere disponer de descripciones formalizadas de los correspondientes sistemas, descripciones que se realizan con los instrumentos que suministra la teoría matemática de sistemas dinámicos a la que acabamos de aludir. Estas descripciones dan lugar al modelo del proceso a controlar, en el que está basada, en último término, la toma de decisiones mediante la que se lleva a cabo el control. Sin embargo, resulta notable la variedad de lenguajes de descripción que se pueden emplear y, por tanto, de modelos que se llegan a tener. El ingeniero de control emplea unos u otros según las características concretas del proceso que tiene entre manos, de los objetivos que se pretende cubrir y de su propia experiencia sobre cuál le aportará el lenguaje más adecuado para describir este sistema. Estos modelos no se evalúan por su bondad en cuanto copia del proceso, sino por la efectividad del funcionamiento del sistema de control basado en ellos. Todo ello pone de manifiesto que en la labor de síntesis de estos ingenieros (como, por otra parte, sucede con todas las clases de ellos, más pragmáticos que fundamentalistas) está presente una cierta dosis de pluralismo metodológico sobre la que conviene detenerse un momento.

El mundo no está estructurado de por sí de un modo unívoco. Somos nosotros los que hemos desarrollado esquemas conceptuales de los que nos valemos para organizar nuestra percepción del mundo. El sistema dinámico, con todas sus variedades, es uno de ellos (en realidad, un conjunto de ellos). En este orden de cosas viene a colación una observación histórica. El propio concepto de sistema dinámico, en su versión original, se origina en el campo de la mecánica teórica y pretende suministrar el lenguaje que permitiría describir la realidad a partir de la hipótesis básica de

33. Estos comentarios se refieren especialmente a los sistemas dinámicos con un espacio de estados continuo.

34. Las consecuencias de estos descubrimientos aún no han sido completamente exploradas, pero es posible que en las fisuras del pretendidamente compacto edificio de la ciencia determinista se manifiesten grados de libertad en los que la actividad creadora del ingeniero pueda encontrar cabida.

que está formada por partículas materiales. En el primer tercio de este siglo se desecha definitivamente esa pretensión por inviable con los medios de la mecánica clásica y se desarrollan otros instrumentos para describir la realidad fundamental. Sin embargo, este relativo fracaso se produjo en paralelo con una verdadera eclosión en las aplicaciones del concepto clásico de sistema dinámico que pasó a emplearse en campos tan variados como la teoría de circuitos, la dinámica de poblaciones, la economía teórica o la propia teoría de los sistemas realimentados. El concepto de sistema dinámico resultó aplicable en todos los campos en los que se tuviesen procesos que se describiesen mediante magnitudes que varían a lo largo del tiempo, siempre que además existiese una regla que gobernase este cambio.

Con la mera adopción analógica del lenguaje creado por los teóricos de la mecánica se descarta explícitamente el reduccionismo mecanicista, y se pasa a adoptar un criterio pragmático para la descripción de las situaciones en las que se produce la variación de las magnitudes involucradas. La transcendencia de este paso no puede ser infravalorada. Se pone de manifiesto cómo en la captación de la realidad, mediante una descripción, el lenguaje en el que ésta se realiza empieza a cobrar un especial relieve. Con ello se abandona la pretensión de alcanzar una descripción que reproduzca de forma transparente la naturaleza íntima de las cosas para contentarse con otra que emule su funcionamiento a los efectos que a nosotros nos interesan. Algunos puede que vean en este paso una claudicación, pero otros, más conscientes de las propias limitaciones de nuestro intelecto, verán en ello una superación de las limitaciones de una ontología reductivamente fisicalista. Empleamos un instrumento construido por nosotros, el sistema dinámico³⁵, para resolver problemas en ámbitos variados de la realidad. Se emplean sus posibilidades como *un* lenguaje para describir aspectos de nuestra experiencia, abandonando las pretensiones de que sea *el* lenguaje en el que *está* escrita. La reflexión sobre estas cuestiones suscita interesantes problemas filosóficos e ilustra cuestiones de pluralismo epistemológico de indudable actualidad e interés³⁶.

No faltará quien vea en la aceptación del pluralismo metodológico una renuncia ante la noble virtud de la obstinación en la búsqueda de la verdad. Pero el ámbito en el que es posible encontrarla es estrecho, y nosotros los ingenieros no podemos retirarnos a un laboratorio a investigar sino que tenemos que asumir la realidad con toda su desbordante complejidad. El científico puede decidir la parcela de la realidad a la que va a dedicar sus esfuerzos y limitarse a ella; el ingeniero, por el contrario, tiene que enfrentarse con la realidad sobre la que tiene que actuar teniendo presentes sus múltiples facetas. Ello le lleva inevitablemente a que tener que adoptar una metodología abierta y pluralista³⁷.

35. Que posee además diferentes formalismos matemáticos, que corresponden a diferentes conceptualizaciones de la realidad.

36. H. Putnam, *The many faces of realism*, Open Court, 1987. Versión española *Las mil caras del realismo* en Ediciones Paidós, 1994.

37. I. Berlin, *El fuste torcido de la humanidad*, Península, 1992.

Dejando estas digresiones y volviendo al núcleo de la automática, hemos visto cómo, con la incorporación de la información, la descripción de los procesos, cuya ingeniería debemos concebir, adquiere una nueva dimensión. En esta descripción, tan importantes son los aspectos energéticos y materiales que forman el substrato del proceso, como su control, que se desenvuelve a un nivel en el que lo relevante es la información. Aunque ésta requiera de un soporte físico que la transporte, posee una naturaleza radicalmente diferente a él. De este modo nos vemos forzados a incorporar a los dos conceptos básicos que la ciencia clásica nos había suministrado, los de materia y energía, el nuevo de información, que aunque estamos empezando a manejar con alguna soltura, aún no acabamos de entender bien. Las relaciones entre información y conceptos clásicos como el de entropía, el propio concepto de control, con su estructura de realimentación subyacente y los mecanismos adaptativos involucrados, y otros aún no formalizados unívocamente, pero que no tenemos más remedio que emplear, como el de complejidad, forman un ámbito de conocimiento que aunque no hayamos sido capaces de estructurar coherentemente todavía, está en un estado de efervescencia llamado a cristalizar en una disciplina que cabe aventurar que nos permita comprender cómo se produce el gobierno de los sistemas mediante el procesamiento de información. Lo que está sucediendo recuerda a lo que sucedió hace más de dos siglos con la máquina de vapor y la termodinámica. En automática estamos haciendo ingeniería careciendo de la ciencia correspondiente, por lo que tenemos que crearla al mismo tiempo. Puede que resulte estimulante a los jóvenes científicos el saber que ante sus ojos se está desarrollando un ámbito en el que la técnica, una vez más, antecede a la ciencia³⁸.

* * *

Ya va siendo hora de recapitular. Hemos visto cómo los ingenieros, tal como hoy los entendemos, aparecen en el siglo XVIII. Este es un siglo rico en acontecimientos en el que, en gran medida, se establecen las bases de los tiempos modernos. Del legado de ese siglo debemos retener el mandato de atrevernos a ser adultos en un mundo sin referencias precisas, en donde la medida del hombre sea el valor con el que asuma su propia libertad, ejercitando sus facultades, y muy en especial la razón, sin el apoyo de espejismos y referencias exteriores, pero evitando, al mismo tiempo, sufrir el deslumbramiento de nuestros propios productos intelectuales. Ese siglo nos ha dejado un imperativo de universalismo, del que la ciencia es uno de sus mentores. Junto a ese universalismo, origen de algunos deslumbramientos, hoy surge un inevitable pluralismo. Conciliar pluralismo y universalismo es uno de los retos con los que nos encontramos en este fin de siglo.

El que científicos, técnicos e ingenieros utilicemos conceptos e instrumentos análogos puede inducir a que se nos confunda. Sin embargo, como espero haber puesto de manifiesto, tenemos modos de actividad bien diferenciados. Científicos e

38. G. Bassalla, *La evolución de la tecnología*, Crítica, 1991.

ingenieros hemos ido muchas veces de la mano, y podemos aprender mucho unos de otros. A lo largo de nuestra historia, los ingenieros hemos tenido que desarrollar unas aptitudes diferentes a las vuestras y en las que una dosificada mezcla de escepticismo y pragmatismo, edulcoradas con una conveniente dosis de optimismo (pues sino, bajo el solo peso de aquellos dos difícilmente seríamos hombres de acción), creo que son los ingredientes dominantes. Vosotros, por vuestra parte, habéis desarrollado una forma de racionalidad para la búsqueda de la verdad (de enunciados con un sólido nivel de contrastación y, por ello, de aceptación) mediante el rigor en la crítica. Por ello tenemos que aprender de vosotros, de lo que sabéis y del rigor de vuestro método de trabajo, pero nuestros problemas son otros. Nuestro problema es hacer cosas, y hacerlas bien. Posiblemente se me dirá que para hacer hace falta saber, y que con ello entramos en el dominio propio de la ciencia. Pero, ¿podemos olvidar que el propio hacer plantea preguntas a las que el saber establecido muchas veces deja sin respuesta? ¿Que entonces el hacer se convierte en un reto para el saber? ¿Y que, en todo caso, para hacer hace falta algo más que saber? Podemos decir que saber y hacer actúan, a la vez, como causa y efecto el uno del otro, estableciéndose una causalidad circular que los realimenta al tiempo que respeta su mutua autonomía, sin subordinaciones metodológicas. Satisfacer la curiosidad y la utilidad son las dos caras de la moneda con la que unos y otros contribuimos, empleando con distintos fines instrumentos análogos, a ese complejo quehacer, con luces y sombras, que hemos venido en llamar progreso de la humanidad.

DISCURSO PRONUNCIADO POR EL EXCMO. SR. D. JUAN MANUEL MARTÍNEZ MORENO

*Académico Numerario,
en contestación al leído por el
Excmo. Sr. D. JAVIER ARACIL SANTONJA,
en el Acto de su recepción como Académico Numerario
celebrado el día 21 de Noviembre de 1995*

Excmas. y Dignísimas Autoridades, Ilmos. Sres. Académicos, Sras. y Sres.:

La Real Academia Sevillana de Ciencias me ha honrado encargándome de contestar al discurso de ingreso que acaba de leer el Excmo. Sr. D. Javier Aracil Santonja. He agradecido mucho esta distinción, no sólo por tratarse de una figura señera de nuestro profesorado universitario, con quien he colaborado en algunas investigaciones y a quien me unen, desde hace muchos años, una buena amistad y aficiones comunes, cual la de la música clásica, sino porque él es el primer académico que ingresa en la sección de Tecnología creada recientemente por nuestra Academia.

El Dr. Aracil es persona muy importante en este campo, como demuestra su denso «currículum vitae», del que paso a dar noticia con la brevedad a que me obliga el tiempo disponible.

Nacido en Alcoy (Alicante) el 24 de Septiembre de 1941, Javier Aracil Santonja hizo sus estudios superiores en la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, alcanzando el grado de Doctor Ingeniero Industrial, con Premio Extraordinario en 1969 y el de Licenciado en Informática en 1972. Tras los años reglamentarios de Profesor Ayudante, Profesor Adjunto y encargado de cátedra, obtuvo por oposición su Cátedra del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla en 1973.

Ha sido director de su Departamento (1987-93), Secretario-Administrador de la Escuela (1971-72), Subdirector (1972-74) y Director (1974-76) de la misma, y Vicerrector de la Universidad de Sevilla en 1982 y 1983. Toda una experiencia administrativa que sin duda ha contribuido a su profundo conocimiento de los problemas de la enseñanza superior.

Es muy notable la serie de sus textos universitarios, que se inicia con «Practique de l'automatisation integree», escrita en colaboración con los profesores Pun y Abbatut y publicada por Dunot en 1974, seguida, en versión española, por la Editorial Alhambra y poco después en versión inglesa, por la North Holland. Le siguen varios otros libros del autor: «Introducción a la dinámica de sistemas», del que se hacen dos ediciones: la de Alianza Editorial de 1978 y su traducción al francés (Lyon, 1984); «Lecturas sobre dinámica de sistemas», publicado por la Subsecretaría de Planificación en 1977; «Máquinas, modelos y sistemas» (Edit. Tecnos, 1986); «Dinámica de sistemas» (ISDEFE, 1995) y, por Aracil y M. Toro, «Métodos cualitativos en dinámica de sistemas» (Universidad de Sevilla, 1993). Todo ello acredita su gran personalidad docente, no limitada al ámbito de nuestro país.

La trayectoria investigadora del profesor Aracil se inicia, como es habitual, con estancias en centros extranjeros: la Ecole Supérieure d'électricité de París, el Laboratoire d'automatique et analyse des sistemas, de Toulouse y la Thayer school of engineering del Dartmouth College de Estados Unidos, continuando en su propio Departamento, donde dirige numerosas Tesis de doctorado que se desenvuelven, principalmente, en torno a las aplicaciones de la teoría de sistemas dinámicos al modelado y control de los mismos, con aportaciones originales que merecieron el *premio internacional «Jay W. Forrester»* de 1986, y más recientemente, en 1990, el importante premio «Maimodes» de Andalucía.

El Dr. Aracil es miembro de los comités editoriales de las revistas internacionales *System Dynamics*, *Analyse de Systemas*, y *Revue Internationale de Systematique*, y fue coordinador de la *Comisión de Ciencias Fisiconaturales y Tecnología de la EXPO'92 de Sevilla*. En 1982 se incorporó como numerario a la Real Academia de Medicina de Sevilla y muy recientemente ha sido elegido miembro de la Academia de Ingenieros de España, en Madrid.

En el campo de la industria privada ha realizado una amplia labor de colaboración y asesoramiento en proyectos industriales, mediante contratos con empresas, como la Compañía Sevillana de Electricidad, Telefónica, Presier y otras. Es miembro fundador de la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía.

Vemos pues, como se diría en el «argot» de la afición futbolística, que el Profesor Aracil es un magnífico «fichaje» de nuestra Academia, que espera mucho de él. Acabamos de recibir el primer fruto de su actividad académica: su discurso de ingreso, al que ha dado lectura con el título «Elogio de la ingeniería». Nada más oportuno en momentos como éste en los que inicia su vida la nueva Sección de nuestra Academia a la que hemos llamado, no sin discusión previa, «*Sección de Tecnología*», que nuestro nuevo colega preferiría que se llamase «*Sección de Técnica*», en lo que tal vez no le falte razón. Mis conocimientos lexicológicos no me permiten discutirle este punto; pero sí le puedo asegurar, por haber estado presente en las discusiones, que, si bien se tuvo en cuenta en ellas que el término «tecnología» no suele aplicarse, por ejemplo, a las bellas artes, a las que sí se aplica, en cambio, el de «técnica» (técnica pictórica, técnica pianística) en ningún momento se pensó que por «tecno-

logía» debiera entenderse una especie de «ciencia de la técnica», o de «técnica de base científica», o de «técnica superior», para distinguirla de las «técnicas menores» o artesanales. En mi opinión, modestísima porque no tiene otro origen que el haber tratado mucho del tema por obligaciones profesionales, los significados que comenta Aracil no se emplean prácticamente en lenguaje diario, como tampoco está siendo amplia la aceptación y uso de términos tales como los de «técnico», «ingeniero técnico», «arquitecto técnico», «ayudante técnico sanitario», y otros en los que el adjetivo «técnico» se usa, como si dijéramos en «tono menor».

Falta, en el campo de la técnica, un estudio sociológico tan amplio y al mismo tiempo tan profundo como el realizado durante más de cuarenta años por el Prof. Robert K. Merton de la Universidad Columbia de Nueva York (Ver «Sociología de la ciencia», 2 volúmenes, Alianza Editorial, 1973). Merton encuentra que las características de la ciencia desde el punto de vista social y refiriéndonos siempre a lo que solemos llamar «ciencia pura» son cuatro: «*comunidad o comunismo (¿?)*», «*universalidad*», «*desinterés*» y «*escepticismo organizado*» (para una descripción más detenida ver mi lección en la apertura del curso 1994-95 en la Hermandad Universitaria del Cristo de la Buena Muerte) el motor de esta ciencia pura es la curiosidad del científico, con grandes dotes de laboriosidad y paciencia, y aderezada por el orgullo profesional, con una pizca de vanidad.

Podemos intentar aplicar el estudio sociológico de Merton al dominio de la técnica, sustituyendo las dos características, «*comunidad*» y «*desinterés*», que no son en ellas válidas, por una sola, de doble aplicación: «*utilidad*». Utilidad en los dos sentidos, para el público y para el autor. El instrumento de esta conjunción de utilidades, de esta forma de dar a cada uno lo suyo, es la *patente de invención*, que existe desde hace siglos con diferentes nombres y legislaciones.

La patente de invención viene a ser la unidad de producción técnica, aunque a veces son necesarios grupos o familias de patentes para proteger adecuadamente un tema; pero la patente en este mundo de la propiedad industrial cumple un papel similar al del individuo en las especies animales y vegetales. Según George Basalla, de la Universidad de Delaware, («Evolución de la técnica», Ed. Crítica, 1991) existiría un paralelismo entre la evolución de la técnica y la postulada por Darwin y Wallace, para los seres vivos. La patente de invención sería algo así como el genoma de una máquina o de un procedimiento industrial cuyas sucesivas modificaciones competirían entre sí en su utilización por el público, teniendo lugar la selección de las mejores. De esta manera, el progreso de la técnica estaría asegurado, como el de las especies vivientes, por un mecanismo autónomo donde las variaciones de unas patentes a otras juegan el papel de las «mutaciones» en los seres vivos. A la máquina de Newcomen la sustituye la de Watt y a los trenes atmosféricos la locomotora de Stephenson, por un proceso de selección natural. Pero las ideas, naturalmente, tienen que estar allí...

Ortega y Gasset en su «Meditación de la técnica» (título de cursillo dado en la Universidad Menéndez Pelayo de Santander en el verano de 1933 y publicado más tarde en «La Nación» de Buenos Aires) distingue tres tipos o niveles de técnica:

I. La técnica debida al *azar*, en la que los inventos tienen lugar por casualidad, como probablemente sucedió con la producción de fuego frotando dos trozos de madera, o con la rueda cortando transversalmente un tronco de árbol. Es muy frecuente encontrar el nombre de «*magia*» asociado a este tipo de técnica en las culturas primitivas, tanto en las arcaicas, como en las contemporáneas, mas aunque predomine en estas culturas, no es exclusivo de ellas; un ejemplo reciente podrían ser los antibióticos y otros adelantos de la medicina, por supuesto con no pocas salvedades.

II. La técnica *artesanal*: producción de utensilios o «artefactos», para la caza, las tareas domésticas, el arte, la agricultura, etc. por personas dedicadas principalmente a estas actividades, que transmiten oral y manualmente los conocimientos de padres a hijos y de maestros a discípulos con adelantos que se producen continuamente y de forma imperceptible. Se pueden citar ejemplos descubiertos por los arqueólogos en las cuevas del paleolítico con una antigüedad de más de veinte milenios (último período glacial). En este grupo se pueden incluir también las bellas artes, como ya se ha dicho.

III. La técnica *autoconsciente*. El que la práctica sabe que está produciendo alguna invención útil a los demás e intenta como es lógico, obtener provecho para sí mismo, aunque la pasión por «inventar» le lleve con frecuencia a descuidar este aspecto. Hemos llegado a la etapa *ingenieril* de la técnica, que va a alcanzar su culminación en el siglo XIX cuando la técnica llegará a modificar la geografía con la construcción de grandes canales, como el de Suez, y a cambiar el paisaje, que es la geografía vista de cerca, con la aparición de los ferrocarriles, los hilos del telégrafo y las chimeneas, mientras que el alumbrado eléctrico derrotaba a las tinieblas de la noche.

Especialmente importantes para el desarrollo de la técnica han sido las guerras, sobre todo las que tuvieron lugar entre ejércitos profesionales, a cuyas consecuencias en este terreno no le ha sacado todavía, a mi juicio, la sociología de la técnica todo el fruto que pueden dar. La reciente «guerra fría» entre los EE.UU. y la URSS, es un magnífico ejemplo de cómo la lucha por el poder influye en el progreso técnico. Ortega sitúa el comienzo de esta etapa de la técnica en el Renacimiento. Su «Meditación» está escrita en una fecha que no le permitía conocer los hechos fundamentales que iban a caracterizar lo que muchos creen que es una nueva etapa en la historia de la técnica, separable de las tres que él cita.

IV. Esta cuarta y, por ahora, última etapa se caracteriza por la *fusión completa de la ciencia especulativa y de la técnica* en una sola y única actividad. Fue prevista por el británico Arnold Toynbee en el prólogo de su monumental obra «Estudio de la historia» con palabras muy elegantes: «Ciencia y tecnología son dos sistemas similares, lo que les hace comportarse como una pareja de bailarines que danzan a la misma música, aunque resulte imperceptible quién conduce y quién es llevado».

No es posible asignar una fecha concreta al comienzo de esta cuarta etapa porque, como de las anteriores, se dan ejemplos en épocas muy diversas; pero atendiendo a la frecuencia de estos ejemplos quizás la más adecuada sea la del llamado *pro-*

yecto *Manhattan* en los años 40. En él se conjugaron descubrimientos fundamentales como la ley de Einstein que relaciona energía y masa, con la física de partículas, derivada, a su vez, esencialmente de Plank, y con «inventos» o creaciones geniales como el reactor de Fermi. Los científicos se dan cuenta de la absoluta necesidad de técnica para cualquier realización efectiva y los técnicos comprenden que las leyes «teóricas», como la citada de Einstein, no son meras ilusiones de sabios chalados.

Norbert Wiener, padre de la cibernética, dice en su obra póstuma «Inventar» (traducción española de la Editorial Tusquets de 1995, pg. 111): «Por la época en que se puso a punto la bomba atómica era obvia la conclusión de que la *invención* del mundo futuro dependería en gran medida de la nueva *ciencia*, incluso de una ciencia aun por descubrir». En efecto, después del proyecto Manhattan la ciencia se ha convertido en algo tan imprescindible para la técnica, y viceversa, que ninguna de ellas podría prosperar con independencia de la otra. Los científicos están pendientes de que se construyan gigantescos electroimanes superconductores para poder completar su teoría de partículas elementales y los ingenieros dependen de los matemáticos para los nuevos métodos de cálculo precisos en el proyecto de sistemas complejos. Los ejemplos se pueden multiplicar a voluntad. Son cada día más raros los descubrimientos o invenciones de autores aislados y todos los estudios y realizaciones de alguna importancia van siendo, cada vez en mayor proporción, frutos de una labor de equipos en los que colaboran estrechamente científicos y técnicos.

En los últimos años, el poderío que pueden proporcionar ciencia y técnica unidas se ha mostrado tan gigantesco, que ha hecho perder al progreso en estos sectores gran parte del interés de que disfrutaba en el siglo XIX y principios del XX. Muchas personas sienten hoy más miedo que admiración por la ciencia en su conjunción con la técnica. El clamor popular se alza contra los proyectos descomunales y cada día resultan más atractivas las ciencias, como la *Ecología*, que pretenden conocer y conservar mejor el equilibrio de los seres vivos, entre sí y con su medio ambiental.

* * *

Aracil incluye en su discurso una brevísima historia de la ingeniería en nuestro país. Por recato profesional comprensible y digno de toda alabanza, no canta, pese al título de su discurso, las glorias de la ingeniería en España, o quizás deberíamos decir *de los ingenieros españoles*, ya que nuestro sistema de formación de estos profesionales, inspirado en el de las «grandes écoles» francesas, tiende a hacer una temprana y dura selección de los alumnos mejor dotados, con óptimas consecuencias.

En su libro «Ingenieros egregios» (Edit. Encuentro, 1898), Juan José Alzugaray reúne las biografías abreviadas de un centenar de ingenieros españoles, de todas las épocas que, a su juicio merecen el calificativo poco usual de egregio, y en efecto basta un breve repaso de los nombres seleccionados (ver relación en el apéndice 1) para darse cuenta de que, no sólo merecen tal calificativo todos los incluidos, sino que podría alargarse mucho la lista con plena justificación.

Leer esta obra es como dar un paseo por la historia reciente de España en compañía de algunos de sus hijos más ilustres, y no hacerlo exclusivamente en el campo de la ingeniería, como cabría esperar, sino en actividades tan diversas como la exploración geográfica con Jorge Juan y Santacilia, ingeniero militar; la diplomacia con Areilza, ingeniero industrial; la literatura con Echegaray, ingeniero de caminos; la historia, con Salvador de Madariaga, ingeniero de minas; la política, en fin, con Práxedes Mateo Sagasta, ingeniero de caminos; Fernández Ladreda, militar, López Bravo y Martín Villa, industriales, y tantos y tantos otros hasta nuestros días.

Es una lectura muy especialmente grata para personas de mi generación que, por diversas razones, hemos podido conocer personalmente a muchos de los ilustres ingenieros que el libro menciona e incluso colaborar con algunos, como José María Torroja Miret, astrónomo y geodésico, con quien hice varios viajes al observatorio de Izaña, en Tenerife, o su hermano Eduardo, Director del Instituto de la Construcción en el C.S.I.C., de quien conservo la carta, realmente emocionante, que escribió a sus compañeros y colaboradores del Patronato Juan de la Cierva, cuando, solo en su despacho, sabía que le quedaban pocos minutos de vida.

No es de extrañar que ingenieros españoles hayan desempeñado misiones de alta responsabilidad fuera de nuestro país; ya el fundador de la Escuela de Ingenieros de Caminos, que cita Aracil en su discurso, Agustín Betancourt, en 1808, no queriendo servir al Rey D. José I, marchó a Rusia y allí publicó varios libros en ruso y colaboró directamente con el Zar Alejandro I en la urbanización de San Petersburgo, una de las ciudades más bellas y majestuosas del mundo; otro ingeniero de caminos, José Torán fue presidente de la Asociación Internacional de Grandes Presas en los años en que nuestro país sufría cuarentena internacional, al fin de la segunda Guerra Mundial, y otro de la misma promoción, Mariano Fernández-Bollo hacía por los mismos años el estudio geológico previo a la construcción del túnel bajo el gran San Bernardo. Los ejemplos podrían multiplicarse cuanto se quiera.

En fin, en el campo académico ha habido, de la relación que hemos comentado, dos académicos de la lengua, varios de Ciencias Morales y Políticas y, en lo que respecta a la Real Academia de Ciencias de Madrid, gran parte de su nómina fue siempre cubierta desde su creación por ingenieros, y ha sido presidida por ingenieros más de la mitad (52 %) del tiempo de su existencia.

El autor de «Ingenieros egregios» termina su obra con el sueño romántico de la inauguración por el Rey, en los jardines y dependencias que el ingeniero Sabatini construyó en el palacio de la Plaza de Oriente de Madrid, de una Academia de Ingeniería. Ese sueño se ha vuelto ya realidad, puesto que se ha creado en Madrid una Academia de Ingeniería, y a ella pertenece, con otras ilustres personas, nuestro nuevo miembro el ingeniero D. Javier Aracil Santonja.

He dicho.

Apéndice

Relación de ingenieros cuyas biografías están incluidas en el libro «Ingenieros Egregios» de Juan José Alzugaray:

Abril Martorell, Fernando	Fernández Casado, Carlos
Adaro, Luis	Fernández Ladreda, José María
Aguirre Gonzalo, José María	García Ramal, Enrique
Alfaro Fournier, Heraclio	Godó Valls, Carlos
Alvarez Miranda, Alfonso	Goicoechea, Alejandro
Allende Salazar, Manuel	Herrera, Emilio
Aranguren, Félix	Ibáñez Ibero, carlos
Areilza, José María	Iribarren, Ramón
Arrillaga, Francisco	Juan, Jorge
Arteche, Julio	Laguna, Máximo
Artigas, José Antonio	Lamo Espinosa, Jaime
Azcárraga, Luis	López Bravo, Gregorio
Benjumea Burín, Joaquín	López Letona, José María
Benjumea Burín, Rafael	Lorenzo Pardo, Manuel
Benjumea Puigcerver, Javier	Madariaga, Salvador
Betancourt, Agustín	Mallada, Lucas
Boada, Claudio	Marcilla, Juan
Bosch, Alberto	Marín, Agustín
Cáceres de la Torre, Pablo	Márquez, Manuel
Calvo Sotelo, Leopoldo	Martín Villa, Rodolfo
Cánovas, Cirilo	Marvá, José
Careaga, Pilar	Mateo Sagasta, Práxedes
Castellarnau, Joaquín	Mendoza, Carlos
Cavestany, Rafael	Montesino, Cipriano
Ceballos, Luis	Monturiol, Narciso
Cerdá, Ildefonso	Mortes, Vicente
Cierva, Juan de la	Navarro Reverter, Juan
Colino, Antonio	Orbegozo, José
Coronado, José María	Oriol, José María
Cortázar, Daniel	Otamendi, José María
Chávarri, Víctor	Otamendi, Miguel
Churruca, Evaristo	Otero Navascués, José María
Dou, Alberto	Palacio, Alberto
Echegaray, José	Peña Boef, Alfonso
Elduayen, José	Peral, Isaac
Elhuyar, Fausto	Pinto Silva, Julio
Entrecanales, José	Planell, Joaquín
Fernández Avila, Aureo	Portillo, Alvaro

Puig Adam, Pedro
Rein Segura, Carlos
Remon, Antonio
Ribera, José Eugenio
Rojas, Francisco de Paula
Rotaeche, Jesús
Saavedra, Eduardo
Sabatini, Francisco
Salvador, Amós
Sánchez Terán, Salvador
Soria, Arturo
Soto Redondo, Manuel

Suanzes, José Antonio
Tartiere, José
Terradas, Esteban
Torres Quevedo, Leonardo
Torroja Miret, Eduardo
Torroja Miret, José María
Urgoiti, Nicolás
Urgoiti, Ricardo
Urrutia, Juan
Usabiaga, Juan
Villar Mir, Juan Miguel
Vives, Pedro