

des desafíos establecidos en los últimos años: la carrera espacial, los programas internacionales para estudiar las partículas constituyentes de la materia, el desarrollo de los ordenadores o el proyecto del genoma humano. De cada uno de ellos la humanidad sale con una nueva percepción de su situación en el cosmos, con una nueva consciencia de su identidad.

Desde esta perspectiva multidimensional, la presencia de la ciencia en la educación general no puede supeditarse a su uso posterior, sino que debe estar íntimamente enraizada en la cultura, al ser un elemento esencial de cualquier concepción válida del mundo. Por eso no sólo deben enseñarse los "hechos" y los aspectos técnicos o útiles—los que vayan a ser aplicados luego. Muy al contrario, todos deberían conocer las ideas básicas de la ciencia de su momento y ser capaces de integrarlas en su cultura, en la misma medida que ocurre con el arte, la literatura, la psicología o las ciencias sociales.<sup>13</sup>

Si examinamos el caso de los grandes científicos, vemos que sus esfuerzos están motivados por la incitación de las preguntas que se hacen sobre el hombre y el mundo, por sentir el conocimiento de las cosas como desafío, por percibir la belleza de las leyes naturales. Contestar preguntas, superar retos o sentir la armonía del mundo es lo que les empuja. Entre los muchos anhelos que definen la vida humana, uno muy importante es la curiosidad y las ganas de comprender, el ansia de conocimiento y de sabiduría. Enfrentarse a tantos interrogantes todavía sin respuesta, planteados acuciantemente desde que los griegos empezaron a reflexionar con racionalidad sobre el mundo, pero de forma implícita desde mucho antes: ¿qué somos?, ¿qué es el mundo y de qué está hecho?, ¿por qué las cosas cambian del modo que lo hacen?, ¿cómo obrar? Son preguntas que no podemos ni siquiera formular hoy—mucho menos intentar una respuesta—sin tener en cuenta los datos que nos ofrece la ciencia sobre el mundo.

Está claro que Husserl y Kundera, como muchas otras gentes, reaccionan contra lo que antes he llamado el modo unidimensional de entender la ciencia (a la que ellos tachan de unilateral). Tienen motivos: es ése un modo pervertido, que minusvalora y deforma una estructura que es rica, compleja y

multidimensional. Por desgracia, no ayudan en nada a tender un puente las posturas excluyentes que niegan todo valor a lo que no esté basado en las ideas y los métodos propios de la ciencia.

Creo que un gran problema del mundo de hoy, quizá el gran problema, es conseguir que esas dos corrientes—la que representan Husserl y Kundera y la de las ciencias de la naturaleza—fluyan juntas, o cerca al menos, sin recelos ni suspicacias. No es fácil, pero es necesario y, por eso, debe intentarse. Va en ello el futuro.

No conseguirlo tiene dos tipos de consecuencias graves, referidas, por un lado, a los problemas de la humanidad y, por el otro, a la razón práctica, a las normas de comportamiento, a la ética. En primer lugar, la solución de muchos de esos problemas necesita ineludiblemente de la ciencia: de más, no de menos. Pero precisa también de ámbitos humanos no científicos, de justicia, de solidaridad, de visión global no reducida a elementos, o sea, de integrar aproximaciones desde distintos campos, y eso es imposible desde una perspectiva unidimensional. Además, la forma en que entendamos la ciencia influye necesariamente en nuestra concepción ética. La unidimensional impulsa de manera inevitable la ética instrumental simplista, la que conduce de modo necesario a las paradojas terminales de que hablaba Kundera.

Este ensayo está dedicado a la crítica de la ciencia unidimensional. Lo haré tratando del modo multidimensional. O sea, de los muchos rostros de la ciencia.

## II. La relatividad y la lámpara incandescente

EINSTEIN Y EDISON O LAS IDEAS Y LAS COSAS

ESTE CAPÍTULO trata de la ciencia y la tecnología. Tanto es el poder que hoy otorgan estas dos grandes estructuras—de ellas dependen la riqueza, el bienestar y el prestigio de las na-

<sup>13</sup> M. Moravcsik, *How to grow science?*, Universe Books, Nueva York, 1976.

ciones— que, en esta época obsesionada por analizarlo todo, debería estar muy claro qué son y cómo se relacionan. Pero no es así. Para empezar, la opinión pública las confunde, como si fueran una y la misma cosa, a pesar de que quienes a ellas se dedican las sientan como actividades muy distintas y formen dos comunidades muy separadas, con poco que las una más allá de la necesidad común del bachillerato de ciencias. Los científicos acusan a veces a los tecnólogos de no preocuparse por las explicaciones profundas de los fenómenos que utilizan; éstos responden que a aquéllos sólo les interesan cuestiones abstractas e incomprensibles que no sirven para nada práctico. Y, sin embargo, hay entre ellas relaciones de causalidad muy importantes, sin las que no podrían vivir, aunque sean mucho más sutiles y difíciles de entender de lo que se supone.

Una de las manifestaciones de esta incomprensión mutua es un cierto elitismo que prospera en los ambientes académicos, que estima por encima de todo la dedicación a las cuestiones abstractas o difíciles y que menosprecia los trabajos aplicados. Es preciso rechazarlo frontalmente y proclamar que el valor de la ciencia no debe estar nunca en su lejanía de las preocupaciones del hombre medio, sino en su capacidad de mejorar la vida de las gentes, de generar nuevas ideas o de lograr un mejor entendimiento del mundo. No serían mala divisa para los científicos aquellos versos en los que Antonio Machado habla de quienes “piensan que saben, porque no beben el vino de las tabernas”, sobre los que emite luego un juicio durísimo.

Por eso he elegido el título de este capítulo. Tanto la relatividad de Einstein como la lámpara de Edison, dos cosas de asociación improbable, han cambiado la vida de los hombres de una manera rotunda y radical. La una pertenece al mundo de las ideas abstractas, la otra, al de los objetos cotidianos. El efecto de la segunda es patente y palpable en la vida diaria. Su inventor Thomas Alva Edison, era un clásico *self-made man* estadounidense cuyos estudios no pasaron de sus doce años, cuando empezó a trabajar en 1835 como ayudante de telegrafista y vendedor de periódicos en los trenes; fundó entonces uno, el *Weekly Herald*, que escribía e imprimía él mismo, en una mini-imprenta que instaló en un furgón, y vendía luego a los viajeros. Pero fue despedido por provocar un incendio en el tren, al hacer un experimento mientras estudiaba matemáticas, físi-

ca y química en sus ratos de ocio. Entró luego a trabajar en una oficina telegráfica e inició su extraordinaria carrera de inventor con un telégrafo doble (que permitía transmitir mensajes en los dos sentidos a la vez), al que seguirían a lo largo de su vida unas mil cien patentes distintas, entre ellas las del fonógrafo en 1877, la lámpara incandescente en 1878, un microteléfono y muchos aparatos telegráficos y de cine. Fue también un notable empresario.

Edison es el paradigma de uno de los tipos humanos más admirados en el mundo de hoy, no sólo por sus inventos sino también por su estilo práctico, que pasa con rapidez de una idea a su realización concreta aprovechable comercialmente. Sin embargo, es casi ignorado en el mundo académico “porque no era un científico”, según quiere una opinión altanera que desprecia las realizaciones prácticas basadas en ideas sencillas, por suponerlas poco profundas. Esto me parece un grave error: es necesario reivindicar a la “ciencia patatera”, como se califica a veces de forma despectiva a ese tipo de trabajo. Además, Edison no sólo consiguió elevar las condiciones de vida de la gente gracias a su ciencia patatera; fue también un científico que descubrió fenómenos importantes, como el llamado “efecto Edison”—consistente en la emisión de electrones por metales calentados a alta temperatura—, aunque en los ambientes académicos es designado más bien como “emisión termiónica”, regateándole el honor de usar su nombre.

La imagen que tenemos de Einstein es muy distinta y con razón. Sin embargo, trabajó durante varios años en la oficina de patentes de Berna examinando inventos—muchos de los cuales serían sin duda del estilo de los de Edison— y llegó a interesarse en la tecnología hasta el punto de que Friedrich Haller, su director, escribe en 1906 que “está entre los peritos más estimados de la oficina”. Aunque se le presenta siempre como un sabio en las nubes, no le faltaba el sentido práctico y le gustaban los inventos y los aparatos, quizá porque de joven tuvo que ver muchos en el negocio familiar de electrotecnia. Además, se ha dicho que su gran capacidad de separar lo importante de lo accesorio en cualquier problema le hacía ser un buen examinador de patentes.

Estando allí empleado, Einstein amplió los horizontes de la ciencia como nadie lo había hecho nunca en tan poco tiempo

(La única posible comparación serían los años 1665-1667, que Newton pasó retirado en su pueblo durante una epidemia de peste). Solo en el año de 1905 publicó tres trabajos que están entre los más importantes del siglo XX y de toda la historia de la física. Uno de ellos se refiere al errático zarandeo que sufren algunas partículas en suspensión en un líquido, conocido como movimiento browniano. Einstein demostró que se debe a los choques de los corpúsculos circundantes, aportando con ello una prueba decisiva de la existencia real de los átomos, negada todavía entonces por algunos científicos destacados. En otro, proponía una nueva concepción del espacio y el tiempo con su teoría de la relatividad. El primero cronológicamente hablando —el que le valdría 17 años más tarde el premio Nobel y uno de los trabajos fundadores de la física cuántica— contiene una explicación del llamado efecto fotoeléctrico, que consiste en la emisión de electrones por metales al recibir luz.

La imagen tópica nos presenta a un Einstein completamente alejado de las cuestiones prácticas. Seguro que no fue así. Está por hacerse el estudio de la importancia que tuvo para él su tiempo en la oficina de patentes, pero podemos imaginar cómo debían incitarle los inventos que examinaba a diario. Para su mente, tan inclinada a las explicaciones profundas, eran otros tantos desafíos. No cabe duda de que, antes de dar su teoría del efecto fotoeléctrico o de proponer la idea del fotón como constituyente de la luz, había pasado muchas horas tratando de entender el comportamiento de los electrones y de la luz en aquellos artefactos.

Así vemos a Edison y Einstein mucho más cerca de lo que se quiere creer, ocupándose de cosas próximas. Uno de los descubrimientos importantes en cada caso se refiere a la emisión de electrones por metales: en el efecto Edison, el fenómeno está producido por el calor; en el efecto fotoeléctrico, explicado por Einstein, por la luz. Los dos son importantes para cualquier teoría de la materia, los dos sirven para hacer cosas útiles. Pero esas dos personalidades tan diferentes reaccionaban de forma muy distinta ante lo que veían: Edison, buscando aplicaciones prácticas que cambiaran nuestra vida de cada día; Einstein, explicaciones fundamentales que abrieron nuevos horizontes al entendimiento del mundo.

## ¿QUÉ ES ANTES, LA CIENCIA O LA TECNOLOGÍA?

Esta polaridad entre Edison y Einstein proclama que ciencia y tecnología son muy distintas, aunque tienen a la vez mucho en común. O al revés, según se prefiera. Sus sutiles relaciones no son fáciles de describir o comprender y eso es causa de muchos malentendidos sobre su papel en el mundo de hoy. En el resto del capítulo intentaré mostrar que las dos necesitan de esa dicotomía —entre la abstracción y la búsqueda de lo general y la atención a lo concreto y a lo particular. Más aún, la historia prueba que ni ciencia ni tecnología pueden vivir sin apoyarse, a la vez, en esos dos polos. Una sociedad que sabe mirar al universo acaba inventando la lámpara incandescente y al revés; si se empieza por inventar ésta, se termina mirando el universo.

En realidad, más que de dos términos habría que hablar de tres —de triadidad más que de dualidad—, porque la acción del científico y del tecnólogo debe completarse con la del empresario. Pues el esquema es ternario: el investigador científico estudia un nuevo fenómeno, el tecnólogo desarrolla un producto basado en él y el empresario organiza la producción. Tomemos un ejemplo: dos físicos estudian en un laboratorio universitario —de modo teórico o experimental, eso da igual— la interacción de la luz con los átomos en un láser. El primero lo hace puramente por curiosidad intelectual, el segundo, porque sospecha la posibilidad de aplicaciones prácticas. En un laboratorio industrial un tecnólogo se ocupa del mismo tipo de láser con la finalidad de construir uno que sirva para usos médicos, en cirugía quizá. No le interesa buscar nuevos conocimientos ni nuevas ideas, sino diseñar un aparato concreto, para ser producido luego en una fábrica dirigida por un empresario y obtener beneficios vendiéndolo a hospitales.

Un arco continuo debe ir de la ciencia a la empresa. En su primera fase hay realmente dos estadios, como sugiere el ejemplo: la ciencia básica, cuyo objetivo es la generación de nuevos conocimientos sin ocuparse para nada de su utilidad, y la aplicada, que se concentra en los saberes de los que ya se ha probado o se sospecha una aplicación. Pero su frontera es difusa y esquiva, pues ¿cómo saber hoy lo que se puede aplicar mañana? Se cuenta que el inglés Michael Faraday contestó a alguien

que se mostraba escéptico sobre la utilidad de su último trabajo con esta pregunta: "¿para qué sirve un niño recién nacido?" Lo que acababa de encontrar era nada menos que la inducción eléctrica, el fundamento de la producción de energía y de toda la electrotecnia. En otra ocasión, el canceller del excheguer William Gladstone, quien sería más tarde primer ministro, le hizo una pregunta parecida. Respuesta de Faraday: "Señor, un día cobrará Ud. impuestos por ello". El escocés James Clerk Maxwell hizo uno de los descubrimientos más útiles de la historia: las ondas electromagnéticas, base de la radio, la televisión y las comunicaciones. Cuando trabajaba en su teoría en Cambridge, un grupo de industriales visitó su laboratorio en busca de inventos útiles. Las ondas electromagnéticas les dejaron fríos: todo su interés fue para una reproducción mecánica del sonido que servía para fabricar pianolas.

Las personas que trabajan en estos cuatro sectores tienen normalmente mentalidades, objetivos vitales y estilos personales muy diferentes, sin embargo deben ser capaces de comprender que poseen algo en común—como los electrones emitidos por los metales, en el caso de Edison y Einstein.

Pero, a pesar de la ligadura simple y lineal que podría deducirse del ejemplo anterior, los vínculos entre la ciencia y la tecnología no son fáciles de describir. El gran historiador Arnold Toynbee las compara con una pareja de bailarines que danzan juntos, pero de los que es imposible determinar quién dirige y quién se deja llevar, probablemente porque esos papeles se intercambian a menudo. Por eso, si nos preguntásemos ¿qué es antes, la ciencia o la tecnología? o, en otras palabras, ¿cuál de ellas surge de la otra?, no sería nada fácil responder.

Hay, además, otro problema. Las discusiones sobre cuál es el motor de la evolución científica y tecnológica han estado siempre marcadas por la polémica entre los internalistas, para quienes el proceso se realiza dentro de los muros que rodean a la comunidad de los científicos—con motivaciones propias y con gran autonomía respecto al exterior—y los externalistas, que priman la influencia de la sociedad sobre los científicos. Estos tienden a ser internalistas. Por contra, algunas ideologías sociales, como el marxismo y las tecnocracias, son externalistas. Una manera de aclarar esta cuestión y de saber cómo crece la ciencia consiste en estudiar las pautas que siguen las citas de

unos trabajos científicos a otros en los que se apoyan y que indiquen relaciones de precedencia o causalidad. Si unimos en un diagrama multidimensional cada artículo de las revistas especializadas con todos aquellos que lo citan obtendremos una estructura del crecimiento científico, de la que es posible deducir en qué ideas se apoya cada avance realizado.<sup>14</sup> Esto no es difícil de hacer porque existen un Directorio de Publicaciones Científicas y un Índice de Citas, que recoge todas las que cada trabajo hace a sus precedentes. Ambas son editadas por el Instituto de Información Científica de Filadelfia, tras escudriñar varios miles de revistas en todo el mundo. Ha nacido así una nueva disciplina sociológica, la ciéntometría, que se esfuerza por cuantificar todo lo posible el desarrollo de la ciencia y ha permitido descubrir varias leyes curiosas (un ejemplo: la ley del crecimiento exponencial, sorprendentemente válida desde el siglo XVII hasta hoy: de manera constante el número de trabajos científicos y publicados cada año se ha venido doblando cada 10 o 15 años, dependiendo de la manera en que se cuentan).

El desarrollo de la tecnología, en cambio, es más difícil de estudiar, pues no se basa en la publicación de trabajos. Mientras el científico se ve obligado, de modo acuciante y angustioso, a publicar resultados (tristemente forzado por el lema "pública o muere") en la tecnología la tradición es más bien la contraria: la de ocultar los propios avances para obtener un producto antes que los otros. Esta diferencia se puede expresar mediante el aforismo: "el científico quiere escribir, pero no leer; el tecnólogo quiere leer pero no escribir".

A pesar de ello, es posible concluir que ciencia y tecnología son dos estructuras dinámicas, en las que el viejo conocimiento engendra el nuevo. Esto no es muy sorprendente. Lo insólito es que los dos sistemas se mantienen claramente separados, de manera que el crecimiento se realiza dentro de cada uno de los dos campos, con muy pocas interacciones cruzadas desde uno al otro. La gran mayoría de los avances se basan en otros anteriores en el mismo bando, pero, al mismo tiempo, sus influencias mutuas son importantes. ¿Cómo entender esta paradoja? El historiador estadounidense de la ciencia y la tecnología,

<sup>14</sup> D. de Solla Price, *Hacia una ciencia de la ciencia*, Ariel, Barcelona, 1973.

Solla Price, la explica con una comparación interesante: dice que esas influencias se asemejan a las fuerzas débiles entre las partículas elementales. Los constituyentes básicos de la materia—como los protones, neutrones y electrones—actúan unos sobre otros mediante cuatro tipos de fuerzas: fuertes, electromagnéticas, débiles y gravitatorias. Las primeras son muy intensas y a ellas se debe la estabilidad de los núcleos de los átomos y la producción de energía en el Sol y las estrellas. Las electromagnéticas y las gravitatorias están en la base de toda la o las mareas. Las débiles, en cambio, parecen poco importantes por su pequeña intensidad y alcance prácticamente nulo; sólo se observan en algunos fenómenos especiales, en aparatos muy alejados de nuestra experiencia cotidiana, como es la llamada radiactividad beta. Podríamos pues pensar que, si se apagasen o si no existiesen, no ocurriría nada notable en especial. No más que algunos cambios en las agujas de los extraños aparatos que usan los científicos en sus esotéricos experimentos, sin que el común de las gentes sintiese nada particular.

Pero consideremos lo que pasa en el Sol: su energía se produce en cadenas de reacciones cuyo resultado es formar núcleos atómicos uniendo protones que estaban separados. Algunos de los eslabones de estas cadenas se deben a las fuerzas fuertes, otros a las débiles. Estos últimos no contribuyen a la energía—procedente en exclusiva de los fuertes—, pero el proceso no puede continuar sin ellos. Tienen, por tanto, la llave de la producción energética, que se interrumpiría por completo si ellos se apagasen, extinguiéndose también el Sol. Por eso, aunque cuantitativamente son débiles, su importancia cualitativa los hace decisivos.

Este modelo de Solla Price es expresivo. La relación entre Edison y Einstein parece a muchos insignificante, nula, inexistente. Al menos, nadie habla de ella. Pero, si se cortase esa relación débil que hay entre todos los Edison y todos los Einstein, el sistema ciencia-tecnología, sin llegar a apagarse como el Sol, se estancaría completamente. Por eso dice Solla Price que si EUIA frenase sus esfuerzos por relacionar la ciencia básica con la tecnología, perdería su papel de líder económico y político mundial en una década. Nos va mucho en entender por qué, pues al elitismo académico que desprecia las cuestiones

prácticas como inferiores, se contraponen el desprecio por las cuestiones básicas y fundamentales de los defensores del utilitarismo a ultranza.

#### UNA POLARIDAD DE LA MENTE

Esta dicotomía entre ciencia y tecnología—como dos estructuras paralelas que avanzan cada una por su propio impulso interior, pero que se fertilizan mutuamente de modo importante en una interacción débil—es la manifestación de una polaridad de la mente humana: hay un polo Edison, tendente a lo concreto y a lo particular, y un polo Einstein, buscador de lo abstracto y lo general. Esa misma oposición se reproduce dentro de cada una de las dos estructuras. En el caso de la ciencia, entre quienes tienden a formular teorías de validez general y quienes ven ante todo lo particular que hay en cada fenómeno.

Esta antinomia aparece de modo muy expresivo en la comparación del mejor teórico y el mejor experimentador de la física del siglo XX, Albert Einstein y Ernest Rutherford<sup>15</sup> respectivamente. Este último descubrió, entre otras muchas cosas, la naturaleza nuclear del átomo: que casi toda su masa está concentrada en un núcleo muy pequeño, alrededor del cual giran electrones. Si pudiéramos evocar al espíritu de Demócrito para preguntarle qué hazñas científicas de toda la historia le hubiesen interesado más, estoy seguro de que elegiría este logro de Rutherford. Su profundísimo sentido de lo concreto, conciencia del buen experimentador, era proverbial. Se dice que, durante una comida, alguien le habló de las dudas que tenían algunos de la existencia de los electrones, respondiendo él: "Bobadas, puedo sentir a esos malditos ante mí, tan claramente como a esta cuchara." En cambio, no apreciaba mucho la abstracción y decía de los físicos teóricos: "mientras juegan con sus símbolos, en mi laboratorio nos ocupamos de los hechos reales." Se explica así que no sintiera mucho aprecio por Einstein y que fuese completamente inmune a la magia de la relatividad, de la que decía: "Oh, esa historia [*that stuff*], nunca nos molestamos en pensar en ella en nuestro trabajo" y

<sup>15</sup> Para dos breves biografías muy clarificadoras de Einstein y Rutherford, ver C. P. Snow, *Nueve hombres del siglo XX*, Alianza, Madrid, 1969.

también: "Que no coja a nadie hablando del universo en mi laboratorio."

En realidad, habría que ir más allá de la dicotomía, haciendo una alabanza de la diversidad de los científicos, cuyos estilos o los escritores. Aquellos que ven la ciencia como un desarrollo lógico, en el que los elementos humanos deben primirse en aras de la objetividad, ignoran que su riqueza está también en las emociones, las costumbres y los estilos de quienes la crean. Por eso dice el historiador George Sarton<sup>16</sup> "así como se necesitan toda clase de hombres para formar una comunidad, así también son necesarios toda clase de científicos para empujar la ciencia en todas las direcciones posibles. Algunos son profundos pero de mente estrecha, otros, superficiales y de mente amplia. Muchos, como Anbal, saben conquistar, pero no utilizar sus victorias. Otros son colonizadores, mas no exploradores. Algunos son pedagogos. Otros quieren hacer medidas más precisas que nadie..." Esto es bueno, porque el proceso del descubrimiento es múltiple, variado y diverso. El día que todos los científicos sean del mismo talante vital, la ciencia se estancará completamente.

#### LOS GRIEGOS Y LA ABSTRACCIÓN

Las dos tendencias del espíritu humano a lo general y a lo particular, a lo uno y a lo múltiple, han sido valoradas de muy distinta manera y han tenido muy diversa fortuna a lo largo de la historia. Sus apoteosis han sido la antigua Grecia y la Inglaterra de la Revolución Industrial.<sup>17</sup>

Sin duda podemos fijar en Jonia, en los siglos VI y V a.C., el nacimiento de la ciencia. Su principio brillante, con dos de los descubrimientos más importantes de la historia: la teoría atomista de Leucipo y Demócrito y la medicina de Hipócrates. Pero la física y las otras ciencias de la naturaleza no llegaron a cuajar luego, tras desviarse pronto por un camino equivocado. En Grecia hubo grandes filósofos, matemáticos y astrónomos, pero no físicos ni biólogos. ¿A qué se debió esto? Los griegos hicieron un gran descubrimiento: la abstracción,

<sup>16</sup> G. Sarton, *The study of the history of science*, Dover Publications, Nueva York, 1957.  
<sup>17</sup> F. Dyson, *El infinito en todas direcciones*, Tusquets, Barcelona, 1991.

cuyo enorme éxito es paradójico, pues propone lo contrario a lo que haría el sentido común: alejarse de la cosa que se quiere estudiar, como mejor aproximación a ella. Si nos interesa una piedra, la abstracción aconseja olvidarla, para reflexionar en lo que hay de común en todas las piedras. Para medir una finca, sugiere considerar figuras ideales en un espacio parecido, pero distinto, al de tres dimensiones en que estamos metidos —para deducir luego relaciones geométricas perfectas que sólo se realizan de modo aproximado en los casos concretos. Así nació la geometría. Esta huida de lo particular, tan revolucionaria y contradictoria, tiene un poder antes insospechado y da a la mente humana una sorprendente capacidad de entender las cosas.

Ante el extraño éxito así conseguido, el pensamiento griego se sintió deslumbrado, dedicándose a practicar con exclusividad la abstracción, a concentrarse en las ideas y las teorías con menoscabo de los hechos y las cosas. Los resultados fueron brillantes en matemáticas, pero muy pobres en ciencias naturales. No significa esto que no observasen ni midiesen, sino que llegaron a creer que el mejor método para entender el mundo es partir de postulados metafísicos previos —por ejemplo, que los astros tienen que seguir caminos circulares porque éste es el único movimiento perfecto. Ocurrió así sobre todo por el influjo de Platón, quien explica en *Fedón* su método de trabajo: "En primer lugar, admitía el principio que consideraba más firme y después tomaba como cierto todo lo que concordaba con él y aquello que no estaba de acuerdo lo consideraba falso."

Este modo de operar metió a la ciencia natural en un callejón sin salida, del que no pudo librarse hasta el establecimiento del método experimental con la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII. Se descubrió entonces una idea que hoy nos parece evidente y trivial, pero en la que nadie reparaba por la inercia del estilo griego: si queremos estudiar una cosa conviene poner en duda todos los postulados previos, examinándola en detalle, cuidadosamente y sin prejuicios, mirando bien lo que tiene de particular y la distingue de las que se parecen a ella.

Por eso el método que adoptaron los griegos desde Platón es poco adecuado para ciencias como la física, que siempre

debe basarse en la combinación de los razonamientos desde primeros principios con la experimentación —manteniendo el equilibrio entre lo abstracto y lo concreto. Para entender por qué ocurrió así, cabe decir que el principio de la ciencia griega estuvo en relación estrecha con las aplicaciones y la observación, que interesaban mucho a sus primeros practicantes. Así Tales de Mileto, el primer científico cuyo nombre nos es conocido, fue, además de matemático, un ingeniero constructor de canales e inventor de instrumentos, entre ellos uno para medir desde lejos el tamaño de los barcos. Anaximandro, Anaximenes elaboró su teoría de que todo está hecho de aire al observar la condensación y la evaporación en la atmósfera, Empédocles de Agrigento realizó experimentos con embudos y agua, de los que dedujo que el aire es una sustancia material, y construyó una especie de pipeta para trasladar líquidos llamada ladrón de agua (según una tradición quizá apócrifa, murió despeñado en el cráter del Etna, en una especie de ceremonia de asunción al cielo, pero ¿por qué no pensar que se trataba más bien de una expedición científica para observar el volcán?)

Vemos que la clave del nacimiento de la ciencia podría haber sido la mano. Pero, tras un decisivo arranque, los griegos fueron incapaces de crear una auténtica ciencia física, probablemente porque su sociedad se hizo esclavista y los oficios manuales pasaron a ser despreciados como propios de hombres inferiores.<sup>18</sup> Así, Jenofonte, discípulo de Sócrates, decía en su obra *Oikonomikos*: "Las artes mecánicas llevan un estigma social y son justamente despreciadas. Pues esas artes dañan el cuerpo y deterioran el alma. [Quienes se ocupan de ellas] son considerados malos amigos y malos patriotas y, en algunas ciudades, es ilegal que un ciudadano ejerza oficios mecánicos."

Esta historia —que la ciencia griega nació de las artes manuales y empezó a decaer al despreciarlas— ha sido empleada por los defensores de la concepción utilitarista en apoyo de sus tesis. Pero el capítulo siguiente les va a contradecir: A pesar de esa limitación de su ciencia, el sistema intelectual griego era poderosísimo e impresionante cuando el poder político

del Mediterráneo pasó a los romanos. Éstos fueron un pueblo eminentemente pragmático y utilitario y pusieron un fuerte énfasis en las cuestiones prácticas: por eso desarrollaron de modo muy notable el derecho, la náutica y la ingeniería. Como tenían muchas necesidades técnicas concretas, deberían haber creado una buena ciencia, según los utilitarios. Pero no fue así: los romanos fueron grandes ingenieros, pero muy malos científicos. De hecho poco puede citarse de su ciencia, quitando la defensa de la doctrina atomista que hace Lucrecio en su gran poema *De rerum natura*, por muy importante que haya sido para mantener el fuego ante los átomos de Demócrito. Más aún, es difícil evitar la idea de que una de las razones de la extraña vulnerabilidad de su civilización —deshecha ante los bárbaros como un castillo de naipes— y de que Europa tardase mil años en recuperarse sea precisamente su desequilibrio, opuesto al de los griegos: se ocuparon sólo de hechos y cosas, despreciando ideas y teorías (veremos en el capítulo VIII que algo parecido ocurrió en España desde el siglo XVI).

#### GALILEO EQUILIBRA LOS DOS POLOS

La revolución científica del XVI y XVII tuvo tanto éxito precisamente porque el método experimental estableció por primera vez un equilibrio eficaz entre las dos tendencias. Seguía muy viva la tradición de la matemática griega, y a ella se superpuso la práctica del experimento. Galileo estableció su ley de la inercia de validez universal tras hacer medidas cuidadosas, pero decía que el "libro de la naturaleza está escrito en caracteres matemáticos". Kepler, el descubridor de las famosas tres leyes del movimiento de los planetas, era un matemático que empezó en el más puro estilo de los griegos, a base de principios y de suponer que el movimiento circular es el más perfecto, pero su profundo respeto por los datos de las observaciones sobre Marte le hizo cambiar de rumbo y descubrir cuán errónea era esa antigua idea, pues los planetas se mueven en elipses, no en circunferencias.

No sólo se estableció este equilibrio entre las tendencias a lo abstracto y a lo concreto, sino que se reanudó el abortado influjo mutuo entre ciencia y tecnología, como muestra la his-

<sup>18</sup> Benjamin Farrington ha desarrollado esta idea en libros como *Ciencia y política en el mundo antiguo*, Ciencia Nueva, Madrid, 1968, o *Science in antiquity*, Oxford University Press, 1969; ver también C. Sagan, *Cosmos*, Planeta, Barcelona, 1982.

toria del telescopio de Galileo, que tuvo un papel tan decisivo para establecer el método experimental. Se ha dicho con razón que su libro *Sidærus nuntius* (El mensajero celeste), donde se recogen sus observaciones astronómicas, contiene más descubrimientos científicos por página que cualquier otro libro de ciencia jamás escrito. Señala el inicio de una nueva época, contribuyendo a la revolución copernicana más aún que el mismo Copérnico. Quizá, sin este sencillo aparato, Galileo no hubiera pasado de ser un oscuro filósofo de la naturaleza; de esilo posiblemente medieval.<sup>19</sup>

¿Cómo ocurrió todo? El telescopio era un nuevo producto de una tecnología ya antigua: el arte de fabricar lentes. Poco antes de Galileo, hubo una mejora técnica importante —el torno para pulir el cristal, adaptación del de trabajar madera y del de los alfareros— que permitió construir buenas lentes y cóncavas de gran potencia. Pero éstas eran completamente inútiles para corregir la visión —para eso bastaban otras más débiles—; se usaban, en cambio, como instrumento de visión, al observar las extrañas pequeñas ilusiones sugeridas por sus imágenes. A alguien se le ocurrió colocar en un tubo una lente convergente y una divergente, inventándose así el telescopio en varios lugares distintos (uno de ellos Barcelona, véase capítulo VIII). Dos holandeses emprendedores, Zacarías Janssen y Hans Lippert, vieron un posible gran negocio y lo ofrecieron a los príncipes de Médicis como instrumento militar, para observar barcos o espiar los movimientos del enemigo. Galileo se enteró de la idea, la comprendió perfectamente y se adelantó a la llegada de los holandeses, construyendo por su cuenta, antes de haber visto ninguno.

Pero no miró barcos ni ejércitos. En cambio, hizo algo sorprendente y del todo inútil: dirigir su instrumento a los cielos. Esto no sirvió para nada práctico, pero fue el preludio de una carrera fulgurante de descubrimientos: hay montañas en la Luna, varios satélites giran en torno a Júpiter, Venus pasa por la fase como la Luna, Saturno tiene anillos, el Sol manchas, la Vía Láctea está compuesta por multitud de estrellas...

Fue un momento crucial en que se abrió un nuevo paradigma, en el sentido de Kuhn, debido a una interacción especial-

<sup>19</sup> D. de Solta Price, *op. cit.*

mente fuerte entre la ciencia y la tecnología. Pero la cosa no terminó ahí, pues la enorme popularidad que alcanzó el telescopio propició un gran impulso a su fabricación y a la tecnología óptica, abriendo paso a otros instrumentos que potencian los sentidos —microscopios, termómetros y barómetros— o que producen varios tipos de efectos —como generadores eléctricos y bombas de vacío. Esto, a su vez, permitió mejorar las observaciones biológicas y llegar a descubrir la célula. De esta forma el telescopio inició una cadena causal de efectos sucesivos entre la ciencia y la tecnología.

#### LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y LO CONCRETO

Todo esto indica que la ciencia progresa gracias a un balance entre lo abstracto y lo concreto, entre los polos Einstein y Edison, que brillaron, respectivamente, en la antigua Grecia y en la Inglaterra de la Revolución Industrial. En el primer caso el triunfo de las teorías y las ideas produjo una efervescencia explosiva que abrió paso a una de las épocas más fascinantes de la historia. Pero un claro desequilibrio en favor de la abstracción acabó causando un estancamiento de las ciencias naturales que no se corregiría hasta la Revolución Científica, en el tiempo de Galileo. El segundo, uno de los periodos más creativos y seminales de la humanidad, podría considerarse como la imagen en negativo de la antigua Grecia (aunque esta denominación evoque a muchos una edad oscura en la que se haya esclerotizado el saber).

A la pasión griega por lo abstracto corresponde la obsesión por lo concreto que llevó a aquellos ingleses a cambiar el mundo. Eran gentes muy diversas. Entre ellos, hábiles artesanos y empresarios, con tanta iniciativa como falta de base científica, que comprendieron que, diseñando máquinas térmicas o hidráulicas para la minería o la industria, se podrían abaratar los costos de una manera antes inimaginable —aunque no aplicaban principio científico alguno. Pero había también intelectuales y hombres de letras que se agrupaban en sociedades llamadas filosóficas y literarias —con finalidad parecida a las españolas de Amigos del País—, como las muy famosas de Manchester y Birmingham —esta última conocida como So-

ciudad Lunar porque celebraba sus reuniones las noches de luna llena, para facilitar la vuelta a casa de los tertulianos. Lo hacían con un carácter marcadamente anticadémico: las viejas universidades no eran capaces de acoger un cambio social tan importante.

Los defensores a ultranza de las posturas utilitaristas ven en la Revolución Industrial la prueba de que la ciencia nace de las necesidades sociales de tipo práctico y de nada más. Pero eso me parece un simplismo engañoso, aunque la utilidad haya desempeñado su papel. Por una parte, el desarrollo de la industria se mantuvo muy alejado de los centros científicos, al menos de los más importantes, en los que no influyó casi nada (las universidades de Warrington y Daventry se cian como excepciones que confirman la regla). Por otra, el calificativo que se daban esas sociedades —filosóficas y literarias— indican que ni la ciencia era su finalidad fundamental ni eran científicos la mayoría de sus miembros (algo parecido ni eran en Francia, pues los escritores de la famosa *Encyclopaedia* decían formar "una sociedad de gentes de letras"). Sin embargo, algunos científicos muy destacados representaron en ella un papel notable, como Priestley, el descubridor del oxígeno, Dalton, de la termodinámica o Watt, el perfeccionador de la máquina de vapor. Al examinar su obra, encontramos algo en común: no eran científicos dados a la abstracción, sino personas muy preocupadas por los experimentos y lo concreto, quizá porque ni la termodinámica ni la química habían llegado entonces al nivel de formulaciones generales. Es cierto que la utilidad era para ellos un valor importante, pero les movía una búsqueda de mayores vuelos: veían en la ciencia un instrumento de transformación social y por eso las fuerzas que generaron eran de carácter cultural y aun estético.

El capítulo siguiente ocurrió en Alemania, cuya incorporación a la Revolución Industrial, ya en pleno siglo XIX, siguió una pauta muy distinta: hubo allí un intento decidido y manifiesto de relacionar las nuevas técnicas con su base científica lo más general posible, en contacto estrecho con el mundo académico. Se suelen dar dos razones para ello.<sup>20</sup>

<sup>20</sup> J. Bernal, *La libertad de la necesidad*, Ayuso, Madrid, 1975.

La primera es que ya durante el XVIII se introdujo la nueva ciencia en sus universidades de forma decidida y con la vista puesta en las aplicaciones, en parte por la influencia de Leibniz, cuyo pronóstico "como los alemanes tienen una posición preeminente en minería, Alemania llegará a ser la madre de la química", indica su voluntad de relacionar la ciencia y la tecnología.

La segunda es en cierto modo la contraria a lo que dice la frase anterior. Alemania llegó tarde a la Revolución Industrial —en ese sentido fue el Japón del XIX (o Japón es la Alemania del XX, según se prefiera). Tuvo, por ello, la desventaja de tener que competir con una industria ya establecida y madura. Su respuesta fue creativa: mejorar su productividad y la calidad de sus productos mediante el refinamiento de sus métodos de trabajo. Al principio fue una reacción espontánea, pero, en la época de Bismarck, llegó a ser un propósito explícito de sus gobernantes que veían algo muy claramente: la grandeza alemana requería que su industria estuviese basada en la mejor ciencia posible. Esta característica suya se mantiene hoy: es el país de Europa que mejor ha conseguido integrar su ciencia básica y sus universidades con la industria, a lo que ha contribuido también el alto nivel de sus estudios humanistas. Sin duda, su enorme éxito se debe a haber conseguido un nuevo equilibrio entre el polo Edison y el polo Einstein.

En el siglo XX hay muchos ejemplos expresivos de la necesidad de ese equilibrio, de que el problema de la ciencia es una cuestión cultural en el sentido más profundo. Tomemos el descubrimiento en 1948 del transistor, uno de los elementos más ubicuos en nuestra civilización, sin el cual la tecnología sería hoy muy distinta. No cabe duda de que se trata de uno de los casos en que la ciencia y la tecnología interaccionaron con más intensidad. Se suele decir que es una prueba de que los resultados de la ciencia básica pueden llevar directamente a aplicaciones, y es cierto. En verdad, se trata de un triunfo de la teoría cuántica, aunque a los científicos geniales que la desarrollaron en el primer cuarto de siglo —Planck, Einstein, Bohr, Heisenberg, Dirac...— las aplicaciones de su trabajo les traían al fresco. Lo que le interesaba a Heisenberg era saber si los átomos ofrecían una prueba de la teoría de las ideas de Platón, a Dirac le movía la búsqueda de teorías con elegancia

matemática. Einstein pensaba en el misterio del mundo, Planck intentaba encontrar lo absoluto que se esconde tras lo relativo que observamos...

Parecería pues que el transistor es una consecuencia del poder de abstracción de la mente humana. Sin duda eso es parcialmente cierto, pero las cosas fueron en realidad algo más complicado. Lo mismo que en el caso del telescopio de Galileo, hubo una evidente transferencia desde la tecnología, como ha estudiado Solla Price; en este caso desde el arte de hacer crecer cristales, materias en que los átomos están dispuestos de manera regular y periódica en el espacio. Esas técnicas se habían desarrollado al intentar reproducir las condiciones geológicas bajo las que se forman algunas rocas cristalinas, especialmente los diamantes y otras piedras preciosas. Los laboratorios Bell querían usarlas para producir monocristales metálicos en un estudio de la conducción eléctrica, sin prever el transistor de ninguna manera. Pero la historia se repitió: el descubrimiento de un sistema instrumental abrió un campo nuevo, iniciando una inesperada cadena causal de influencias mutuas entre la ciencia y la tecnología, entre imprevistas relaciones e insospechadas lámparas eléctricas entre los Einstein y los Edison.

Porque las obras mejores han surgido siempre de combinar esos dos polos, recorriendo el camino de ida y vuelta que lleva de lo abstracto a lo concreto, de las ideas a las cosas, de las teorías a los hechos.

### III. Para una estética de la ciencia

LAS PIEDRAS CANTAN,  
LA NATURALFEZA BRILLA

HAY QUE defender una concepción estética de la ciencia. Cuando me enfrento a la teoría de la relatividad de Einstein, a la dinámica clásica de Newton o a la teoría de la evolución de Darwin, siento una emoción no muy distinta que al oír las *Variaciones Goldberg* de Bach, que suenan mientras escribo estas li-

50

neas, o un cuarteto de Beethoven o al ver los frescos de Miguel Ángel en la Capilla Sixtina. Es incluso posible establecer correspondencias entre los creadores científicos y los artísticos. Einstein era un constructor de estructuras que avanzaba con la seguridad y el aplomo de Bach; la inventiva, el brillo de las ideas y el gusto por el juego de Feynman recuerdan los de Mozart; el profundo sentido autocrítico de Brahm's retrasó la aparición de sus sinfonías, como le ocurrió a Darwin con su famoso libro. Diferentes personas harán distintas asociaciones, pero sin duda se pueden percibir muchas, porque, aunque las formas de la creación son muy variadas, se rellenan en los dos bandos pautas y estilos análogos.

El gran físico Richard Feynman hablaba de la "emoción religiosa" que sentía al contemplar la armonía de las leyes de la naturaleza, aunque lamentándose "pocos de los no científicos lo comprenden". Aunque algunos sí, como el poeta portugués Fernando Pessoa, para quien "el binomio de Newton es más hermoso que la Venus de Milo". Cuando los laboratorios Bell consiguieron las primeras imágenes jamás logradas de los átomos, gracias a un nuevo tipo de microscopio llamado de efecto túnel, invitaron a Feynman a verlo. Durante su visita, alguien llamado Platzmann se puso a dar explicaciones. Feynman, sintiendo la necesidad de silencio ante una impresión muy honda, le dijo: "¡Callate, Platzmann! ¡Ahí están los átomos! No hables, sólo mira. Eso es Dios."<sup>21</sup> Einstein decía que "la experiencia más bella y profunda que puede tener el hombre es el sentido de lo misterioso... percibir que, tras lo que podemos experimentar, se oculta algo inasequible a nuestro espíritu, algo cuya belleza y sublimidad se alcanza sólo indirectamente y a modo de pálido reflejo, es religiosidad".<sup>22</sup>

Muchos grandes científicos, admirados por la contemplación de las leyes de la naturaleza, a cuyo estudio dedican su vida, tienen un profundo sentido de la misteriosa belleza del mundo, distinto del de los artistas porque perciben latidos diferentes de las cosas. Sienten una emoción intensa ante las teorías y los experimentos que les acercan a un nivel más honrado de la realidad, sólo accesible tras un proceso personal con-

21 J. Mehra, *The beat of a different drum. The life and science of Richard Feynman*, Clarendon Press, Oxford, 1994, cap. 25.

22 A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, Antoni Bosch, Barcelona, 1980, p. 35.