Por su gran interés para la ingeniería, la revista ANTENA extracta en estas páginas una parte del discurso que impartió Javier Aracil Santonja en la sesión inaugural del año académico 2012 de la Real Academia de Ingeniería, que se celebró en la sede de la RAI el pasado mes de enero. Este doctor Ingeniero Industrial y licenciado en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid, miembro de la RAI, y autor de numerosas publicaciones, diserta sobre el desarrollo de la técnica y de la ingeniería, dos aspectos cruciales en la evolución y progreso del ser humano.

EN BUSCA DE LA UTILIDAD

La larga marcha del *Homo Faber*

Javier Aracil Santonja,
Doctor Ingeniero Industrial y miembro de la RAI

La vida de los hombres, desde los albores de la humanidad hasta la actualidad, no es concebible sin el concurso, tanto de la técnica como de la ingeniería, que al fin y al cabo no es sino la forma más elaborada de aquella; formada por los picos de la vasta cordillera de la técnica. Así, la ingeniería es uno de los pilares del desarrollo material de la sociedad, por lo que resulta forzosa una reflexión crítica acerca de los fundamentos, características e imagen social de ese modo complejo de quehacer que forma parte del núcleo de la humanidad.

Su gran aportación es su crucial participación en la construcción y engrandecimiento del mundo artificial o humanizado –hecho por y para el hombre–, el cual se ha convertido en una segunda naturaleza para nosotros y en el que nuestra vida se desenvuelve de una forma progresivamente más confortable y longeva. Y los ingenieros somos artífices destacados y necesarios de ese mundo artificial. Es llamativo que hoy, con frecuencia, ese mundo sea desdeñado incluso por aquellos que viven cómodamente instalados en él, beneficiándose con holgura de sus posibilidades.

Desde sus orígenes en tiempos inmemoriales, el hombre ha desplegado una singular capacidad intelectual para detectar las regularidades que observaba en el comportamiento del mundo natural. A partir de los ciclos naturales se pudo organizar la caza migratoria y la agricultura. Con independencia de la explotación de esos ciclos, empezaron incluso a hacer cosas que previamente no existían, y que también presuponían regularidades, como lascas, anzuelos, flechas, lanzas y tantas otras. De este modo, se dotaron de artificios con los que desencadenaron el fascinante proceso que les iba a llevar a ser la especie dominante sobre la Tierra.

En conjunto, estas actividades dieron lugar a la técnica, mediante la cual el hombre ha tratado de obtener el máximo provecho del mundo natural, y así construir ese alarde que es el mundo artificial en el que hoy vivimos, el cual forma una especie de burbuja en cuyo seno nuestra vida ha alcanzado unas cotas de calidad impensables para nuestros ancestros. A partir de un cierto momento, el hombre pretende que de esas regularidades se desprenda un conocimiento sobre el mundo, con el que saciar la curiosidad que suscita la enorme variedad de comportamientos que conforman el mundo natural.

En aquellos tiempos remotos no se había producido la clara diferenciación entre ciencia y técnica, entre otras razones

porque una misma persona solía ejercer ambas (por ejemplo, el primer ingeniero que registra la historia es el egipcio Imhotep, al que se debe la pirámide escalonada de Sahara, y que fue además arquitecto, médico, astrónomo, alto funcionario y sumo sacerdote). De este modo, la doble especialización del conocimiento del mundo natural ha producido dos modos de actividad que distinguen a nuestra especie: la técnica y la ciencia. Aquí nos interesa sobre todo la primera, aunque por razones que se irán viendo, tendremos que ocuparnos de la segunda. Estas dos actividades han adquirido, a lo largo de los tiempos, una creciente especialización y autonomía relativa. Si hay que trazar una divisoria neta entre unas y otras actividades, se puede decir que la primera busca la utilidad, de forma prioritaria, mientras que la segunda persigue el saber desinteresado.

La ingeniería, como la técnica, está inspirada por la búsqueda de lo primordialmente útil. El propio mundo artificial es el resultado acumulativo de la elaboración de lo utilitario. La búsqueda de la utilidad como rasgo distintivo de la técnica dirigirá nuestra argumentación en este discurso. Cuando se habla de técnica sin adjetivar se alude a la que emplean los ingenieros en sus actuaciones sobre el mundo natural para erigir el artificial.

La técnica es indisociable del hombre, y apenas aparece sobre la Tierra el género *Homo* empieza a dejar un rastro de restos líticos que permiten a los antropólogos, en la actualidad, caracterizar al propio género. Desde entonces hasta la actualidad el desarrollo de la técnica es inseparable de la evolución y progreso del hombre. Por eso resulta tan sorprendente oír a menudo que hay que humanizar la técnica: ¡si es precisamente con su concurso y bajo su influjo como nos hemos hecho humanos!

En todo caso, el mundo del pensamiento no parece haberse interesado, con la intensidad que requiere, de lo que *es* la técnica, haciendo justicia al papel fundamental que juega esta forma de quehacer en la vida de cada uno de nosotros y de la propia civilización. Al amplio mundo de la técnica cabe considerarlo también como la naturaleza organizada y reconducida por nosotros para satisfacer nuestras apetencias[2]. El ingeniero contempla la naturaleza como una fuente potencial de recursos para beneficio del ser humano, el cual ha demostrado estar especialmente dotado para sacar provecho del mundo natural.

La Academia Española, en su diccionario, ha definido la ingeniería como el conjunto de conocimientos y técnicas que permiten aplicar el saber científico a la utilización de la materia y de las fuentes de energía. Posiblemente esta definición se ajuste a la percepción que se ha propagado en algunos sectores de qué es la ingeniería. Sin embargo, aquí se va a cuestionar esa acepción de la que se pudiera desprenderse que la ingeniería no es sino la mera aplicación del saber científico, por lo que quedaría reducida a una labor subsidiaria. Por otra parte, no faltan los que dicen que la ciencia y la ingeniería son una misma cosa, tratando de fundir en una unidad dos modos de actuación que poseen una larga tradición independiente, basándose acaso, entre otras cosas, en que ambas hacen un uso intensivo de las matemáticas.

Resulta llamativo que esto suceda en unos tiempos en los que se propugna defender a toda costa la riqueza de la variedad y de la diversidad. Pese al solapamiento y confusión en los términos, ingeniería y ciencia son empresas humanas diferentes. Uno de los pioneros de la ciencia moderna fue Galileo Galilei, cuya obra fundamental (*Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias)* se ocupa precisamente de dos ciencias básicas para la ingeniería, como son la resistencia de materiales y la dinámica. Además, Galileo mostró una especial admiración por los métodos cuantitativos de los artesanos de los astilleros de Venecia, en los que proponía buscar la inspiración para el método con el que los filósofos abordasen el estudio del mundo natural. Debido al papel desempeñado por Galileo en la génesis de la ciencia moderna, esta propuesta invita a pensar que el nacimiento de la ciencia física no es ajeno a la aplicación a los problemas que suscitaba la filosofía natural de los métodos cuantitativos y geométricos

«La ingeniería, como la técnica, está inspirada por la búsqueda de lo primordialmente útil»

inspirados en los de los artesanos. No debe olvidarse que los científicos –este término no se acuña hasta el siglo XIX– son descendientes por línea directa de los filósofos naturales. En aquellos tiempos memorables de Galileo se podía ser a la vez filósofo, científico e ingeniero, y más cosas, sin incurrir en inconsistencias y con aportaciones originales a cada uno de esos campos.

Sobre el mundo occidental pesa con persistencia la herencia platónica de que las ideas tienen una entidad superior a las propias cosas, tal como las percibimos. Algunos matemáticos y físicos teóricos han adoptado esta forma de ver el mundo.

En la actividad de los científicos suele estar presente este supuesto, aunque ellos no siempre lo hagan explícito. La pretensión de los científicos sería alcanzar una descripción del mundo que lo explicase, haciéndolo inteligible. El científico aspira a que esa descripción del mundo sea lo más comprensiva posible, que abarque a todo lo que puebla el universo. El ingeniero es más modesto en sus pretensiones; no trata de saber cómo es el mundo en toda su amplitud, sino que sólo necesita saber en el ámbito limitado en el que actúa para hacer una transformación parcial en él —la que compete a su especialidad—.

El término ciencia se emplea a veces como un comodín para designar actividades muy variadas que incluyen la medicina, la propia ingeniería y también otras muchas actividades que pretenden arrogarse el crédito alcanzado por la ciencia. Así, la aventura espacial, incluida la visita a la Luna, se considera con frecuencia como un triunfo de la ciencia, olvidando o minusvalorando el papel de la ingeniería. Pues si bien ha contado con precursores como Tsiolkovski, Obert y Goddard, no se hubiese llevado a cabo sin ingenieros como Koroliov y von Braun. Algo análogo puede decirse de las demás ramas de la ingeniería moderna. La imagen mecanicista del mundo formado por partes que interactúan de acuerdo con los principios de la mecánica racional está en el origen de una visión del mundo gobernado por la razón, que posee una subyacente y engañosa simplicidad.

¿En dónde reside la diferencia entre ingeniería y ciencia? Por citar algo concreto, es cierto que la fuente de todo conocimiento, sea científico o ingenieril, es siempre la experimentación procesada por la razón y a ser posible también por las matemáticas. Pero la propia experimentación adquiere un carácter distinto en el método que se aplica en uno y otro campo. El científico pretende con sus experimentos (intervenciones artificiales, al fin y al cabo) alterar lo mínimo posible el curso natural de las cosas, pues trata precisamente de reproducir el fenómeno que pretende estudiar y con ello contribuir a analizarlo; mientras que el ingeniero persigue el alterar el propio acontecer natural con el fin de obtener algún provecho mediante esa modificación.

El científico, aunque le interese un problema concreto, lo estudiará sin renunciar a obtener de él un saber que sea universal; en tanto que el ingeniero se interesa por un asunto concreto como objetivo primario de su trabajo de naturaleza utilitaria. El primero se aísla con la cuestión que le ocupa en su gabinete o en su laboratorio; mientras que el segundo aborda su problema inserto en el complejo entramado de lo económico y lo social, cuyas repercusiones son capitales para él.

Los ingenieros actúan incluso en ausencia de una comprensión científica que sea a la vez completa y exhaustiva de los fenómenos naturales implicados en sus proyectos. Los inventores carecen de la paciencia de los científicos. Cuando el tiempo es lo que falta no es posible permitirse el lujo de una investigación prolongada para obtener una solución intelectualmente elegante. Lo que los ingenieros han hecho durante siglos ha sido concebir soluciones operativas a los problemas, incluso de una forma que podría calificarse de superficial y no del todo impoluta, como hubiese sido deseable de disponer del tiempo y de los medios necesarios, y del conocimiento básico pertinente.

De lo anterior se desprende que las dos clases de profesionales están sometidos a normas de aceptación de su trabajo completamente distintas entre sí. Los unos ven reconocida la calidad de su labor mediante realizaciones efectivas con las que resolver los problemas que pretenden solucionar; en tanto que los otros plasman los conocimientos que alcanzan en publicaciones, ya que es el conocimiento, una forma del saber, lo que define y acredita su labor. Los prime-

ros son radicalmente pragmáticos, buscan un funcionamiento aceptable de lo que hacen, con toda la laxitud de ese calificativo; en tanto que los otros, con las pretensiones de universalidad en los conocimientos que alcanzan, apuran la exigencia de contrastación de sus abstractas propuestas científicas.

Decir que la ingeniería es exclusivamente ciencia aplicada comporta asumir que los productos de la ingeniería son únicamente aplicaciones del conocimiento científico sin ninguna aportación relevante en el orden intelectual o creativo por parte de los ingenieros.

La concepción de un artefacto no se realiza en el seno de una teoría, sino que posee la autonomía de un acto de creación, alimentado por la ineludible intuición, aunque se beneficie de los conocimientos que aporta esa teoría, u otras. Algo valioso que hace la ciencia en apoyo de la ingeniería es aumentar lo que *hay* a disposición del ingeniero, aquello con lo que éste puede contar para llevar a cabo, a partir de ello, sus ideas originales.

De este modo, el conocimiento científico amplía al ingeniero el ámbito de lo posible. Así, la transmisión a distancia de información se había hecho, a lo largo de la historia, mediante señales acústicas u ópticas (las banderas entre navíos, las atalayas fronterizas y costeras que transmitían información al estado mayor del ejército o los semáforos ópticos de finales del XVIII). Con la aparición de la electricidad se suscita la posibilidad de aplicar los fenómenos eléctricos para esa transmisión, lo que supone un cierto conocimiento de esos fenómenos, que normalmente suministra la ciencia física. Pero lo que ésta no proporciona es la inspiración de su empleo, ni la concepción de los artefactos concretos con los que se reconducen los correspondientes fenómenos.

La ciencia con lo que contribuye es con lo que se sabe con relación al comportamiento de las cosas que pueblan el mundo natural (y también, en su caso, del artificial), aquello de lo que dispone el ingeniero y puede incorporar a sus concepciones, guiadas estas por la búsqueda de algún objetivo concreto, y no por el afán de satisfacer la curiosidad (aunque el ingeniero también la tenga, pero el mitigarla no es prioritario en su labor). Por ello, desde la más remota antigüedad hasta nuestro tiempo, hay una clara continuidad en el esfuerzo humano por dominar lo natural con fines utilitarios, y no se produce ningún tipo de discontinuidad substancial en la concepción básica de la ingeniería cuando aparece la ciencia moderna, como pretenden algunos.

«El ingeniero sólo necesita saber en el ámbito limitado en el que actúa para hacer una transformación parcial en el mundo»

Se puede decir que la ingeniería es una mezcla de arte y de ciencia. Gracias a la ciencia se puede entender aquello que hacemos los ingenieros, pero con esa comprensión no se agota el dominio de lo que creamos: la componente de arte, en el sentido de creación original más allá del conocimiento preestablecido, de imaginación de algo que todavía no existe, es inevitable. Además, conviene resaltar que en la propia ciencia no está implícito lo que puede hacerse con los conocimientos que ella atesora: el genio del ingeniero es el que se ocupa de ello. Para hacer un nuevo artefacto, o abordar un problema ingenieril complejo, hay que integrar conjuntamente cosas o partes o procedimientos, en un acto creativo que constituye la esencia de la invención en ingeniería. No corresponde a la ciencia el advertir al ingeniero cómo ensamblar los componentes en lo que está concibiendo.

Éste debe ser capaz de *imaginar* lo que *puede existir*, pero aún no existe. La ingeniería es el arte de ensamblar o conjuntar componentes y procedimientos, aunque estos frecuentemente no se conozcan con el rigor que satisfaría al científico convencional. Para el ingeniero, el objetivo es el producto final, sin que importe especialmente el conocimiento empleado para obtenerlo. Si al fin logra que funcione razonablemente bien, y soporta una experimentación a gran escala, el ingeniero lo dará por bueno (aunque le quede un punto de insatisfacción que no pueda acallar). No existen artefactos perfectos, ya que la ingeniería es el arte del compromiso y del mejoramiento

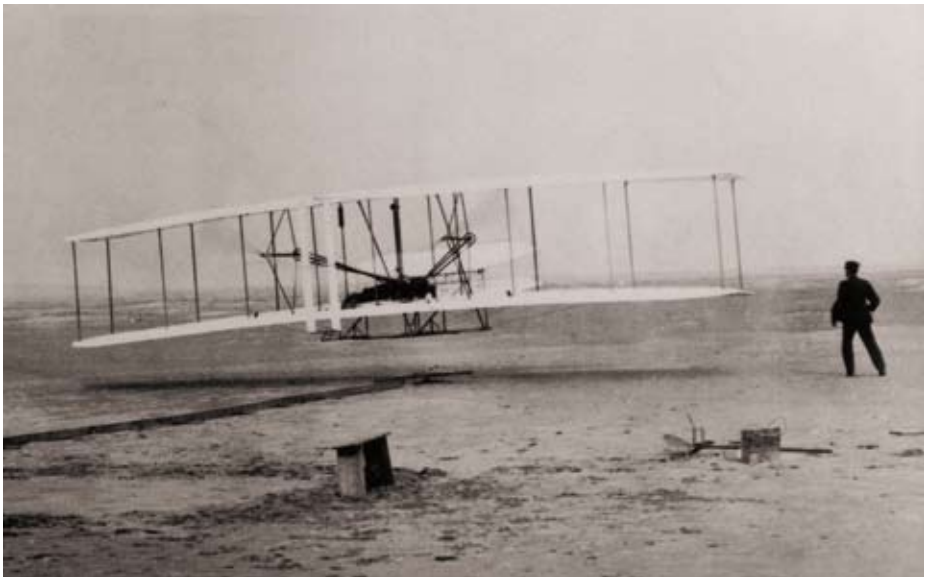
continuo; compromiso que está sujeto a restricciones tanto técnicas como económicas. La ingeniería comparte con la política el arte de adoptar buenas decisiones con conocimientos insuficientes, aunque estos sean los mejores disponibles.

Lo que distingue a un ingeniero no es que sepa mucha ciencia, sino que sepa usarla oportunamente. Los ingenieros mezclamos las leyes científicas con nuestra propia experiencia, y con los conocimientos que constituyen el patrimonio de nuestra profesión, para concebir, calcular, construir, explotar y mantener los múltiples ingenios que pueblan el mundo artificial. Los artefactos que produce la ingeniería son el resultado del cúmulo de múltiples cosas sucedidas con anterioridad y que confluyen en ese hecho, casi milagroso, que es la creación de algo que previamente no existía

Cuando se habla de creatividad en el ámbito de la ingeniería, no hay que olvidar que análoga creatividad invocan los científicos para elaborar sus teorías. En realidad, lo creativo es una componente esencial en la experiencia humana, por lo que se reclama en muchos dominios, como puede ser el arte o la literatura, en estos casos con redoblada insistencia.

Sin embargo, la creatividad toma formas peculiares y características que definen los rasgos específicos de cada uno de esos dominios. El material básico que emplean científicos e ingenieros en sus labores creativas son las ideas y la experiencia, con las que crean representaciones que pretenden subsumir nuestra experiencia del mundo natural, en un caso, compactándola en síntesis con estructura racional –las teorías– y, en el otro, imaginando y concibiendo artefactos susceptibles de ser producidos y pasar a incorporarse al mundo en el que previamente no existían.

Los hermanos Wright, al construir el *Flyer* en su taller de bicicletas, y desencadenar el insólito mundo de la aviación, lo que pretendían era construir un artefacto con el que lograr un determinado propósito: que volase un objeto más pesado que el aire, pilotado por un hombre. De este modo desarrollaron un aparato que sería el germen de importantes descubrimientos científicos, especialmente en mecánica de fluidos, que dieron lugar a la aerodinámica. En efecto, la aparición de



esta disciplina es un caso muy interesante en la historia de la ingeniería. Los hermanos Wright imaginaron y construyeron el *Flyer* sin contar con un conocimiento científico a partir del cual concebir esa máquina.

El *Flyer* voló y abrió la vía a la aviación, pero quedaba sin resolver el problema de comprender cómo se sustentaba en el aire. Las bases para la resolución del problema fueron propuestas por el ingeniero Ludwig Prandtl, quien mediante el recurso a su teoría de la capa límite fue capaz de explicar qué sucedía con un sólido moviéndose en el seno de un fluido, algo que hasta entonces la mecánica de fluidos no había sido capaz de esclarecer. A partir de sus resultados se produjo el esplendoroso desarrollo de la aerodinámica que permitió abordar el diseño de un avión sobre unas bases más sólidas. Es curioso que Prandlt fuese acogido con honores en el restrictivo club de los físicos teóricos.

Está claro que se puede producir una enriquecedora interacción entre ciencia y técnica sin desvirtuar la propia especificidad de cada una de esas dos actividades fundamentales para el quehacer humano. La ciencia *usa* la técnica en forma de instrumentos y experimentos con los que encontrar respuestas a sus problemas específicos. No es posible imaginar la ciencia actual sin la técnica moderna, sin los aparatos de medida, telescopios, microscopios y ordenadores, y tantos otros que, no se olvide, son maravillas de la ingeniería actual. El propio conocimiento profundo de la materia –las partículas fundamentales– requiere de instrumentos cada vez más elaborados para los que es previsible que exista una cota de realización práctica, dictada por las posibilidades técnicas. Por ejemplo, el descubrimiento de nuevas componentes fundamentales de la materia se asocia con la posibilidad de construir aceleradores de partículas cada vez más potentes, con los que imprimir mayor energía a las colisiones entre partículas elementales; lo que tiene un claro límite tanto desde el punto de vista técnico como económico.

El acelerador del CERN de Ginebra, que es una exhibición de la ingeniería moderna, requiere un perímetro de 28 km. ¿Qué dimensiones debería tener una máquina que permitiese llegar a los componentes últimos de la materia, si es que tiene sentido proponer la existencia de esos entes? Parece como si para cada nivel de conocimiento profundo del mundo natural existiesen unas componentes fundamentales del universo susceptibles de ser detectadas.

Una vez admitida la autonomía respectiva de la ciencia y la ingeniería es posible concebir una fructífera colaboración entre ambas, que es un fenómeno muy de nuestros días. Para resaltar esa colaboración se ha acuñado la denominación de Investigación y Desarrollo. Se habla de 'investigación y desarrollo' como una forma alternativa de referirse a 'ciencia e ingeniería'. En los libros de historia de la ingeniería se considera que tanto la Edison General Electric (que se inicia en el legendario laboratorio de Menlo Park, en el que Edison aplicó los

principios de producción en masa al proceso de invención, creando el primer laboratorio de investigación industrial) como la Westinghouse Electric Company (creada a su vez por el competidor de Edison, George Westinghouse) fueron las dos primeras instituciones privadas que se dedicaron intensivamente a explotar el nicho que se abría para la gestación de productos técnicos de gran incidencia en el mercado.

Los laboratorios de GE y de Westinghouse se centraron en la investigación técnica o ingenieril, sin prestar gran atención hacia la investigación fundamental o científica. Estas dos compañías comprendieron que no era indispensable emprender investigaciones de ciencia pura para alcanzar logros técnicos, de amplia repercusión económica. Esa constatación viene a cuento cuando se habla de la necesidad de fomentar la investigación científica para salir de la crisis que nos aflige. Hasta hace algún tiempo era corriente emplear R&D para referirse a la investigación y el desarrollo, a partir de la denominación inglesa Research and Development. La conjunción denotada por el ampersand & establece la conexión entre investigación y desarrollo –es decir, entre ciencia e ingeniería–. De hecho, la RAND Corporation fue creada en 1946 por las Fuerzas Aéreas americanas para el desarrollo de armamentos. La denominación de esa corporación fue un acierto ya que RAND se inspira en *R and D*.

En español se ha impuesto el uso de I+D, que es lo que se hará en lo que sigue.

La cuestión, desde un principio, fue la importancia relativa de la I o de la D. Tanto en los laboratorios de GE, como en los de Westinghouse, el trabajo de los científicos estaba supervisado por el departamento de ingeniería. Por ejemplo, en estos últimos laboratorios el ingeniero eléctrico Charles E. Skinner, en 1906, fue nombrado jefe de la división de investigación de la compañía. Conviene destacar que todos los involucrados en un proyecto de ingeniería deben tener en cuenta desde el principio el objetivo perseguido. Si en el proyecto participan científicos puede que tengan que hacer parte del trabajo propio de los ingenieros, en cuyo caso la distinción y la identidad relativa entre ellos parece diluirse. Cuando los científicos e ingenieros –entonces y ahora– son capaces de dejar de lado sus diferencias profesionales, y sus vanidosos y exigentes egos, y logran cooperar en investigación y desarrollo, entonces consiguen llevar a cabo un trabajo práctico de tipo ingenieril con el que resolver problemas utilitarios. Este era el estado de cosas en los años que preceden a la Segunda Guerra Mundial. Esta guerra marca una inflexión en las relaciones entre ciencia e ingeniería. Durante esa guerra es posible que sea el proyecto Manhattan el que tuvo mayor incidencia en la modificación del peso relativo de la ciencia y de la ingeniería en los proyectos de I+D, aunque hubo también otros muchos desarrollos en los que los científicos jugaron un papel destacado.

«El material básico que emplean ingenieros y científicos en sus labores creativas son las ideas y la experiencia»

A pesar de ello, uno de los personajes individuales que más influyeron en el curso que iba a tomar la investigación científica en la postguerra en los EE UU, y por ende en el mundo, fue un ingeniero: Vannevar Bush, del MIT. Él fue quien propuso lo que luego se ha conocido como modelo "lineal" (sería más propio llamarlo modelo unidireccional) de I+D, según el cual la investigación científica básica conduce unidireccionalmente a desarrollos ingenieriles y a aplicaciones prácticas presididas por la utilidad.

Es decir, según este punto de vista la investigación básica precede y nutre a la aplicada, y ésta, a su vez, antecede siempre a los nuevos desarrollos técnicos. La propuesta se puede expresar con la fórmula: primero saber y luego hacer. Estas ideas se resumían en una consigna: la investigación científica básica produce capital científico, a partir del cual se producen todos los progresos en la técnica y en la ingeniería; es decir, el camino seguro va de la teoría a la práctica.

Bush expuso sus ideas en un conocido informe al presidente Truman, en 1945, que estaba llamado a tener gran influencia en la política científica y en las expectativas con respecto a la I+D en los tiempos posteriores. Al terminar la Segunda Guerra Mundial se impuso el modelo de Bush, que fue especialmente impulsado desde el MIT, y a partir de entonces y durante unos años se afianza la ideología bushiana, e incluso los libros sobre investigación en ciencia básica empiezan a proponer, unas veces de forma sutil y otras no tanto, que el conocimiento fundamental está en el origen de las aplicaciones prácticas.

Ya en los años sesenta el modelo lineal de Bush se denunció como excesivamente simplista, si no básicamente incorrecto. El propio Bush reconsideró su posición y puso en tela de juicio su propio modelo lineal cuando afirmó que en el trabajo conjunto entre ingenieros y científicos, la ingeniería es más un socio igualitario que un hijo de la ciencia. Hoy ese modelo lineal ha sido superado al tener presentes interacciones mucho más complejas, aunque no falten los que se obstinan en mantenerlo.

«Se puede producir una enriquecedora interacción entre ciencia y técnica sin desvirtuar la propia especificidad de cada una de esas dos actividades»

Los ingenieros nos ocupamos de un amplio espectro de actividades que van desde la concepción hasta la producción o ejecución, pasando por la implantación y el mantenimiento, de fecundasex-

«Es necesario fomentar la investigación científica para salir de la crisis que nos aflige»

plotaciones agrarias, el vasto mundo de las industrias de producción y transformación, las espectaculares obras públicas y monumentos, la inmaterial transmisión de comunicaciones, las recónditas instalaciones mineras, el viajero del mundo naval y de la aviación, las frondosas plantaciones de bosques, el imperceptible procesamiento de la información y un largo etcétera que llega incluso a promover una ingeniería de servicios. Entre todas ellas han erigido el ubicuo mundo artificial, del que ellos son destacados promotores.

Pero esa rica variedad de dominios hace improbable definir a los ingenieros exclusivamente por lo que hacen, aunque siempre compartan que ese quehacer, en cualquiera de los dominios en los que desarrollan su actividad, está motivado por un criterio utilitario. Más bien es la forma de abordar los problemas, en cualquiera de esas actividades, lo que permite identificar al ingeniero. El medido equilibrio entre intuición y análisis crítico, entre pragmatismo y rigor, entre escepticismo y voluntad de actuación, la prioridad de la racionalidad procedimental frente a la objetiva[28], todo ello es lo que distingue su forma de actuar.

Entre las virtudes que se esperan del ingeniero se incluye el ser prudente, diestro, competente, hábil, bien informado y conocedor del problema que tiene entre manos. La profesionalidad se basa en el conocimiento especializado, pero a los empresarios que contratan ingenieros también les atraen otras características personales como son la lealtad, la iniciativa, la capacidad de liderazgo y de llevar a cabo un trabajo duro. Los ingenieros, por la propia naturaleza de su trabajo, suelen tener un punto de vista optimista, según el cual todo problema puede resolverse si se dispone de las herramientas adecuadas y se formulan las cuestiones pertinentes. También deben asumir como una virtud profesional primaria y distintiva la lealtad con los destinatarios de su trabajo; tanto el público en general, como las empresas para las que trabajan. Esto puede conducir a dilemas, ya que no siempre estos dos objetivos pueden conciliarse armoniosamente.

«El equilibrio entre pragmatismo y rigor y entre escepticismo y voluntad de acción son algunos de los factores que distinguen la forma de actuar del ingeniero»

En todo caso la ingeniería busca la utilidad, como lo hace también la medicina, por mencionar otro caso (la medicina está sometida a un criterio de aceptación claramente utilitario: los enfermos se curan o no). Tanto la medicina como la ingeniería, en las investigaciones de tipo básico a ellas asociadas, hacen uso del conocimiento científico y de sus métodos para resolver los problemas propios de estas especialidades, pero ninguna de ellas es simplemente ciencia aplicada. Ninguna de ellas puede esperar a una comprensión científica completa del problema antes de actuar para sanar una enfermedad (incluso salvar una vida) o para concebir un artefacto útil para resolver un problema de carácter práctico.

Es posible que la ingeniería tradicional, como una profesión, cuya misión fundamental era controlar la naturaleza, esté desdibujándose al convertirse su ámbito de actuación en un mundo híbrido en el que intervienen factores de índole muy variada. La ingeniería está cambiando en la medida en que su objetivo principal está dejando de ser la exclusiva reconducción de los fenómenos naturales, para que ese lugar empiece a ocuparlo la gestión del mundo artificial en el que algunas de las cualidades del ingeniero, como sus dotes de innovación, de liderazgo y de organización, tanto en la agricultura y en la industria como en los servicios, alcancen pleno desarrollo profesional.

Con ello, el papel de la ingeniería adquiere un alto grado de complejidad que requiere una cuidadosa reflexión. Entre los propios ingenieros no faltan los que consideran la profesión como una puerta de acceso al mundo de los negocios (son muchos los que hacen estudios de post-

grado para obtener un MBA). En este sentido, la vocación de los ingenieros hacia puestos de liderazgo precisa una formación que no se ciña exclusivamente a aspectos de fundamentación científica y a cuestiones exclusivamente técnicas.

De hecho, en la ingeniería moderna se integran, además de habilidades y conocimientos técnicos, la capacidad de gestión con el fin de alcanzar, entre otras cosas pero de forma destacada, la anhelada rentabilidad. Tradicionalmente, en la vida profesional del ingeniero se pasaba por unos primeros años, dominados por actividades técnicas, hasta los años finales en los que la gestión ocupaba prácticamente toda la actividad.

Por otra parte, no hace demasiado tiempo, el ingeniero, al finalizar sus estudios, todavía aspiraba a encontrar un puesto de trabajo lo más estable posible que le garantizarse una vida profesional permanente en el seno de una gran organización. El número de los que se dedicaban a crear su propia empresa, o a ejercer como consultores, no era, ni mucho menos, mayoritario. La tradicional vinculación de los ingenieros a grandes empresas estaba dotada de una gran estabilidad, de modo que la identidad de estos profesionales se asociaba a su contribución y a su lealtad a esas empresas.

En la actualidad hay quienes defienden que la interacción ciencia e ingeniería debe fomentarse lo más posible. De hecho, los profesores de ingeniería tienden a semejarse cada vez más a los de las facultades de ciencias, tanto en el modo de ejercer su actividad como en la aceptación de los requisitos para medir su calidad profesional, al tiempo que aceptan tácitamente la reducción del ámbito profesional a lo estrictamente técnico, más o menos subordinado a lo científico.

Pero, la rígida y exclusiva formación científica crea hábitos de simplicidad y de unicidad que pueden ser entorpecedores para el ingeniero cuando se enfrenta a la complejidad, la ambigüedad y las contradicciones del mundo en el que ha de ejercer su labor profesional. La formación predominantemente científica puede crear la añoranza de volver a encontrar esa simplicidad en el ejercicio de la profesión.

El gran reto histórico de los ingenieros de nuestro tiempo es la persistencia en la concepción y construcción del mundo artificial al que estamos abocados por nuestra propia naturaleza. Hemos aprendido a reconducir el mundo natural, aunque sólo sea parcialmente y estamos tratando de exprimirlo como un limón y así apurar todas las posibilidades de obtener de él algún beneficio, al precio de imprimirle una huella ostensible a la naturaleza. ¿Tendremos que enfrentarnos a alguna cota en esta actitud? Esta cuestión es capital para el futuro no ya de nuestra profesión, sino de nuestra misma especie.

La técnica refuerza nuestra humanidad cuando nos facilita la consecución de objetivos que consideramos que forman parte de lo que nos define como seres humanos. La siguiente cita de Brian Arthur es expresiva al respecto: Somos seres humanos y como tales necesitamos más que mero confort económico. Necesitamos desafíos, necesitamos significado, necesitamos objetivos, necesitamos comulgar con la naturaleza. Cuando la técnica nos separa de todo eso se convierte en una forma de muerte. Pero cuando lo facilita, reafirma la vida. Refuerza nuestra humanidad.

REFERENCIAS

[1] Aracil, J. (2010). *Fundamentos, método e historia de la ingeniería. Una mirada al mundo de los ingenieros*. Síntesis.

[2] Åström,K. (1967).Computer control of a papermachine–an application of linear stochastic control theory. *IBMJournal of research and development*, 11(4):389–405.

[3] Bell, T. y Dooling, D. (2000). *Engineering Tomorrow*. IEEE Press.

[4] BrianArthur,W. (2009). *The Nature of Technology*.Allen Lane.

[5] Butler, S. (2003). *Erewhon*.Minotauro.

[6] Constable, G. y Somerville, B. (2003). *A Cenntury of Innovation*. Joseph Henry Press.

[7] Crawford, E. (1984). *The Beginnings of theNobel Institution. The Science Prizes, 1901–1915*. Cambridge University Press.

[8] Davis,M. (1998). *Thinking like an Engineer.* Oxford University Press.

[9] Dessauer, F. (1964). *Discusión sobre la técnica*. Ediciones Rialp.

[10] Forman, P. (2007). The primacy of science inmodernity, of technology in postmodernity, and of ideology in the history of technology *History and Technology*, 23(1):1–152.

[11] Galilei,G. (1638). *Consideraciones y demostracionesmatemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Editora Nacional, Madrid [1976].

[12] Hardy, G. (1981). *Autojustificación de un matemático*.Ariel.

[13] Hawking, S. yMlodinow, L. (2010). *El gran diseño*. Crítica.

[14] Jonas, H. (1995). *El principio de responsabilidad*. Editorial Herder.

[15] Ortega yGasset, J. (1939).*Meditación de la técnica y otros ensayos sobre Ciencia y Filosofía*. Alianza Editorial [1982)].

[16] Penrose, R. (2006). *El camino a la realidad*. Debate.

[17] Petroski, H. (2010). *The Essential Engineer*.AlfredA. Knof.

[18] Pinker, S. (2010). *The Better Angels of Our Nature:Why Violence Has Declined*. Viking.

[19] Putnam, H. (1994). *Las mil caras del realismo*. Paidós.

[20] Quintanilla,M.Á. (2005). *Tecnología: un enfoque filosófico*. Fondo de Cultura Económica.

[21] Ridley,M. (2011). *El optimista racional*. Taurus.

[22] Savater, F. (1999). *Las preguntas de la vida*.Ariel.

[23] Silva,M. (2005). *El siglo de las luces.De la ingeniería a la nueva navegación*. RealAcademia de Ingeniería, Institución Fernando el Católico y Prensas Universitarias de Zaragoza.

[24] Silva,M. (2007a). *El Ochocientos. Profesiones e Instituciones Civiles*. Real Academia de Ingeniería, Institución Fernando el Católico y Prensas Universitarias de Zaragoza.

[25] Silva, M. (2007b). *El Ochocientos. Pensamiento, profesiones y sociedad*. Real Academia de Ingeniería, Institución Fernando el Católico y Prensas Universitarias de Zaragoza.

[26] Silva,M. (2007c). *Ingeniería yUniversidad. Sobre dos rememoraciones y un ámbito de investigación pluridisciplinar.* Lección inaugural del curso 2006-2007 de la Universidad de Zaragoza.

[27] Silva, M. (2008). *El Renacimiento. De la técnica imperial y la popular (segunda edición ampliada)*.RealAcademia de Ingeniería, Institución Fernando el Católico y PrensasUniversitarias de Zaragoza.

[28] Simon,H. (1996). *The Sciences of the Artificial*. TheMIT Press. Versión española *Las ciencias de lo artificial*, Comares, 2006.

[29] Stannard, R. (2010). *The End of Discovery*. Oxford University Press.

[30] Thom, R. (1985). *Parábolas y catástrofes*. Tusquets.

[31] Vincenti,W. G. (1990).*What Engineers Know and How They Know It*. The Johns Hopkins University Press.

[32] Williams, R. (2004). *Cultura y cambio tecnológico: elMIT*.Alianza Editorial.

[33] Wittenmark, B. y Rantzer,A. (1999). *The Åström Symposium on control*. Studentlitteratur. EN BUSCA DE LA UTILIDAD 55