

EL PAPEL DE LA TÉCNICA EN EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

José Ferreirós

Universidad de Sevilla

Antes de comenzar, no me quedo tranquilo sin comentar una obviedad. Fui invitado a participar en este curso como representante de la filosofía, y el título del mismo, “Ingeniería y pensamiento”, podría dar a entender que “por tanto” represento al “mundo del pensamiento”, como suele decirse. Pero naturalmente que el pensamiento no es patrimonio de la filosofía, ni habita sólo entre los literatos. La facultad de pensar no se adjudica burocráticamente, no depende de un título de licenciado, sino que es característica de los humanos en general. Se encuentra tanto entre los filósofos como entre los ingenieros y los científicos, y de la misma manera: en algunos magníficamente, en otros de forma escasa¹. Si entiendo bien al profesor Aracil, el sentido del título es que el hacer es siempre anterior al pensar, y simplemente existen actividades importantes (como la ingeniería) sobre las que *reflexionamos* poco, aunque las *practicamos* mucho y bien. Los que trabajamos sobre filosofía de la técnica y de la ciencia podemos aportar algo, dentro de nuestras limitaciones, a esa tarea de reflexión. Entendidas así las cosas, de acuerdo: vayamos pues al grano.

1. Introducción

Para centrar el tema, empezaré discutiendo lo que se ha llamado el “modelo lineal” respecto a las relaciones entre conocimiento y progreso social². Este modelo tiene sin duda orígenes en la Ilustración, y probablemente antes, pero sobre todo caracterizó las políticas científico-técnicas hasta mediados del siglo

¹ Me atrevo a decir que se puede ser muy bueno usando microscopios, o ser un experto en la obra de Kant, y pensar más bien poco.

² Un libro sencillo pero serio donde puede encontrarse información a este respecto es el de J. Ziman, *Introducción al estudio de las ciencias* [sic; el título original es *An Introduction to Science Studies*], Barcelona, Ariel, 1986.

XX; sin embargo, es muy insuficiente por varias razones. La idea es tan simple como lo siguiente: si el político desea producir progreso socio-económico, sólo debe preocuparse de fomentar la investigación científica; los avances científicos “darán frutos” de por sí, se transmitirán de forma casi automática al mundo de la técnica y al de la industria, acabando por afectar a la sociedad en su conjunto (ver figura 1). Es una visión que expresaba con toda claridad Ramón y Cajal ya en un artículo de 1898 donde reaccionaba al desastre de aquel año proponiendo remedios a los males de la nación:

Hay que crear ciencia original, en todos los órdenes del pensamiento: filosofía, matemáticas, química, biología, sociología, etcétera. Tras la ciencia original vendrá la aplicación industrial de los principios científicos, pues siempre brota al lado del hecho nuevo la explotación del mismo, es decir, la aplicación al aumento y a la comodidad de la vida. Al fin, el fruto de la ciencia aplicada a todos los órdenes de la actividad humana es la riqueza, el bienestar, el aumento de la población y la fuerza militar y política³.

Como vemos, se plantea aquí la simple idea de una cascada descendiendo bajo la acción de la gravedad, presuponiendo una jerarquía en la que la ciencia se sitúa arriba, y un automatismo en la aparición de desarrollos técnicos e innovaciones industriales. Para controlar el sistema y regular sus rendimientos, basta controlar el polo científico. No hay que pensar demasiado, ni saber mucha historia (aunque conocer la española ayuda), para darse cuenta de que el modelo lineal presupone demasiado: presupone sociedades similares a la británica en los siglos XIX y XX, y fracasa estrepitosamente cuando se aplica a sociedades con tejidos empresariales o actitudes respecto a la técnica muy diferentes.

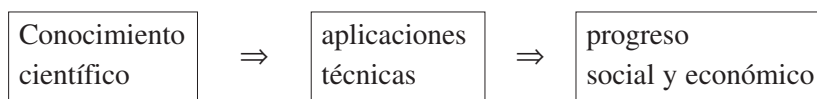


Figura 1. El “modelo lineal”, o mejor, unidireccional de investigación y desarrollo.

³ Santiago Ramón y Cajal en *El Liberal* del 26/10/1898, citado en J. M. Sánchez Ron, *Cinco, martillo y piedra. Historia de la ciencia en España (siglos XIX y XX)*, Madrid, Taurus, 1999, p. 174. Cajal terminaba diciendo: “Hemos caído ante los Estados Unidos por ignorantes y por débiles, que hasta negábamos su ciencia y su fuerza. Es preciso, pues, regenerarse por el trabajo y el estudio”.

Hoy sabemos que los diferentes elementos de la Fig. 1 interaccionan, pero que son autónomos y no pierden esa autonomía por más que se desarrolle el proceso. Conviene además pensarlos como elementos no jerarquizados, de manera que el control socio-político debe intervenir a los tres niveles. Esto da lugar a un modelo de realimentación ciencia-tecnología-industria, que es precisamente lo que significa la expresión que ha estado de moda en los últimos años: el hablar de *I+D+i*. Quiere decirse que para obtener progreso económico y social (dos cosas que, por cierto, no son idénticas) hay que estimular tanto la *investigación* científica (laboratorios y centros de investigación) como el *desarrollo* técnico (escuelas de ingeniería, laboratorios técnicos) y también, sobre todo en países como el nuestro, la introducción de *innovaciones* a nivel empresarial. En el caso español, como venimos repitiendo en las últimas décadas, es sobre todo este tercer eje el que falla, y todo el mundo sabe que un trípode al que se le quita una pata... cae.

En lo que sigue vamos a ver cómo la autonomía y la interacción entre conocimiento y técnica se muestran ya en el propio trabajo de los científicos. Cómo hay una constante realimentación, en bucles cada vez más sofisticados, que se expresan también en las interacciones actuales entre científicos e ingenieros. Basta pensar en los macroproyectos de la llamada *big science*, cosas como el Proyecto Genoma Humano o los aceleradores del CERN en Ginebra, o como la Estación Espacial Internacional. La prensa y la televisión nos venden todo esto como triunfos de la ciencia, pero son en realidad expresiones de la colaboración entre ciencia, ingeniería e industria (sin olvidar al convidado de piedra: el estamento militar). En el laboratorio europeo de física de partículas, el CERN, que es el más grande del mundo, existe una plantilla fija de casi 3.000 personas, los cuales representan una amplia gama de profesiones, incluyendo por supuesto administradores, secretarios y obreros, pero sobre todo físicos e ingenieros. Sin la colaboración estrechísima entre física e ingeniería, nada de lo que hace el CERN sería posible⁴.

⁴ Para cada experimento en particular, esta gente trabaja con especialistas de todas partes del mundo, hasta sumar (según la información disponible hoy) unos 6.500 físicos de partículas de más de 80 países. Puede verse el libro *History of CERN* por A. Hermann *et al.* (3 vols., Amsterdam, North Holland, 1987, 1990, 1996).

Por cierto que en su página web (www.cern.ch) el CERN se anuncia también, con toda razón, como el lugar donde nació el *world wide web*, basado en el protocolo *http* que inventó en 1989 el ingeniero Tim Berners-Lee. Curiosamente, las páginas del CERN, al describir este importante invento del que se sienten muy orgullosos, hablan de Berners-Lee como un “científico”: ¡cuestión de imagen! Enseguida volveremos sobre esta imagen popular de la ciencia y la técnica.

Conviene, antes de proseguir, realizar una última aclaración sobre el sentido en que voy a emplear la palabra “técnica”, que, de nuevo siguiendo a Aracil, preferiremos usar en general en lugar del anglicismo “tecnología”. Es una constante en el lenguaje humano la tendencia a ampliar más y más el uso de las palabras, sobre la base de analogías mejor o peor fundadas. Esto lleva a expresiones que pueden sonar paradójicas a los expertos, como cuando se habla de la “filosofía” de un grupo industrial, o de la “lógica” de lo social o, incluso, de las emociones. Del mismo modo, a menudo oímos hablar de “tecnologías” sociales o de “técnicas” empresariales, pero yo me voy a resistir conscientemente a estos usos analógicos.

Cuando hablo de *técnica* me refiero ante todo a la creación de artefactos, la fabricación de objetos útiles al ser humano (desde el arado al bolígrafo y el ordenador), y secundariamente me refiero también a las habilidades necesarias para su manipulación, tanto personales como colectivas. Por costumbre y tradición solemos entender que esos artefactos son objetos inanimados, pero nada impide incluir a seres vivos como el maíz y los animales domésticos (que son tan “naturales” como “artificiales”, mostrando las limitaciones de esta dicotomía) o los ratones transgénicos.

2. Historia de dos prejuicios (parte I)

A la hora de pensar la ciencia, es muy importante superar dos prejuicios que están enormemente extendidos. Los introduciremos a base de ejemplos. El primer ejemplo viene al caso debido a aniversarios y decesos, pero podrían haberse elegido muchos otros. Hace poco se celebró el medio siglo del descubrimiento científico más importante del siglo XX. Sucedió en 1953, y dio lugar al premio Nobel de 1962, otorgado a Watson y Crick: todo el mundo sabe que estoy hablando de la estructura en doble hélice del DNA. Pero lo cierto es

que el premio Nobel fue para tres personas: los dos mencionados y Maurice Wilkins (1916-2004), un científico que trabajaba en Londres, cuyo nombre es desconocido para la inmensa mayoría de la gente⁵. Hay también una cuarta persona que realizó una contribución central al descubrimiento de la estructura de DNA, Rosalind Franklin (1920-1958), que seguramente hubiera sido la cuarta recipiente del Nobel de no ser porque ya había muerto, y el premio se otorga sólo en vida⁶.

Hay dos razones fundamentales por las que Watson y Crick se han llevado la fama, mientras Franklin y Wilkins son los grandes olvidados. La primera razón es de pura simplicidad, un motivo pedagógico. El *modelo* de la doble hélice lleva el nombre de Watson y Crick, que lo propusieron en un artículo de *Nature*, y la mayor parte de la gente se limita a estudiar este modelo superficialmente; así que todos nos encontramos con sus nombres, pero no con los otros. La labor de Franklin y Wilkins fue fundamental para establecer la base experimental que sirvió para crear y para confirmar el modelo de la doble hélice; fueron trabajos muy cuidadosos en laboratorio, realizados mediante difracción de rayos X. Y aquí está la segunda razón de su olvido: Franklin y Wilkins eran experimentadores, mientras que Watson y Crick desempeñaron el papel de teóricos.

Nuestra memoria de la ciencia pasada está sesgada muy claramente a favor de los teóricos y en contra de los experimentadores y observadores. Los ejemplos se podrían multiplicar: Kepler frente a Brahe, Newton frente a Hooke, etc. También han estado sesgadas en este sentido la filosofía de la ciencia y la historia de la ciencia, hasta tiempos muy recientes⁷. La filosofía de la ciencia se ha ocupado tradicionalmente de las teorías, sin prestar atención a la experimentación, sus problemas y su epistemología. La historia de la ciencia ha sido, hasta hace pocos años, historia de los conceptos científicos y su evolución, prestando poca atención a los instrumentos, etc.

⁵ Las fechas de Francis Crick son también 1916-2004; murió el pasado 28 de julio.

⁶ Sobre el DNA puede verse el entretenido libro de Watson, *La doble hélice* (Barcelona, Salvat, 1989) junto con los comentarios en la obra de Crick, *Qué loco propósito: una visión personal del descubrimiento científico* (Tusquets); y el estudio histórico de R. Olby, *El camino hacia la doble hélice* (Madrid, Alianza, 1991).

⁷ Véase J. Ferreirós y J. Ordóñez, "Hacia una filosofía de la experimentación", *Crítica* 34 (2002) n° 102, 47-86, y el número especial "Theoria experimentorum" de la revista *Theoria* 17 (2002) n° 44. Un clásico y pionero del tema es el libro de I. Hacking, *Representar e intervenir* (Barcelona, Paidós/UNAM, 1996; orig. de 1983), así como D. Gooding, *et al.*, *The uses of experiment* (Cambridge Univ. Press, 1989).

Llamaré a esto el *prejuicio intelectualista*. Es un prejuicio muy arraigado en nuestra cultura occidental: lo intelectual, lo propio de la mente o el alma, es superior a lo práctico o material. Sus orígenes son múltiples, entroncando por supuesto con las ideas religiosas más extendidas, pero todo el mundo está de acuerdo en que un origen clave se remonta a los antiguos griegos, a personajes como Platón. Los griegos que más han influido en la Europa cristiana tuvieron una ideología muy marcada, favorable a lo teórico y lo contemplativo, contraria a todo lo que fuera actividad práctica o técnica, “mancharse las manos”. Marx ya enfatizó la relación entre esas actitudes y la estructura socio-económica de la sociedad griega: era una sociedad esclavista, donde la técnica y las tareas prácticas eran cosa de esclavos, mientras que los ciudadanos libres se dedicaban a la política, la matemática, la filosofía y la guerra⁸.

Este elitismo de lo contemplativo se ha reiterado luego en momentos muy importantes de nuestra historia: podemos mencionar a filósofos como Agustín de Hipona, quien “cristianizó” a Platón allá por el siglo V; a científicos como Newton en el XVII, intelectuales como W. von Humboldt en el XIX, incluso científicos y filósofos del siglo XX como Popper, y un largo etcétera. El efecto acumulativo de los siglos que ha perdurado esa actitud es una deformación de la imagen de la ciencia, que a veces nos resulta difícil percibir dado lo mucho que el prejuicio nos ha sido inoculado. Incluso hoy, cuando el péndulo se ha desplazado y el prejuicio más extendido es exactamente el contrario, siguen teniendo enorme presencia las implicaciones más sutiles del intelectualismo.

En realidad, la ciencia moderna siempre se ha opuesto a dicho prejuicio, pero “la ciencia” no es una persona, sino una representación abstracta que nos hacemos del colectivo de los científicos y de sus aportaciones. La ciencia no tiene una única voz. Como el intelectualismo era tan persistente y difícil de erradicar, las quejas se han reiterado una y otra vez. Daré dos ejemplos. En 1638 Galileo publicó su libro más importante, *Consideraciones y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias*⁹, donde proponía sus famosas ideas en mecánica (la ciencia del movimiento) y donde –por cierto– trataba también de desarrollar la ciencia de la resistencia de materiales. El diálogo comenzaba

⁸ En efecto, las únicas artes prácticas dignas de un hombre libre eran las artes militares. Un detalle en el que no suele pensarse, pero que merece una buena reflexión.

⁹ Madrid, Editora Nacional, 1976.

con un canto a la intensa actividad técnica desplegada en el “famoso Arsenal” de Venecia, y enfatizaba el “gran campo para filosofar” que esas actividades ofrecen “a los intelectos que especulan”. Galileo recomendaba hablar con los artesanos para descubrir nuevos problemas y nuevos efectos naturales; fue así como empezó a andar el camino que llevaría a su discípulo Torricelli a descubrir la presión atmosférica, y a la invención del barómetro.

Pero a la voz de Galileo se opusieron muchas otras, y aunque los ilustrados fueron eminentemente utilitaristas, transmitiendo sus ideas a través de la célebre *Enciclopedia* y muchas otras obras, luego vendría la época romántica con su retorno a los viejos ideales. Ya en el siglo XIX, la Universidad alemana, que marcó el camino hacia las universidades de hoy, fue también el mayor foco de propagación de la ideología purista e intelectualista¹⁰. Mientras, los británicos fueron los partidarios más declarados de lo útil. Un ejemplo llamativo es el de William Thomson, Lord Kelvin, quien no sólo realizó contribuciones muy importantes a la física, sino también al tendido de cables submarinos de telégrafo y al desarrollo de la ingeniería eléctrica como profesión. Kelvin escribió:

No puede haber un error mayor que el de contemplar con desdén las aplicaciones prácticas de la ciencia. El alma y la vida de la ciencia está en su aplicación práctica¹¹.

Pero evidentemente esto no zanjó la cuestión, ni siquiera entre los anglosajones. Por poner un último ejemplo, el célebre físico norteamericano Albert A. Michelson (1852-1931) le reprochaba a un discípulo suyo el entrar a trabajar en un laboratorio industrial después de acabado el doctorado, diciéndole nada menos que al hacerlo estaba “prostituyendo [su] formación y [sus] ideales”¹².

Cuando pensamos en la ciencia, normalmente nos viene a la mente la idea de unas teorías perfectamente organizadas y sistematizadas. Sin duda, esto responde a que la mayoría de la gente, incluso con una considerable formación científica, la ha recibido estudiando manuales que tratan de presentar esas teorías

¹⁰ Sobre este tema puede verse J. M. Sánchez Ron, *El poder de la ciencia* (Madrid, Alianza, 1992).

¹¹ De un discurso ante la Institución de Ingenieros Civiles británica en 1883, recogido en *Popular Lectures and Addresses* (3 vols., Londres, 1891).

¹² Frank Jewett, que sería jefe de los Laboratorios Bell, citado en S. R. Weart, “The rise of ‘prostituted’ physics”, *Nature* 262 (1976), 13-17. Michelson es célebre por sus experimentos de precisión, realizados en parte con Morley, que allanaron el camino hacia la teoría de la relatividad especial.

de la manera más rápida y clara. El objetivo de estos manuales es comunicarnos bien los *resultados*, pero no enseñarnos *cómo* esos resultados se obtienen. Son muy pocos los que han llegado a tomar contacto directo con el mundo de la investigación, de ahí que la idea habitual sea la fría imagen de la ciencia como producto elaborado completo, y no la imagen de la ciencia en desarrollo, en acción, en caliente¹³. Pero basta asomarse a un departamento o un laboratorio y realizar un recuento para darse cuenta de que el conjunto de los experimentadores supera siempre con mucho al de los teóricos, ya sea entre los físicos, entre los biólogos, o donde queramos.

Para comprender qué es la ciencia y cómo se elabora, es preciso por tanto librarse de la tradicional imagen de la ciencia *como teoría*. Sin duda los científicos van formando conceptos, principios y teorías, pero la mayor parte de su tiempo se dedica a obtener datos fiables, a perfeccionar los cálculos y los experimentos, a medir y a verificar si los datos y las predicciones encajan, etc. En los últimos veinte años, la corriente que algunos llaman *nuevo experimentalismo* ha surgido dentro de la filosofía de la ciencia para reclamar atención a las actividades de observación y experimentación (ver nota 7). También los historiadores han reclamado mayor atención a los instrumentos y los experimentos¹⁴. A mí particularmente me gusta decir que debemos concebir la ciencia *como actividad*, y que en una primera aproximación es el producto de una dinámica bipolar, de la *interacción entre dos fases*: la actividad teórica y la actividad experimental. *Cada una de ellas* tiene sus reglas y normas, su metodología y su epistemología; si renunciamos a entender una de ellas, como hizo la filosofía de la ciencia tradicionalmente, no podremos entender el conocimiento científico.

El método hipotético-deductivo (ya sea en versión falsacionista o verificacionista) nos da una buena aproximación a cómo se relacionan los productos de una actividad (teorías) con los de la otra (datos). Pero ese pobre esqueleto lógico, pese a sus virtudes, se queda muy lejos de comenzar a

¹³ Este ha sido un tema de moda entre los sociólogos de la ciencia; un libro muy bueno a este respecto es el de B. Latour, *Ciencia en acción: cómo seguir a científicos e ingenieros a través de la sociedad* (Barcelona, Labor, 1992).

¹⁴ Un trabajo pionero en esta dirección es el de J. Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th Centuries* (University of California Press 1979), y también el de P. Galison, *How experiments end* (Univ. Chicago Press, 1987).

explicarnos de dónde proviene la peculiar fiabilidad de los productos que ofrece la actividad científica. Todo esto es algo que podríamos y deberíamos enseñar cuando enseñamos ciencia a nuestros estudiantes, ya sea en la Universidad o en el Bachillerato. Y una de las mejores metodologías para hacerlo es darles a conocer la historia de la ciencia, analizar con detalle cómo se obtuvieron algunos grandes avances científicos, desmenuzando los detalles de la metodología, de la formación de teorías y de la producción de datos fiables¹⁵.

Decir que la ciencia es el resultado de la interacción entre teorizar y experimentar (o en su caso observar) es una obviedad. Pero quizás pensar las implicaciones de esta idea sea menos obvio. Entre otras cosas, porque nos conduce a la conclusión de que la técnica está en el corazón mismo del trabajo científico, más de lo que tradicionalmente se ha pensado.

3. La fábula de la ciencia

Contaré aquí una bonita historia que, pese a estar demasiado simplificada, condensa buena parte del proceso por el que surgió la sofisticada actividad que llamamos ciencia. En el proceso de hominización, durante el último millón de años, tuvo un papel central el desarrollo de dos tipos de capacidades en el hombre: capacidades simbólicas y capacidades productivas; el manejo de las palabras y el de las herramientas. Las primeras servían para sostener una vida social cada vez más compleja, las segundas para permitir el desarrollo de la técnica, la manipulación y fabricación de artefactos. Ambos procesos establecieron la presión selectiva que hizo que los cerebros del género *homo* se hicieran cada vez más voluminosos. Esas dos capacidades fundamentales encerraban el potencial de combinarse de maneras muy sofisticadas, originando una inmensa sinergia, pero esto tardaría en llegar cientos de miles de años. Sólo con la invención de la ciencia moderna, allá por 1600, se establecerá una unión altamente efectiva de ambas.

La capacidad productiva se fue perfeccionando a través de diversas revoluciones técnicas interrelacionadas: va surgiendo el dominio del fuego, la agricultura, los minerales y los metales. Mientras, la capacidad simbólica alcanzaba su expresión más alta con los mitos: los mitos griegos de Homero, los

¹⁵ Un libro que presenta ejemplos sencillos, pero muy bien estructurado, es el de R. Giere, *Understanding scientific reasoning* (Harcourt Brace Jovanovich, 1997).

mitos hebreos del Génesis, etc. Pocos siglos antes de nuestra era, con los griegos, surgen novedades enormes en el uso de la palabra y la escritura: la escritura alfabética, origen de toda una revolución cultural e intelectual; la argumentación crítica, la demostración matemática basada en diagramas, y por fin la lógica. A través de esta revolución, los mitos se transforman radicalmente, surgiendo las teorías en sentido estricto: es el paso del mito al *logos*, el nacimiento de la teorización filosófica. Paralelamente, y en parte por las mismas razones –demostrar es la contrapartida de argumentar–, surgen las matemáticas deductivas.

Pero los griegos, aunque hicieron algunas observaciones y experimentos sumamente ingeniosos, no llegaron a practicar la ciencia en el sentido moderno. Les faltaba emplear sistemáticamente el *método experimental*, como se decía en el siglo XVII. En parte, esto se debió a la actitud negativa hacia la técnica y la idea de una separación radical entre lo natural y lo artificial (aquí la referencia clásica es Aristóteles). Estas ideas cambiaron allá por el Renacimiento, en parte debido al impacto de las revoluciones técnicas ocurridas en la Baja Edad Media (con el reloj mecánico, invento del siglo XIII, como mayor exponente), en parte al difundirse la idea de que, siendo el hombre *también* parte de la naturaleza, difícilmente sus obras pueden ser algo radicalmente opuesto a lo natural. Es sólo a partir del Renacimiento que aquellas formas superiores de las capacidades simbólicas, nacidas en Grecia, encuentran una combinación sumamente ingeniosa y potente con las capacidades técnicas disponibles: nace la ciencia moderna.

Todavía en el siglo XVII, “ciencia” era una palabra de muy amplio uso, aplicable tanto a la mecánica como a la teología. Lo que nosotros llamamos ciencia tenía otro nombre: *filosofía experimental*, el estudio de la “filosofía natural” por medio de la experimentación. Una reflexión sobre el sentido de esta expresión nos pone ante la ciencia moderna como híbrido de filosofía, matemáticas y técnica. De la filosofía heredó la argumentación lógica y las teorías, el esfuerzo por dar explicaciones causales; estos elementos se combinaron de una manera sumamente ingeniosa con las ideas matemáticas disponibles en la obra de personajes como Kepler, Galileo, Descartes o Newton. Pero todo ello se sustentó sobre el recurso constante a la observación y la experimentación, cuya base (como veremos en la sección 5) era la técnica; en esto insistirían hombres como Bacon, Boyle, Locke y Newton. Surgió así un híbrido sumamente bien logrado, la ciencia moderna, como una mixtura magnífica, más poderosa que cualquiera de sus ancestros (técnica, filosofía, matemáticas).

4. Historia de dos prejuicios (parte II)

Como ya he adelantado, el viejo prejuicio intelectualista ha perdido casi toda su fuerza a lo largo del siglo XX (aunque algunas de sus consecuencias sigan siendo aceptadas acríticamente). Esto se debió al impacto cada vez mayor de la industrialización, y en buena medida también a que EE.UU. ha acabado dominando la escena internacional: el ambiente cultural al otro lado del Atlántico era muy distinto del europeo ya hacia 1900, y los norteamericanos se han caracterizado siempre por su utilitarismo y su “entusiasmo tecnológico”¹⁶. A lo largo del siglo XX, los cambios políticos, las guerras, el desarrollo económico y la globalización han difundido por todo el planeta esa forma de pensar. Con esto ha llegado el imperio del *prejuicio utilitarista*, que afecta sobre todo a los políticos y al ciudadano medio.

La confusión entre ciencia y técnica es un aspecto típico de la cultura actual, consecuencia de lo anterior y de otros motivos. Hoy, en la prensa y la televisión, las exploraciones de Marte se presentan puramente como un éxito de la ciencia, como si no tuvieran una inmensa carga técnica e ingenieril (o peor, como si interesase ocultar esa carga). Lo característico de los megaproyectos científicos de finales del siglo XX (la llamada *big science*) es la fusión entre aspectos técnicos y científicos, entre el interés por el conocimiento y el interés por desarrollar la tecnología. Pero la NASA, el CERN y tantos otros organismos o proyectos prefieren sistemáticamente borrar la frontera entre ambas cosas. Los profesores de enseñanza básica colaboran al presentar a Marconi o a Bell como hombres de ciencia, al teléfono o internet como grandes avances científicos.

Bien es verdad que las formas de fusión entre ciencia y técnica no dejan de aumentar, y que además las diferencias metodológicas no son radicales. Puede haber diferencias más o menos claras en casos normales: por ejemplo, la inexistencia de actividades de diseño en el trabajo científico (salvo el diseño experimental, que no es poca cosa); o la inexistencia de novedades cognoscitivas en el trabajo de ingeniería (salvo habitualmente en datos, y a veces en mucho más). El nivel al que las diferencias son claras y patentes es en los objetivos últimos. Los científicos buscan datos fiables, que proporcionen información sólida sobre los

¹⁶ Un clásico sobre el tema es T. P. Hughes, *American genesis: A century of invention and technological enthusiasm* (Londres, Penguin, 1989). Un libro que refleja la extrañeza de los europeos ante el ambiente en Norteamérica es J. T. Merz, *A history of European thought in the nineteenth century* (London, Blackwood, 4 vols., 1896-1914).

fenómenos, y teorías que los representen bien. Los ingenieros trabajan para crear objetos artificiales que sean robustos y fiables, y todo lo demás son meras apoyaturas. Asociada a esta diferencia viene aquella diferencia en los regímenes que regulan el fin de la investigación en uno u otro caso, de los que habla Aracil.

Curiosamente, la tendencia a confundir ciencia y técnica, y el énfasis en lo útil, no han ayudado mucho a revisar la imagen sesgada de la ciencia de la que hablamos en la sección 2. Seguimos pensando en la ciencia como teoría, pero asumimos que, por algún poder mágico de la captación mental de los fenómenos, esas teorías tienen enormes aplicaciones inmediatas. Los científicos que buscan financiación y convocan ruedas de prensa no están por la labor de corregir esa imagen deformada, sino más bien buscan modos de sacarle provecho. A fin de cuentas, creo que los escasos cambios de fondo, a pesar del cambio en los prejuicios, se deben sobre todo a que no hay conceptos claros tras la confusión entre ciencia y técnica. Lo que hay son ideas oscuras, la creencia en que las dos cosas van siempre de la mano sin que la acompañe un intento de comprensión.

El “entusiasmo tecnológico” es y será una componente esencial de la cultura del siglo XXI. Hay motivos para pensar que el paso a primer plano, junto a la sociedad norteamericana y la “vieja Europa”, de otras naciones pujantes como Japón y China, redundará precisamente en un mayor énfasis sobre lo útil y lo aplicado. La historia muestra además que la pasión por los artefactos se difunde más fácilmente que la pasión por el conocimiento.

La paradoja es que ese énfasis en la técnica da lugar a una complicada realidad de luces y sombras. Lo que hoy existe es una compleja combinación de tecnofilia y tecnofobia, ya que la población pasa con facilidad de actitudes positivas acríticas a actitudes negativas (también acríticas). Hay ejemplos muy notables, como puede ser el considerable número de personas que pagan su criogénesis en lugares como California, esperando una tecnología médica futurista que les resucite. O como las actitudes irracionales que se desarrollan frente a los alimentos transgénicos y la comida orgánica. La razón última de estos movimientos pendulares, demasiado guiados por las emociones, parece estar precisamente en la falta de *comprensión*. Probablemente bastaría un mejor conocimiento de cómo se elaboran la ciencia y la técnica para reducir la tecnofilia y la tecnofobia (aunque es necesario investigar más estas cuestiones).

La cultura de la innovación quita visibilidad a lo que es propiamente conocimiento, lo hace poco atractivo en sí mismo. Aquí está lo que me parece más

peligroso de este segundo prejuicio, y lo que me lleva a pensar en el conocimiento como un bien escaso y delicado, que se debería proteger. Sería deseable un pacto a escala internacional que protegiera la investigación, promocionando los valores del conocimiento y la curiosidad. Es necesario sobre todo mantener la pluralidad de motivaciones, la búsqueda del saber (con experimentos y teorías) sin necesidad de que la motive el lucro o las ventajas egoístas.

Bien entendida, la ciencia es una actividad muy filosófica, marcada por una exigencia de *inteligibilidad* que va mucho más allá de lo práctico. Personajes como Kepler, Newton, Darwin o Einstein no responden en absoluto al estereotipo actual del científico-empresario, encarnado por ejemplo en un Watson (y no lo digo en el sentido de que sea “malo” que haya personajes de este tipo). Hay muchas tareas pendientes hoy en día en relación con la ciencia y la técnica. No me olvido en absoluto de la necesidad de exigir *responsabilidad* a científicos e ingenieros con respecto a los proyectos en los que se involucran y con respecto a los tan traídos y llevados *spin-off*¹⁷. Pero, entre esas muchas tareas, es necesario promocionar el bien escaso que son los científicos y los ingenieros¹⁸.

5. La técnica en el corazón de la ciencia

Los filósofos nos han acostumbrado a pensar que la experimentación se reduce a la observación, y que ésta no es más que la recepción de impresiones por una mente atenta. Esto es una bella imagen metafísica de las cosas, pero no responde a la realidad. La observación que practican los científicos no es pura contemplación, sino una forma de acción productiva: para poder observar hay que hacer cosas. A veces la complejidad práctica de una observación es mucho mayor que la de un experimento: el famosísimo experimento de Oersted (en 1820) que dio a conocer el efecto electromagnético lo puede realizar una persona cualquiera en su casa; compárese con el despliegue de medios realizado en 1769 para observar el tránsito de Venus desde Tahití (cosa que realizó una expedición

¹⁷ Subproductos o consecuencias colaterales de esos proyectos, por ejemplo el uso armamentístico de materiales desarrollados por la NASA (aunque quizás en este ejemplo no se trata de algo “colateral”).

¹⁸ Quizás se me permite añadir que también los filósofos son un bien escaso, unos “bienes” que en ocasiones (piensa uno) habría que proteger de su propia tendencia a enclaustrarse y hablar sólo de “sus cosas”.

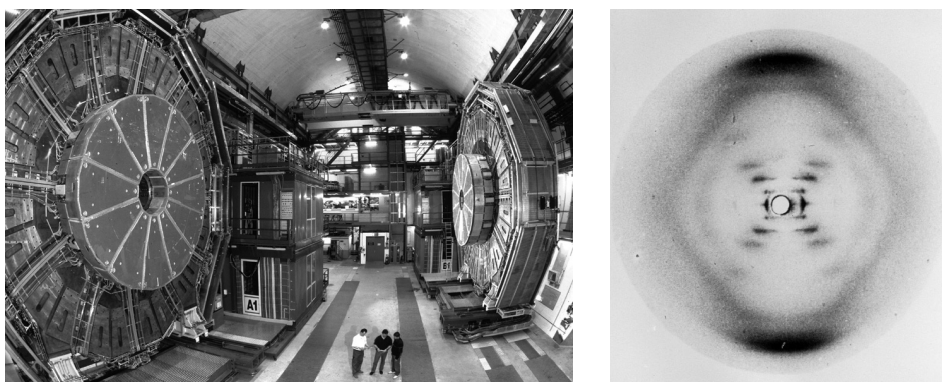


Figura 2. Dos imágenes mucho menos conocidas que la del modelo de doble hélice. 2a (izqda.): Wilkins con su difractor de rayos X; 2.b (dcha.): La imagen crucial obtenida por Franklin, mostrando un patrón de difracción sumamente simple y simétrico obtenido a partir de una muestra purificada de DNA; Crick pudo concluir que hay solo dos o tres cadenas en la molécula.

del capitán Cook), a fin de comparar esas observaciones con otras simultáneas desde la Bahía de Hudson, Irlanda y la frontera entre Rusia y China¹⁹.

La diferencia entre una observación y un experimento es que, en el segundo caso, el científico interviene sobre el fenómeno observado y lo altera: registrar un terremoto es solo observación, provocarlo bajo condiciones controladas sería experimentación. Dicho esto, resulta evidente que el elemento técnico es un ingrediente imprescindible de la actividad experimental, desde los prismas de Newton a los láseres actuales, desde los humildes péndulos de Galileo (artefactos a fin de cuentas) a los aceleradores de partículas. Pero la mediación técnica es también inevitable en el terreno de la observación, y no ha parado de acrecentarse. De aquí la horda de artefactos cuyo nombre se forma con el sufijo *-scopio*

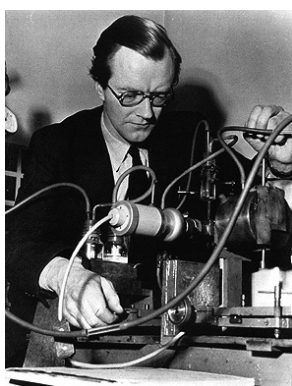


Figura 3. El detector Aleph instalado en el célebre acelerador LEP (Large Electron-Positron Collider) del CERN, operativo entre 1989 y 2000. Nótese que el inmenso detector ocupaba sólo una pequeña parte en el extremo del anillo de 27 km. de circunferencia que era el LEP.

¹⁹ Lo cual permitía en principio calcular con precisión la distancia Tierra-Venus, y de ahí la distancia Tierra-Sol, que es la unidad astronómica (AU).

(derivado del verbo ‘ver’ en latín): microscopios, telescopios, oftalmoscopios, estetoscopios, espectroscopios, etc. También sirven para observar muchos instrumentos que permiten realizar mediciones precisas, desde los hermosos astrolabios medievales a los detectores de la radiación de fondo que se instalaron en el satélite COBE. Me atrevería a decir que no existe hoy un solo dato de *mera* observación que no haya sido depurado y perfeccionado usando algún artefacto.

Repasando la presencia de elementos técnicos en el conocimiento científico, podemos comprobar sistemáticamente su aparición a todos los niveles. Ya hemos mencionado el nivel

A. Nivel de observación y experimentación, pero quizás no esté de más añadir alguna otra reflexión. Si pensamos en los inmensos sistemas detectores que se instalan en aceleradores de partículas como los del CERN (Fig. 3), encontramos que todo el proceso de registro está automatizado y controlado por sistemas automáticos y computadores. La propia *selección* de qué eventos registrar, entre la miríada de ellos que se producen en una colisión de partículas, se realiza de manera automática. Podría pensarse que esto es solo un paso más en la línea de las micrografías del siglo XIX (fotografías de lo que “se ve” por el microscopio), pero se trata de un paso tan radical que quizás altera parte de la epistemología de la observación.

La idea habitual es que sólo en ese nivel A. encontramos una presencia sustancial de ingredientes técnicos, pero una reflexión más detallada revela que esto es un prejuicio. En otros muchos pasos del proceso que media entre los registros brutos de la instrumentación y las teorías, encontramos la presencia inevitable de la técnica. Para empezar, lo que llamamos “datos” no son esos registros brutos, sino algo mucho más sofisticado y controlado, un producto de largas investigaciones. Esto nos conduce al:

B. Nivel del tratamiento de datos. Podríamos poner aquí ejemplos como las llamadas “técnicas” estadísticas: el método de mínimos cuadrados que se inventó hacia 1800 en astronomía, o quizás los métodos de Montecarlo mucho más recientes. ¿Es esto realmente técnica? La pregunta es difícil, porque en buena medida involucra un tema que no podemos tratar aquí en detalle: el estatus de las matemáticas, entre ciencia y técnica. Pero, a un nivel más elemental y más evidente, los viejos dibujos del astrónomo Tobias Mayer representando la Luna nos dan un ejemplo del XVIII donde figuran prominentemente varias técnicas, desde la innovación que supuso la micrometría hasta (claro está) los métodos del dibujo.

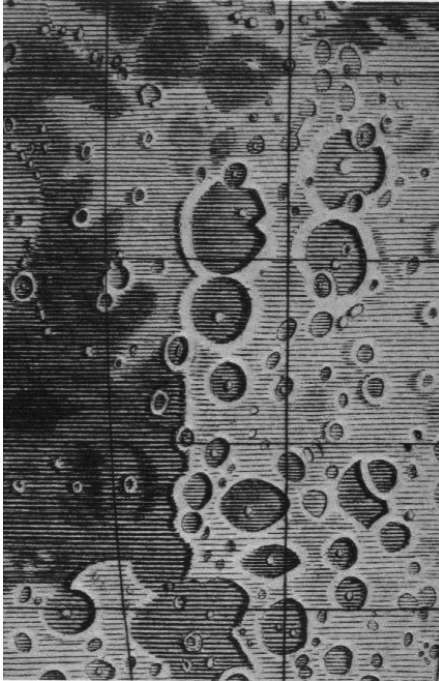


Fig. 4. Representación de la superficie lunar debida al astrónomo alemán Tobias Mayer (1723-1762), donde pueden verse los cráteres Ptolomeo, Hiparco y Alfonso, junto al Mare Nubium. Fue el primer caso en que se empleó el micrómetro, cuya retícula aparece representada.

Una vez completado el proceso de obtención de datos, es importante siempre comprobar cómo éstos encajan (o no) con lo que cabe esperar a la luz de la teoría. Aquí es donde entran en juego las predicciones:

C. Nivel de establecimiento de predicciones. Hoy todos somos conscientes del papel de artefactos a este nivel, dado el empleo omnipresente de ordenadores para obtener predicciones a partir de sistemas de ecuaciones complejos: en meteorología por supuesto, pero también en física y tantas otras ciencias. Ahora bien, ¿qué pasaría con las simples técnicas de cálculo que aplicamos automáticamente, desde las antiquísimas técnicas de sumar, multiplicar y dividir, hasta las técnicas de integración? Sin esto, por supuesto, las ecuaciones de la física “no nos dicen nada” acerca del mundo. ¿Y las “técnicas” de aproximación? De nuevo nos encontramos con algo que es difícil catalogar, debido al carácter ambivalente de las matemáticas.

A fin de cuentas, esta ambivalencia sugiere que incluso al nivel de la teoría y los modelos abstractos hay elementos técnicos en el mismo corazón de la ciencia. Hablemos pues del nivel

D. *Nivel de la elaboración y tratamiento de teorías.* Nos dejamos llevar con demasiada alegría por las frases hechas que nos dicen que una teoría, la de Newton, la de Darwin o la que sea, es un producto mental de ese científico. Esto es sin duda cierto, pero se suele interpretar de manera equivocada: se interpreta lo mental como algo “interior” y contrapuesto a cualquier cosa “exterior” al sujeto, como pueden ser objetos u otras personas. Se olvida, para empezar, que la teoría “de Newton” que se estudia en la Universidad tiene poco que ver con los cálculos geométricos que llenan los *Principia mathematica* de 1687, y debe mucho al desarrollo de las matemáticas en los siguientes 200 años; que la teoría “de Darwin” que hoy estudiamos no es la que aquella persona presentó en su famoso libro *On the origin of species* de 1859, sino el producto de la llamada “nueva síntesis” en la primera mitad del siglo XX. Pero sobre todo olvidamos que las teorías no nacen de la mente del científico como Minerva de la cabeza de Júpiter en el antiguo mito: Minerva surgía como una mujer totalmente crecida y venía ya armada para la guerra. No, el proceso de creación de una teoría es largo y complejo, involucrando al cerebro y a la mano, mucho papel y tinta y electricidad en los ordenadores, discusiones con colegas, borradores y más borradores, cartas y emails, etc.

Veamos un ejemplo. Hace poco que la casa de subastas Christie's, en Londres, vendió por la impresionante suma de medio millón de dólares el manuscrito Einstein-Besso. Se trata de un escrito muy interesante, porque formó parte esencial del proceso creativo que condujo a la teoría de la Relatividad General (Fig. 5). Para empezar, es un producto bien físico, pero además no es el “producto mental” de Einstein solo, ya que se debe a dos autores; sin la colaboración de matemáticos como su amigo Michele Besso, el famoso físico no habría podido concebir su teoría de la gravitación. El manuscrito se dedica a elaborar las consecuencias de la teoría con respecto al movimiento de Mercurio, para calcular si la famosa anomalía en su órbita podía explicarse desde la perspectiva relativista (como de hecho fue el caso).

Un detalle muy interesante del manuscrito Einstein-Besso es que hay un error en ciertos cálculos, error que hizo pensar a Einstein que su teoría provisional era aceptable cuando no lo era. El error fue localizado en 1915 y, según algunos expertos, condujo a Einstein a una profunda revisión de sus ideas que le puso en el camino final. Esto nos recuerda de una manera muy gráfica que el papel desempeñado por los garabatos de tinta y las discusiones no es en absoluto secundario, sino que pertenece centralmente a la formación de esos productos mentales que son las teorías.

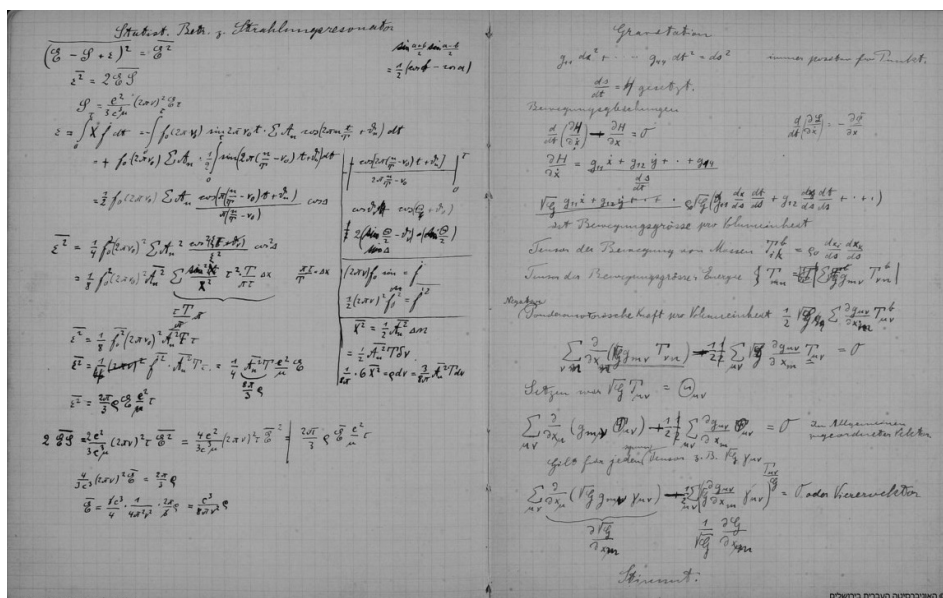


Fig. 5. Páginas del “Cuaderno de Zurich” en el que Einstein explora posibles formulaciones de su teoría de la gravedad. La teoría definitiva de la Relatividad General apareció en noviembre de 1915 y –a diferencia de dos años antes– conseguía explicar totalmente la anomalía del perihelio de Mercurio. Einstein contaría más tarde que este descubrimiento hizo que le palpitará fuertemente el corazón²⁰.

Las fórmulas y los cálculos de Einstein y Besso me traen a la memoria lo que dijo otro gran físico, Heinrich Hertz, cuya obra experimental puso los cimientos de las telecomunicaciones modernas, pero que fue también un teórico:

²⁰ Una buena referencia en castellano sobre el tema es J. M. Sánchez Ron, *El origen y desarrollo de la relatividad*, Madrid, Alianza, 1985.

No se puede evitar la sensación de que estas fórmulas matemáticas tienen una existencia independiente y una inteligencia propia, de que son más sabias que nosotros, más sabias aún que sus descubridores, y que sacamos de ellas más de lo que originalmente se puso en ellas.

Lo mismo puede decirse de las viejas técnicas geométricas que aplicaba Kepler, como tantos otros, en la elaboración y conformación de sus modelos teóricos. Y de nuevo nos vemos conducidos a la pregunta, ¿son las matemáticas pura teoría?, ¿son ciencia o son técnica? O lo que viene a ser lo mismo: ¿inventan o descubren los matemáticos?

Quizás, si la respuesta es que no son pura teoría, encontraremos el inicio de un camino que podría llevarnos a entender mejor la vieja alianza entre matemáticas e ingeniería. (A fin de cuentas, en los siglos XVI y XVII la palabra “matemático” designaba ante todo a un ingeniero.) Pero tenemos ya que abandonar este terreno pantanoso; me limitaré, para concluir, a citar unas palabras del matemático Luis Santaló, quien hablaba del

dobles aspecto de filosofía y técnica, que caracteriza a este saber que denominamos matemática; un saber, por cierto, que siempre se ha hallado entre el pensar y el obrar, entre el verbo y la acción²¹.

Donde Santaló escribió “filosofía”, quizás el lector pueda leer conocimiento o ciencia, y con ello se evite alguna dificultad en entender la idea.

6. Algunas reflexiones filosóficas y conclusiones

Hemos visto en lo anterior el papel del prejuicio intelectualista y la centración en las teorías a la hora de pensar la ciencia, como origen de algunos sesgos de interpretación que no permiten concebir esa actividad adecuadamente. También hemos hablado de lo que podríamos llamar el *mito del sujeto*, la idea errónea de lo mental como algo puramente “interior”. Cuando decimos que una teoría o un diseño sin duda habrán de registrarse en papel o magnéticamente, pero “primero” tienen que aparecer “en la mente de” Albert Einstein o Graham Bell, y señalamos con nuestro dedo a la cabeza, solemos aceptar toda una serie de interpretaciones

²¹ Ll. Santaló, *La matemática: una filosofía y una técnica* (Barcelona, Ariel, 1994), 7.

muy discutibles. La idea de la mente como algo que está en el interior del cerebro es una metáfora, una figura lingüística y retórica que oscurece la complejidad de los procesos de pensamiento y de producción de conocimientos.

Entiéndase bien: no quiero negar la existencia de los fenómenos mentales, de ninguna manera; no quiero “robarle” a nadie sus pensamientos y emociones y recuerdos, cosas que nos pertenecen de una manera íntima. Lo que pretendo es enfatizar que lo mental no es algo incorpóreo, sino que llamamos “mentales” a toda una serie (heterogénea) de conductas y capacidades; estas conductas y capacidades no sólo involucran al cerebro, sino a todo nuestro cuerpo y también a objetos externos. Einstein no habría podido concebir su teoría de la Relatividad General sin escribir ecuaciones, realizar cálculos y corregirlos, pedir consejo y colaboración a matemáticos como Besso o Grossmann, recibir las críticas y las sugerencias de otros científicos. Tampoco el filósofo sabría elaborar sus reflexiones sin ponerse a escribir, con papel y bolígrafo o con el ordenador; como mínimo, necesitará ponerse a hablar al modo de Sócrates, producir palabras e interaccionar con otras personas. Los procesos que llamamos mentales no suceden dentro de los límites del cráneo, ni tampoco dentro de los límites de la piel de un individuo. La idea de que lo mental es estrictamente “interior” no es más que una mala metáfora.

Lo que acabo de decir no es novedad. La interacción entre la técnica y el pensamiento, el papel de los elementos materiales y corpóreos en la producción del conocimiento, han sido señalados una y otra vez de diversas maneras y en diversos contextos. Pensemos en la teoría del conocimiento marxista, con su insistencia en que el conocimiento es una actividad productiva, o pensemos en la idea de “sistemas tecnológicos” que han propugnado los teóricos de la técnica. Otra versión reciente y prometedora es el enfoque de la *cognición distribuida* en ciencias cognitivas²². Este enfoque pretende precisamente analizar de manera integrada aquellas situaciones cognitivas en las que interviene más de un actor, y en las que los objetos del entorno tienen un papel crucial en los procesos mentales. La cognición individual, la interacción social y la interacción con objetos y artefactos actúan de manera coordinada y no son separables. Como ha señalado el mismo Hutchins, la actividad de los científicos, ejemplos como los que he discutido en estas páginas, son una magnífica muestra de cognición distribuida.

²² Ver entre otras la obra de E. Hutchins, *Cognition in the wild* (MIT Press, 1995).

Pero estas ideas tienen difícil penetración en la cultura general, porque aquí el contrapeso de las creencias religiosas impide un funcionamiento normal de los procesos de instrucción y educación, procesos de transmisión de lo aprendido por generaciones anteriores. A una porción muy grande de cada generación se le enseña de nuevo la idea de la dualidad alma/cuerpo, tan central en las principales religiones, y por tanto nos vemos obligados a superar esa dualidad de nuevo en cada generación. Para superarla son necesarios esfuerzos individuales basados en lecturas, experiencias y reflexiones, en un proceso que es mucho más difícil y costoso que la instrucción normal²³.

En conclusión, reiteraré unas pocas ideas. La ciencia no es pura teoría; si la entendemos así, nos olvidamos del mundo de los datos y la experimentación, que a fin de cuentas son la clave que hace de la ciencia *ciencia*. La técnica ha sido *siempre* determinante en la elaboración de ciencia, incluso en las épocas más antiguas, y desde luego en los primeros pasos dados durante los siglos XVI y XVII. Pero es que, además, la propia actividad teórica del científico depende centralmente de la técnica. Como hemos visto, la *filosofía experimental* del siglo XVII fue hija de tres madres, dos de ellas viejas (la filosofía y la matemática) y la tercera antiquísima (la técnica).

Otra cosa es la relación entre ciencia e ingeniería. La ingeniería no es simple técnica sino tecno-logía: teoría de la técnica y técnica elaborada en base a teorías científicas. La ciencia no dependió de la ingeniería durante los siglos XVII, XVIII y buena parte del XIX, aunque muchos ingenieros desempeñaron un papel muy importante en la ciencia: pensemos en el español Jorge Juan –marino de profesión, pero ingeniero en la práctica– o en el francés Coulomb. Ahora bien, desde finales del siglo XIX la ciencia no ha podido ya vivir sin la ingeniería (y recíprocamente): hemos visto cómo hoy la observación, la experimentación, el tratamiento de datos, la predicción y la elaboración de teorías tienden a estar mediadas por tecnologías altamente desarrolladas.

²³ Pondré un paralelismo: en un país como España, casi todo el mundo sabe qué forma tienen las órbitas de los planetas, gracias a la instrucción recibida; pero son muy pocos los que han hecho el esfuerzo de *pensar* esa conclusión, entender cómo fue posible llegar a ella sobre la base de la experiencia del movimiento aparente de los planetas (con sus avances y movimientos retrógrados, sus conjunciones y oposiciones al Sol, etc.) tal como se ve desde nuestra Tierra.

Yendo algo más lejos, en realidad puede decirse que no hay ninguna actividad humana, ya sea mental o corporal, científica o artística, que no involucre a la técnica (y también al lenguaje). La técnica, como la ciencia, constituye uno de los mayores activos de que dispone la humanidad. Pero para que alcancen todo su valor y todo su potencial, ambas deben ser entendidas en un sentido elevado y liberador. Ya hay demasiadas voces y demasiadas manos que se encargan de impulsar la ciencia y la técnica por su utilidad y buscando el provecho. La técnica, y también la ingeniería, son algo más, mucho más que herramientas del empresario para superar a sus competidores, o herramientas del político para conseguir un país rico y plenamente inserto en el “Primer Mundo”. Es necesario complementar esas voces y contrarrestarlas apoyando la búsqueda del conocimiento, o, por decirlo de otro modo, impulsando los valores de la curiosidad frente a los valores económicos.