

ANDRÉS MOLINA

CIENCIA,
TECNOLOGÍA

&

SOCIEDAD

SELECCIÓN DE TEXTOS

DE

QUEHACER CIENTÍFICO I

Instituto Tecnológico de Santo Domingo

**CIENCIA,
TECNOLOGÍA
&
SOCIEDAD**

**SELECCIÓN DE TEXTOS
DE
QUEHACER CIENTÍFICO I**

Andrés Molina

**CIENCIA,
TECNOLOGÍA
&
SOCIEDAD**

**SELECCIÓN DE TEXTOS
DE
QUEHACER CIENTÍFICO I**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SANTO DOMINGO
Santo Domingo, R.D.
2001**

Este libro se publica como material de apoyo educativo para uso exclusivo de los estudiantes del curso “Quehacer Científico I” del Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Por lo tanto, no estará a la venta para el público en general.

Los conceptos expresados en esta obra son responsabilidad de los autores de los artículos.

Ciencia, Tecnología y Sociedad. Selección de textos de Quehacer Científico I / Andrés Molina, compilador. – Santo Domingo : Instituto Tecnológico de Santo Domingo, 1999
249p.

1. Filosofía de la ciencia - Ensayos, conferencias, etc. 2. Ciencia - Ensayos, conferencias, etc. 3. Tecnología - Ensayos, conferencias, etc. I. Molina, Andrés, ed.

CEP/INTEC

501 Q3c

© Instituto Tecnológico de Santo Domingo, 1999

Primera reimpresión: 2001

ISBN 84-89525-57-9

Composición y diagramación:

Departamento de Investigaciones y Publicaciones Científicas - INTEC

Impreso por:

Editora Búho

Santo Domingo, República Dominicana

Impreso en Republica Dominicana

INDICE

INTRODUCCIÓN

La ciencia, una construcción humana <i>Andrés Molina</i>	9
-------------------------------------------------------------------	---

PARTE I

EL SABER CIENTÍFICO

¿Qué es la ciencia? <i>Mario Bunge</i>	17
Ciencia y filosofía <i>Marx Wartofsky</i>	41

PARTE II

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Orígenes de las relaciones ciencia - poder político <i>J. J. Salomon</i>	63
Ciencia moderna y burguesía <i>Stefano Sonnati</i>	77
Ciencia, tecnología y desarrollo: algunos modelos de relación <i>Luis A. Camacho N.</i>	89
El desarrollo de la tecnología <i>Gomory E. Ralph</i>	97
Ciencia y tecnología <i>J. Ziman</i>	111

La tecnología y nuestras responsabilidades hacia las generaciones futuras <i>John J. Snyder</i>	137
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

PARTE III

¿HAY UN MÉTODO DE LA CIENCIA?

El método científico <i>Mario Bunge</i>	151
Las hipótesis y el método científico <i>Cohen-Nagel</i>	159
Miseria de la metodología <i>Andrés Molina</i>	185
Revoluciones científicas y cambios conceptuales <i>H. Brown</i>	199

PARTE IV

CRÍTICA DE LA RAZÓN CIENTÍFICA

Presupuestos y límites de la ciencia <i>Peter E. Hodgson</i>	215
Los argumentos extraídos de la metodología no demuestran la superioridad de la ciencia <i>Paul Feyerabend</i>	235

INTRODUCCIÓN

La ciencia, una construcción humana.

Andrés Molina

La aparición de la ciencia en el horizonte cultural de fines del Renacimiento, inicia una nueva visión del Universo, del ser humano y de las relaciones entre uno y otro. El conocimiento científico es parte constitutiva del espíritu moderno y su confianza en el papel transformador de la humanidad, sus posibilidades de conocer la realidad y de concebir, sobre la base de la acción práctica sobre el medio, un futuro deseado. Contraria a la imagen del mundo del pensamiento medieval, cimentado sobre el apego a las tradiciones, a la palabra de una autoridad del saber y a la creencia en un mundo como fuente de perdición o pecado, la ciencia instituye un nuevo conocimiento, fundado en la autonomía de la razón y en una actitud crítica frente a lo heredado, en el reconocimiento del valor de la experiencia en el proceso de construcción del saber y en la confianza en el poder del conocimiento para transformar el mundo.

La ciencia, en contraste con las ideas que conforman la cosmovisión medieval, fue una extraña criatura en el ámbito de una cultura todavía no moderna. La insistencia de los primeros científicos en proporcionar una imagen del mundo tal y como es, al resguardo de los intereses en pugna o de visiones particulares, hizo del saber científico un tipo de conocimiento que debía ser abierto, no esotérico, transparente. No es casual que muchos de los investigadores científicos representativos de los siglos XVI y XVII, escribieran sus obras en el lenguaje de sus pueblos respectivos. El saber, para ser auténtico, debía

circular, difundirse, someterse a la prueba de la consideración pública. Se impugnaba así, la legitimidad de un saber aposentado en los claustros y dominio de unos pocos. Ciencia y democracia se superponen en el vasto y ambicioso proyecto de emancipación de lo humano que inaugura la modernidad.

Sólo el ser humano moderno, fundándose en el reconocimiento de su singularidad ante un mundo entendido como lo otro, podía hacer suya una visión del Universo como la que la ciencia proponía o hacía posible. Por raro que parezca, para muchos la actitud de la teología medieval frente al mundo ofrecía condiciones para el advenimiento de la ciencia experimental moderna. La teología medieval cristiana al concebir la separación de humanidad y mundo ofrecía, sin saberlo, el terreno fértil desde donde podría brotar el conocimiento científico.

El secreto del éxito de la ciencia en la sociedad moderna, radica en que el tipo de saber que ofrecía se inscribía en el centro mismo de la sociedad que históricamente cristalizaba. El éxito social de la ciencia se aseguraba por ser la propia ciencia, parte de la constelación cultural asociada a la acción emancipadora de la sociedad moderna.

Por ofrecer una explicación racional y objetiva de cuanto ocurre en el mundo, al propio tiempo que suministrar medios eficaces de acción fundados en el conocimiento, la ciencia anuncia lo que entrado el siglo XX ya no está al alcance de la duda: su carácter de fuerza productiva de primer orden. Hoy, ciencia y tecnología fusionadas, hacen posible un saber y una acción transformadores como ninguna otra época conoció.

Aquí conviene una reflexión de cara a las consecuencias sociales de la llamada revolución científico-técnica. Si en el siglo XVII, la ciencia trató de situarse expresamente, al margen de las luchas de intereses de su época afirmando su neutralidad ética, política o religiosa, en el presente, el problema de su carácter neutro requiere ser vuelto a pensar. Las consecuencias que pudieran derivarse del uso de los conocimientos científicos por cuanto en el presente atañen a toda la humanidad, colocan en un primer plano los problemas de las relaciones ciencia-sociedad. En tanto que fuerza productiva planetaria la ciencia contemplada desde sus aplicaciones trasciende las fronteras de las especialidades que le son propias y resitúa la problemática de su razón social.

¿Puede la ciencia irresponsabilizarse de las consecuencias que emanan de sus aplicaciones? ¿Está la ciencia ajena al uso indebido de sus descubrimientos? Si hace unas cinco décadas el problema de la responsabilidad ética del científico podía parecer un interesante tema académico, en el presente es asunto de gran número de reflexiones sobre el futuro de la especie humana. La imagen por mucho tiempo dominante de una ciencia centrada en la investigación desinteresada de la realidad, ha sido cambiada sensiblemente por la de un saber provechoso, útil, de rápidas y profundas repercusiones sociales.

La consciencia del científico pudo reclamar su inocencia mientras podían atribuírsele a la técnica las consecuencias no siempre deseables que empezaban a anunciarse. Pero, desde la segunda mitad del siglo que finaliza, ante el científico se presenta la necesidad de revisar algunas de sus antiguas premisas.

La cuestión no es tan sencilla como abandonarse a la disyuntiva, o hacer ciencia sin reparar en las consecuencias, o establecer controles éticos, políticos y sociales a la investigación científica. Si escogiésemos el primer camino, la ciencia se autoperibiría desvinculada de la sociedad, en un período histórico en que la ilusión de su neutralidad no está justificada, dada la importancia capital del saber científico en nuestros días. Tomada la segunda opción, no puede descartarse el peligro de que esos controles enrarezcan el ambiente idóneo para la propia investigación científica. Pero, ni una ciencia ciega, ajena a las posibles consecuencias de sus descubrimientos, ni una ciencia cautiva, sujeta a normas exógenas, constituyen una respuesta satisfactoria a los problemas de las relaciones ciencia-ética. Se debe aspirar a una ciencia que ofrezca un lugar a la reflexión acerca de sí misma y de las consecuencias de sus logros, sin que por ello deje de ocuparse de construir una visión racional del mundo. Una ciencia que reflexione sobre sus propios presupuestos y reconozca las fronteras propias de su competencia, aceptando al propio tiempo escuchar las voces provenientes de otros ámbitos del saber.

La ciencia moderna, aunque es una componente importante de la cultura actual, no siempre ha sido entendida de modo claro como tal. Curiosamente, “en nuestra cultura la idea misma de tratar a la ciencia como una realidad cultural, comparable a las demás realidades culturales, tropieza con fuertes resistencias” (Thuillier). Alcanzado el siglo XIX, la era del positivismo y la fe en el progreso, las relaciones

entre ciencia y cultura se hacen problemáticas. La ciencia, en virtud de sus éxitos teóricos y prácticos, percibido como el saber por excelencia, asentada en los hechos y al margen de las eternas querellas de filósofos, literatos, artistas, etc., parecía llegar a excluirse del lugar que le corresponde en la cultura de nuestra época. Paradójicamente, esos éxitos logrados y el reconocimiento social de que era objeto la ciencia no impidieron, quizás favorecieron, la segregación cultural a que hacemos alusión. La ciencia que reclama el presente, y que empieza a dejar ver borrosamente sus contornos, deberá pactar una “nueva alianza” con la naturaleza, con el ser humano y con las demás formas de saber. La ciencia clásica, ésa misma que terminó concibiéndose separada de su medio cultural, está siendo reemplazada por esa nueva visión del mundo que se prefigura. Una visión que ya no concibe al mundo como una maquinaria construida con pequeñas piezas ensambladas; una ciencia que no se entiende ella misma como saber único y privilegiado, situado al margen de los paradigmas culturales del presente histórico en que le toca vivir.

Si bien la segregación cultural de la ciencia, tuvo como una de sus consecuencias la delimitación y la profesionalización de la actividad científica, dicha segregación llevada más allá de la época que la justificaría, se convierte en un verdadero obstáculo para el desarrollo de un pensamiento y una actividad científicos socialmente articulados.

Entrado el siglo XX, la ciencia convertida en una institución social pasa a constituirse en objeto de estudios sociales. La justificación de una sociología de la ciencia se sustenta no sólo en la necesidad de estudiar el tipo de organización comunitaria que se verifica entre los científicos, sus códigos éticos o la percepción que la sociedad llega a tener de la actividad científica, sino además, en la necesidad de revelar los nexos existentes entre las ideas científicas y ciertos paradigmas amplia y profundamente enraizados culturalmente. Se parte del supuesto de que la ciencia no es un tipo de saber totalmente separado del entorno cultural, del mundo de la vida concreta. Entre un concepto científico y su medio ambiente cultural se asume la existencia de una afinidad interior: un concepto científico está “cargado” histórica y culturalmente. Desde los estudios de Weber y las relaciones entrevistas por él entre protestantismo, capitalismo y ciencia moderna, toma cuerpo esta iniciativa de comprender socialmente la actividad

científica. Los estudios, desde perspectivas diferentes, hechos por R. Merton, E. A. Burt, A. Koyré, L. Fleck y T. Kuhn entre otros, contribuyeron a erosionar la concepción de la ciencia como saber absoluto, al margen del escenario social.

La ciencia vista desde estos estudios, deja de ser ése saber privilegio en que se constituyó, traicionando en alguna medida sus postulados fundacionales públicos, para pasar a ser entendida como una forma de conocimiento entre otras, circunscrito por su época, con los objetivos y métodos que les son propios. A cada época o periodo histórico se asocia un tipo de saber que la representa y sobre el cual la sociedad deposita muchas de sus expectativas. Al tipo de sociedad occidental se asocia el saber emprendedor y transformador que es el científico, pasando éste a ser entendido como fenómeno histórico condicionado más que como encarnación de una razón universal.

La “nueva sociología de la ciencia”, inspirada en las recientes investigaciones acerca del tipo de conocimiento que nos provee la ciencia, sus métodos y prácticas, no ha hecho sino sumar mas argumentos que apoyan el carácter condicionado del quehacer científico. Incluso los patrones del ethos científico, reunidos por Merton en 1942, han sido enfrentados a contraejemplos que desmienten la completa coherencia entre la conducta del científico y los valores que dice representar o defender. Se ha revelado un verdadero “dark side” de la práctica científica, durante mucho tiempo deliberadamente ocultado o soslayado por las historias positivistas dominantes.

Si bien hay tendencias que en sus críticas a la visión iluminista del pensamiento científico, considerado como el modelo de racionalidad por excelencia, llegan a la exageración, desplazándose del racionalismo al irracionalismo, la “nueva sociología de la ciencia” está aportando elementos valiosos de una crítica de la razón científica. Se ponen en entredicho las imágenes de la realidad que nos proporciona la ciencia, la aplicación coherente del llamado método científico y el comportamiento supuestamente transparente de la actividad científica. Muy a pesar de las exageraciones que podríamos imputar a los nuevos enfoques, lo sano de muchas de sus críticas radica en que a partir de ellos, y por ellos, está emergiendo un concepto menos idealizado de la ciencia y su práctica.

La ciencia es un tipo de conocimiento de la realidad que al propio tiempo, pone en juego la posibilidad real de su utilización práctica a través del dominio tecnológico. Ha tenido éxitos, precisamente por ésa fusión de sus rasgos teóricos e instrumentales.

El tema de la ciencia es inagotable, puede ser abordado desde variadas perspectivas, e inspirado por diferentes intereses. Las reflexiones precedentes pretenden ser una incitación a que se inicie la construcción de juicios propios acerca del quehacer científico. De modo deliberado hemos reunido textos que abordan la problemática de la ciencia desde perspectivas distintas, incluso opuestas. Sólo así, contrastando unas y otras ideas, acercándonos a la diversidad, hurgando en ella, se sientan las bases de un pensamiento original, abierto y plural sobre una actividad que, como la científica, tiene ganado un importante lugar en el mundo actual.

PARTE I

EL SABER CIENTÍFICO

¿QUÉ ES LA CIENCIA?*

Mario Bunge

Introducción.

Mientras los animales inferiores sólo están en el mundo, el hombre trata de entenderlo; y, sobre la base de su inteligencia imperfecta pero perfectible del mundo, el hombre intenta enseñorearse de él para hacerlo más confortable. Este proceso, construye un mundo artificial: ese creciente cuerpo de ideas llamado "ciencia", que puede caracterizarse como conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable y por consiguiente falible. Por medio de la investigación científica, el hombre ha alcanzado una reconstrucción conceptual del mundo que es cada vez más amplia, profunda y exacta.

Un mundo le es dado al hombre; su gloria no es soportar o despreciar este mundo, sino enriquecerlo construyendo otros universos. Amasa y remoldea la naturaleza sometiéndola a sus propias necesidades; construye la sociedad y es a su vez construido por ella; trata luego de remodelar este ambiente artificial para adaptarlo a sus propias necesidades animales y espirituales, así como a sus sueños; crea así el mundo de los artefactos y el mundo de la cultura. La ciencia como actividad —como investigación— pertenece a la vida social; en cuanto se la aplica al mejoramiento de nuestro medio natural y artificial, a la invención y manufactura de bienes materiales y culturales, la ciencia se nos aparece como la más deslumbrante y asombrosa de las estrellas de la cultura cuando la consideramos como un bien por sí mismo, esto es, como un sistema de ideas establecidas provisionalmente (cono-

(*) Fuente: Mario Bunge, "La ciencia: su método y su filosofía".

cimiento científico), y como una actividad productora de nuevas ideas (investigación científica). Tratemos de caracterizar el conocimiento y la investigación científicos tal como se los conoce en la actualidad.

Ciencia formal y ciencia fáctica.

No toda la investigación científica procura el conocimiento objetivo. Así, la lógica y la matemática —esto es, los diversos sistemas de lógica formal y los diferentes capítulos de la matemática pura— son racionales, sistemáticos y verificables, pero no son objetivos, no nos dan informaciones acerca de la realidad; simplemente, no se ocupan de los hechos. La lógica y la matemática tratan de entes ideales; estos entes, tanto los abstractos como los interpretados, sólo existen en la mente humana. A los lógicos y matemáticos no se les da objetos de estudio: ellos construyen sus propios objetos. Es verdad que a menudo lo hacen por abstracción de objetos reales (naturales y sociales); más aún, el trabajo del lógico o del matemático satisface a menudo las necesidades del naturalista, del sociólogo o del tecnólogo, y es por esto que la sociedad los tolera y, ahora, hasta los estimula. Pero la materia prima que emplean lógicos y los matemáticos no es fáctica sino ideal.

Por ejemplo, el concepto de número abstracto nació, sin duda, de la coordinación (correspondencia biunívoca) de conjuntos de objetos materiales, tales como dedos, por una parte, y guijarros, por la otra; pero no por esto aquel concepto se reduce a esta operación manual, ni a los signos que se emplean para representarlo. Los números no existen fuera de nuestros cerebros, y aún allí dentro existen al nivel conceptual y no a nivel fisiológico. Los objetos materiales son numerables siempre que sean discontinuos; pero no son números; tampoco son números puros (abstractos) sus cualidades o relaciones. En el mundo real encontramos 3 libros, en el mundo de la ficción construimos 3 platos voladores. ¿Pero quién vio jamás un 3, un simple 3?

La lógica y la matemática, por ocuparse de inventar entes formales y de establecer relaciones entre ellos, se llaman a menudo *ciencias formales*, precisamente porque sus objetos no son cosas ni procesos sino, para emplear el lenguaje pictórico, formas en las que se puede verter un surtido ilimitado de contenidos, tanto fácticos como empíricos. Esto es, podemos establecer *correspondencias* entre esas formas (u objetos formales), por una parte, y cosas y procesos pertenecientes a

cualquier nivel de la realidad, por la otra. Así es como la física, la química, la fisiología, la psicología, la economía y las demás ciencias recurren a la matemática, empleándola como herramienta para realizar la más precisa reconstrucción de las complejas relaciones que se encuentran entre los hechos y entre los diversos aspectos de los hechos; dichas ciencias no identifican las formas ideales con los objetos concretos, sino que interpretan las primeras en términos de hechos y de experiencias (o, lo que es equivalente, formalizan enunciados fácticos).

Lo mismo vale para la lógica formal: algunas de sus partes —en particular, pero no exclusivamente, la lógica proposicional bivalente— pueden hacerse corresponder a aquellas entidades psíquicas que llamamos pensamientos. Semejante aplicación de las ciencias de la forma pura a la inteligencia del mundo de los hechos se efectúa asignando diferentes interpretaciones a los objetos formales. Estas interpretaciones son, dentro de ciertos límites, arbitrarias; vale decir, se justifican por el éxito, la conveniencia o la ignorancia. En otras palabras, el significado fáctico o empírico que se les asigna a los objetos formales no es una propiedad intrínseca de los mismos. De esta manera, las ciencias formales jamás entran en conflicto con la realidad. Esto explica la paradoja de que, siendo formales, se “aplican” a la realidad: en rigor no se aplican, sino que se emplean en la vida cotidiana y en las ciencias fácticas a condición de que se les superpongan reglas de correspondencia adecuada. En suma, la lógica y la matemática establecen contacto con la realidad a través del puente del lenguaje, tanto el ordinario como el científico.

Tenemos así una primera gran división de las ciencias, en formales (o ideales) y fácticas, (o materiales). Esta ramificación preliminar tiene en cuenta el objeto o tema de las respectivas disciplinas, también da cuenta de la diferencia de especie entre los enunciados que se proponen establecer las ciencias formales y las fácticas: mientras los enunciados formales consisten en relaciones entre signos, los enunciados de las ciencias fácticas se refieren, en su mayoría, a entes extracientíficos: a sucesos y procesos. Nuestra división también tiene en cuenta el *método* por el cual se ponen a prueba los enunciados verificables: mientras las ciencias formales se contentan con la lógica para demostrar rigurosamente sus teoremas (los que, sin embargo, pudieron haber

sido adivinados por inducción común o de otras maneras), las ciencias fácticas necesitan más que la lógica formal: para confirmar sus conjeturas necesitan de la observación y/o experimento. En otras palabras, las ciencias fácticas tienen que mirar las cosas y, siempre que les sea posible, deben procurar cambiarlas deliberadamente para intentar descubrir en qué medida sus hipótesis se adecuan a los hechos.

Cuando se demuestra un teorema lógico o matemático no se recurre a la experiencia: el conjunto de postulados, definiciones, reglas de formación de las expresiones dotadas de significado, y reglas de inferencia deductiva --en suma la base de la teoría dada--, es necesaria y suficiente para ese propósito. La demostración de los teoremas no es sino, una deducción: es una operación confinada a la esfera teórica, aun cuando a veces los teoremas mismos (no sus demostraciones) sean sugeridos en alguna esfera extramatemática, y aun cuando su prueba (pero no su primer descubrimiento) pueda realizarse con ayuda de calculadoras electrónicas. Por ejemplo, cualquier demostración rigurosa del teorema de Pitágoras prescinde de las mediciones, y emplea figuras sólo como ayuda psicológica al proceso deductivo; que el teorema de Pitágoras haya sido el resultado de un largo proceso de inducción conectado a operaciones prácticas de mediciones de tierras, es objeto de la historia, la sociología y la psicología del conocimiento.

La matemática y la lógica son, en suma, ciencias deductivas. El proceso constructivo, en que la experiencia desempeña un gran papel de sugerencias, se limita a la formación de los puntos de partida (axiomas). En matemática la verdad consiste, por esto, en la coherencia del enunciado dado con un sistema de ideas admitido previamente: por esto, la verdad matemática no es absoluta, sino relativa a ese sistema, en el sentido de que una proposición que es válida en una teoría puede dejar de ser lógicamente verdadera en otra teoría. (Por ejemplo, en el sistema de aritmética, que empleamos para contar las horas del día, vale la proposición de $24 + 1 = 1$). Más aún las teorías matemáticas abstractas, esto es, que contienen términos no interpretados (signos a los que no se atribuye un significado fijo, y que por lo tanto pueden adquirir distintos significados) pueden desarrollarse sin poner atención al problema de la verdad.

Considérese el siguiente axioma de cierta teoría abstracta (no interpretada): "Existe por lo menos un x tal que es F ". Se puede dar un

número ilimitado de interpretaciones (modelos), de este axioma dándose a 'x' y 'F' otros tantos significados. Si decimos que 'S' designa punto, obtenemos un modelo geométrico dado; si adoptamos la convención de que 'U' designa número, obtenemos un cierto modelo aritmético, y así sucesivamente. En cuanto "llenamos" la forma vacía con un contenido específico (pero todavía matemático), obtenemos un sistema de entes lógicos que tienen el privilegio de ser verdaderos o falsos dentro del sistema dado de proposiciones: a partir de ahí tenemos que habérmolas con el problema de la verdad matemática. Aun así tan sólo las conclusiones (teoremas) tendrán que ser verdaderas: los axiomas mismos pueden elegirse a voluntad. La batalla se habrá ganado si se respeta la coherencia lógica, esto es, si no se violan las leyes del sistema de lógica que se ha convenido en usar.

En las ciencias fácticas, la situación es enteramente diferente. En primer lugar, ellas no emplean símbolos vacíos (variables lógicas), sino tan sólo símbolos interpretados; por ejemplo, no involucran expresiones tales como "x es F", que no son verdaderas ni falsas. En segundo lugar, la racionalidad —esto es, la coherencia con un sistema de ideas aceptado previamente— es necesaria pero no suficiente para los enunciados fácticos; en particular, la sumisión a algún sistema de lógica es necesaria pero no es una garantía de que se obtenga la verdad. Además de la racionalidad, exigimos de los enunciados de las ciencias fácticas que sean verificables en la experiencia, sea indirectamente (en el caso de las hipótesis generales), sea directamente (en el caso de las consecuencias singulares de las hipótesis). Únicamente después que haya pasado las pruebas de la verificación empírica podrá considerarse que un enunciado es adecuado a su objeto, o sea, que es verdadero, y aun así hasta nueva orden. Por esto es que el conocimiento fáctico verificable se llama a menudo *ciencia empírica*.

En resumidas cuentas, la coherencia es necesaria pero no suficiente en el campo de las ciencias de hechos: para afirmar que un enunciado es verdadero se requieren datos empíricos (proposiciones acerca de observaciones o experimentos). En última instancia, sólo la experiencia puede decirnos si una hipótesis relativa a cierto grupo de hechos materiales es adecuada o no. El mejor fundamento de esta regla metodológica que acabamos de enunciar es que la experiencia le ha enseñado a la humanidad que el conocimiento de hecho no es

convencional, que si se busca la comprensión y el control de los hechos debe partirse de la experiencia. Pero la experiencia no garantizará que la hipótesis en cuestión sea la única verdadera: sólo nos dirá que es probablemente adecuada, sin excluir por ello la posibilidad de que un estudio ulterior pueda dar mejores aproximaciones en la reconstrucción conceptual del trozo de realidad escogido. El conocimiento fáctico, aunque racional, es esencialmente probable; dicho de otro modo: la inferencia científica es una red de inferencias deductivas (demostrativas) y probables (inconcluyentes).

Las ciencias formales demuestran o prueban: las ciencias fácticas verifican (confirman o disconfirman) hipótesis que en su mayoría son provisionales. La demostración es completa y final; la verificación es incompleta y por ello temporaria. La naturaleza misma del método científico impide la confirmación final de las hipótesis fácticas. En efecto, los científicos no sólo procuran acumular elementos de prueba de sus suposiciones multiplicando el número de casos en que ellas se cumplen; también tratan de obtener casos desfavorables a sus hipótesis, fundándose en el principio lógico de que una sola conclusión que no concuerde con los hechos tiene más peso que mil confirmaciones. Por ello, mientras las teorías formales pueden ser llevadas a un estado de perfección (o estancamiento), los sistemas teóricos relativos a hechos son esencialmente defectuosos; cumplen pues, la condición necesaria para ser perfectibles. En consecuencia, si el estudio de las ciencias formales puede vigorizar el hábito del rigor, el sentido de las ciencias fácticas puede inducirnos a considerar el mundo como inagotable, y al hombre como una empresa inconclusa e interminable.

Las diferencias de método, tipo de enunciados, y referentes, que separan las ciencias fácticas de las formales, impiden que se las examine conjuntamente más allá de cierto punto. Por ser una ficción seria, rigurosa y a menudo útil, pero ficción al cabo, la ciencia formal requiere un tratamiento especial. En lo que sigue nos concentraremos en la ciencia fáctica. Daremos un vistazo a las características peculiares de las ciencias de la naturaleza y de la cultura en su estado actual, con la esperanza de que la ciencia futura enriquezca sus cualidades o, al menos, de que las civilizaciones por venir hagan mejor uso del conocimiento científico.

Los rasgos esenciales del tipo de conocimiento que alcanzan las ciencias de la naturaleza y de la sociedad son la *racionalidad* y la *objetividad*. Por conocimiento racional se entiende:

a) que está constituido por conceptos, juicios y racionios, y no por sensaciones, imágenes, pautas de conducta, etc. Sin duda, el científico percibe, forma imágenes (p. ej., modelos visualizables) y hace operaciones; pero tanto el punto de partida como el punto final de su trabajo son ideas;

b) que esas ideas pueden combinarse de acuerdo con algún conjunto de reglas lógicas, con el fin de producir nuevas ideas (inferencia deductiva). Estas no son enteramente nuevas desde un punto de vista estrictamente lógico, puesto que están implicadas por las premisas de la deducción; pero son gnoseológicamente nuevas en la medida en que expresan conocimientos de los que no se tenía conciencia antes de efectuarse la deducción;

c) que esas ideas no se amontonan caóticamente o, simplemente, en forma cronológica, sino que se organizan en sistemas de ideas, esto es, en conjuntos ordenados de proposiciones (teorías).

Que el conocimiento científico de la realidad es objetivo significa:

a) que concuerda aproximadamente con su objeto; vale decir, que busca alcanzar la verdad fáctica;

b) que verifica la adaptación de las ideas a los hechos recurriendo a un comercio peculiar con los hechos (observación y experimento), intercambio que es controlable y hasta cierto punto reproducible.

Ambos rasgos de la ciencia fáctica, la racionalidad y la objetividad, están íntimamente soldados. Así, por ejemplo, lo que usualmente se verifica por medio del experimento es alguna consecuencia —extraída por vía deductiva— de alguna hipótesis; otro ejemplo: el cálculo no sólo sigue a la observación sino que siempre es indispensable para planearla y registrarla. La racionalidad y objetividad del conocimiento científico pueden analizarse en un cúmulo de características a las que pasaremos revista en lo que sigue.

Inventario de las principales características de la ciencia fáctica.

1) *El conocimiento científico es fáctico*: parte de los hechos los respeta hasta cierto punto, y siempre vuelve a ellos. La ciencia intenta

describir los hechos, tales como son, independientemente de su valor emocional o comercial: la ciencia no poetiza los hechos ni los vende, si bien sus hazañas son una fuente de poesía y de negocios. En todos los campos, la ciencia comienza estableciendo los hechos; esto requiere curiosidad impersonal, desconfianza por la opinión prevaleciente y sensibilidad a la novedad.

Los enunciados fácticos confirmados se llaman usualmente “datos empíricos”; se obtienen con ayuda de teorías (por esquemáticas que sean) y son a su vez la materia prima de la elaboración teórica. Una subclase de datos empíricos es de tipo cuantitativo; los datos numéricos y métricos se disponen a menudo en tablas, las más importantes de las cuales son las tablas de constantes (tales como las de los puntos de fusión de las diferentes sustancias). Pero la recolección de datos y su ulterior disposición en tablas no es la finalidad principal de la investigación: la información de esta clase debe incorporarse a teorías si ha de convertirse en una herramienta para la inteligencia y la aplicación. ¿De qué sirve conocer el peso específico del hierro si carecemos de fórmulas mediante las cuales podemos relacionarlo con otras cantidades?

No siempre es posible, ni siquiera deseable, respetar enteramente los hechos cuando se los analiza, y no hay ciencia sin análisis, aun cuando el análisis no sea sino un medio para la reconstrucción final de los todos. El físico atómico perturba el átomo al que desea espiar; el biólogo modifica y puede incluso matar al ser vivo que analiza; el antropólogo empeñado en el estudio de campo de una comunidad provoca en ella ciertas modificaciones. Ninguno de ellos aprehende su objeto tal como es, sino tal como queda modificado por sus propias operaciones; sin embargo, en todos los casos tales cambios son objetivos, y se presume que pueden entenderse en términos de leyes: no son conjurados arbitrariamente por el experimentador. Más aún, en todos los casos el investigador intenta describir las características y el monto de la perturbación que produce en el acto del experimento; procura, en suma, estimar la desviación o “error” producido por su intervención activa. Porque los científicos actúan haciendo tácitamente la suposición de que el mundo existiría aun en su ausencia, aunque, desde luego, no exactamente de la misma manera.

2) *El conocimiento científico trasciende los hechos*: descarta hechos, produce nuevos hechos y los explica. El sentido común parte de los hechos y se atiene a ellos: a menudo se limita al hecho aislado, sin ir muy lejos en el trabajo de correlacionarlo con otros o de explicarlo. En cambio, la investigación científica no se limita a los hechos observados: los científicos expresan la realidad a fin de ir más allá de las apariencias; rechazan el grueso de los hechos percibidos, por ser un montón de accidentes, seleccionan los que consideran que son relevantes, controlan hechos y, en lo posible, los reproducen. Incluso producen cosas nuevas, desde instrumentos hasta partículas elementales, obtienen nuevos compuestos químicos, nuevas variedades vegetales y animales, y al menos en principio, crean nuevas pautas de conducta individual y social.

Más aún, los científicos usualmente no aceptan nuevos hechos a menos que puedan certificar de alguna manera su autenticidad; y esto se hace, no tanto contrastándolos con otros hechos, cuanto mostrando que son compatibles con lo que se sabe. Los científicos descartan las imposturas y los trucos mágicos porque no encuadran en hipótesis muy generales y fidedignas, que han sido puestas a prueba en incontables ocasiones. Vale decir, los científicos no consideran su propia experiencia individual como un tribunal inapelable; se fundan, en cambio, en la experiencia colectiva y en la teoría.

Hay más: el conocimiento científico racionaliza la experiencia en lugar de limitarse a describirla; la ciencia da cuenta de los hechos, no inventariándolos sino explicándolos por medio de hipótesis (en particular, enunciados de leyes) y sistemas de hipótesis (teorías). Los científicos conjeturan lo que hay tras los hechos observados, y de continuo inventan conceptos (tales como los de átomo, campo, masa, energía, adaptación, integración, selección, clase social, o tendencia histórica) que carecen de correlato empírico, esto es, que no corresponden a perceptos, aun cuando presumiblemente se refieren a cosas, cualidades o relaciones existentes objetivamente. No percibimos los campos eléctricos o las clases sociales: inferimos su existencia a partir de hechos experimentables, y tales conceptos son significativos tan sólo en ciertos contextos teóricos.

Este trascender la experiencia inmediata, este salto del nivel observacional al teórico, le permite a la ciencia mirar con desconfianza

los enunciados sugeridos por meras coincidencias; le permite predecir la existencia real de cosas y procesos ocultos a primera vista, pero que instrumentos (materiales o conceptuales) más potentes pueden descubrir. Las discrepancias entre las previsiones teóricas y los hallazgos empíricos figuran entre los estímulos más fuertes para edificar teorías nuevas y diseñar nuevos experimentos. No son los hechos por sí mismos sino su elaboración teórica y la comparación de las consecuencias de las teorías con los datos observacionales, la principal fuente del descubrimiento de nuevos hechos.

3) *La ciencia es analítica*: la investigación científica aborda problemas circunscriptos, uno a uno y trata de descomponerlo todo en elementos (no necesariamente últimos o siquiera reales). La investigación científica no se plantea cuestiones tales como “¿Cómo es el universo en su conjunto?”, o “¿Cómo es posible el conocimiento?” Trata, en cambio, de entender toda situación total en términos de sus componentes; intenta descubrir los elementos que componen cada totalidad, y las interconexiones que explican su integración.

Los problemas de la ciencia son parciales y así son también, por consiguiente, sus soluciones pero, más aún: al comienzo los problemas son estrechos o es preciso estrecharlos. Pero, a medida que la investigación avanza, su alcance se amplía. Los resultados de la ciencia son generales, tanto en el sentido de que se refieren a clases de objetos (p. ej.: lluvia), como en que están, o tienden a ser incorporados en síntesis conceptuales llamadas teorías. El análisis, tanto de los problemas como de las cosas, no es tanto un objetivo como una herramienta para construir síntesis teóricas. La ciencia auténtica no es atomista ni totalista.

La investigación comienza descomponiendo sus objetos a fin de descubrir el “mecanismo” interno responsable de los fenómenos observados. Pero el desmontaje del “mecanismo” no se detiene cuando se ha investigado la naturaleza de sus partes, el próximo paso es el examen de la interdependencia de las partes, y la etapa final es la tentativa de reconstruir el todo en términos de sus partes interconectadas. El análisis no acarrea el descuido de la totalidad; lejos de disolver la integración, el análisis es la única manera conocida de descubrir cómo emergen, subsisten y se desintegran los todos. La ciencia no ignora la síntesis: lo que si rechaza es la pretensión irracionalista de que

las síntesis pueden ser aprehendidas por una intuición especial, sin previo análisis.

4) *La investigación científica es especializada*: una consecuencia del enfoque analítico de los problemas es la especialización. No obstante la unidad del método científico, su aplicación depende, en gran medida, del asunto; esto explica la multiplicidad de técnicas y la relativa independencia de los diversos sectores de la ciencia.

Sin embargo, es menester no exagerar la diversidad de las ciencias al punto de borrar su unidad metodológica. El viejo dualismo materia/espíritu había sugerido la división de las ciencias en ciencias de la naturaleza y ciencias del espíritu. Pero estos géneros difieren en cuanto al asunto, a las técnicas y al grado de desarrollo, no así en lo que respecta al objetivo, método y alcance. El dualismo razón/experiencia había sugerido, a su vez, la división de las ciencias fácticas en racionales y empíricas, que tampoco es adecuada porque todas son a la vez racionales y empíricas. Menos sostenible aún es la dicotomía ciencias deductivas/ciencias inductivas, ya que toda ciencia científica —sin excluir el dominio de las ciencias formales— es tan inductiva como deductiva, sin hablar de otros tipos de inferencia.

La especialización no ha impedido la formación de campos interdisciplinarios, tales como la biofísica, la bioquímica, la psicofisiología, la psicología social, la teoría de la información, la cibernética, o la investigación operacional. Con todo, la especialización tiende a estrechar la visión del científico individual; un único remedio ha resultado eficaz contra la unilateralidad profesional, y es una dosis de filosofía.

5) *El conocimiento científico es claro y preciso*: sus problemas son distintos, sus resultados son claros. El conocimiento ordinario, en cambio, usualmente es vago e inexacto; en la vida diaria nos preocupamos poco por dar definiciones precisas, descripciones exactas, o mediciones afinadas: si éstas nos preocuparan demasiado, no lograríamos marchar al paso de la vida. La ciencia torna preciso lo que el sentido común conoce de manera nebulosa; pero, desde luego, la ciencia es mucho más que sentido común organizado: aunque proviene del sentido común, la ciencia constituye una rebelión contra su vaguedad y superficialidad. El conocimiento científico procura la precisión; nunca está enteramente libre de vaguedades, pero se las

ingeniería para mejorar la exactitud; nunca está del todo libre de error, pero posee una técnica única para encontrar errores y para sacar provecho de ellos.

La claridad y la precisión se obtienen en ciencia de las siguientes maneras:

a) los problemas se formulan de manera clara: lo primero, y a menudo lo más difícil, es distinguir cuáles son los problemas; ni hay artillería analítica o experimental que pueda ser eficaz si no se ubica adecuadamente al enemigo;

b) la ciencia parte de nociones que parecen claras al no iniciado; y las complica, purifica, y eventualmente las rechaza; la transformación progresiva de las nociones corrientes se efectúa incluyéndolas en esquemas teóricos. Así, por ejemplo, "distancia" adquiere un sentido preciso al ser incluida en la geometría métrica y en la física;

c) la ciencia define la mayoría de sus conceptos: algunos de ellos se definen en términos de conceptos no definidos o primitivos, otros de manera implícita, esto es, por la función que desempeñan en un sistema teórico (definición contextual). Las definiciones son convencionales, pero no se las elige caprichosamente: deben ser convenientes y fértiles. (¿De qué vale, por ejemplo, poner un nombre especial a las muchachas pecosas que estudian ingeniería y pesan más de 50 kg?) Una vez que se ha elegido una definición, el discurso restante debe guardarle fidelidad si se quiere evitar inconsecuencias;

d) la ciencia crea lenguajes artificiales inventando símbolos (palabras, signos matemáticos, símbolos químicos, etc.); a estos signos se les atribuye significados determinados por medio de reglas de designación (tal como "en el presente contexto «H» designa el elemento de peso atómico unitario"). Los símbolos básicos serán tan simples como sea posible, pero podrán combinarse conforme a reglas determinadas para formar configuraciones tan complejas como sea necesario (las leyes de combinación de los signos que intervienen en la producción de expresiones complejas se llaman *reglas de formación*);

e) la ciencia procura siempre medir y registrar los fenómenos. Los números y las formas geométricas son de gran importancia en el registro, la descripción y la inteligencia de los sucesos y procesos. En lo posible, tales datos debieran disponerse en tablas o resumirse en fórmulas matemáticas. Sin embargo, la formulación matemática,

deseable como es, no es una condición indispensable para que el conocimiento sea científico; lo que caracteriza el conocimiento científico es la exactitud en un sentido general antes que la exactitud numérica o métrica, la que es inútil si media la vaguedad conceptual. Más aún, la investigación científica emplea, en medida creciente, capítulos no numéricos y no métricos de la matemática, tales como la topología, la teoría de los grupos, o el álgebra de las clases, que no son ciencias del número y de la figura, sino de la relación.

6) *El conocimiento científico es comunicable*: no es inefable sino expresable, no es privado sino público. El lenguaje científico comunica información a quienquiera haya sido adiestrado para entenderlo. Hay, ciertamente, sentimientos oscuros y nociones difusas, incluso en el desarrollo de la ciencia (aunque no en la presentación final del trabajo científico); pero es preciso aclararlos antes de poder estimar su adecuación. Lo que es inefable puede ser propio de la poesía o de la música, no de la ciencia, cuyo lenguaje es informativo y no expresivo o imperativo. La inefabilidad misma es, en cambio, tema de investigación científica, sea psicológica o lingüística.

La comunicabilidad es posible gracias a la precisión; y es a su vez una condición necesaria para la verificación de los datos empíricos y de las hipótesis científicas. Aun cuando, por “razones” comerciales o políticas, se mantengan en secreto durante un tiempo algunos trozos del saber, deben ser comunicables en principio para que puedan ser considerados científicos. La comunicación de los resultados y de las técnicas de la ciencia no sólo perfecciona la educación general sino que multiplica las posibilidades de su confirmación o refutación. La verificación independiente ofrece las máximas garantías técnicas y morales, y ahora es posible, en muchos campos, en escala internacional. Por esto, los científicos consideran el secreto en materia científica como enemigo del progreso de la ciencia; la política del secreto científico es, en efecto, el más eficaz originador del estancamiento en la cultura, en la tecnología y en la economía, así como una fuente de corrupción moral.

7) *El conocimiento científico es verificable*: debe aprobar el examen de la experiencia. A fin de explicar un conjunto de fenómenos, el científico inventa conjeturas fundadas de alguna manera en el saber adquirido. Sus suposiciones pueden ser cautas o audaces, simples o

complejas; en todo caso, deben ser puestas a prueba. *El test* de las hipótesis fácticas es empírico, esto es, observacional o experimental. El haberse dado cuenta de esta verdad hoy tan trillada es la contribución inmortal de la ciencia helénística. En este sentido, las ideas científicas (incluidos los enunciados de leyes) no son superiores a las herramientas o a los vestidos: si fracasan en la práctica, fracasan por entero.

La experimentación puede calar más profundamente que la observación, porque efectúa cambios en lugar de limitarse a registrar variaciones: aísla y controla las variables sensibles o pertinentes. Sin, embargo, los resultados experimentales son pocas veces interpretables de una sola manera. Más aún, no todas las ciencias pueden experimentar; y en ciertos capítulos de la astronomía y de la economía se alcanza una gran exactitud sin ayuda del experimento. La ciencia fáctica es por esto *empírica* en el sentido de que la comprobación de sus hipótesis involucra la experiencia; pero no es necesariamente *experimental* y, en particular, no es agotada por las ciencias de laboratorio, tales como la física.

La prescripción de que las hipótesis científicas deben ser capaces de aprobar el examen de la experiencia es una de las reglas del método científico: la aplicación de esta regla depende del tipo de objeto, del tipo de la hipótesis en cuestión y de los medios disponibles. Por esto, se necesita una multitud de técnicas de verificación empírica. La verificación de la fórmula de un compuesto químico se hace de una manera muy diferente que la verificación de un cálculo astronómico o de una hipótesis concerniente al pasado de las rocas o de los hombres. Las técnicas de verificación evolucionan en el curso del tiempo; sin embargo, siempre consisten en poner a prueba consecuencias particulares de hipótesis generales (entre ellas, enunciados de leyes). Siempre se reducen a mostrar que hay, o que no hay, algún fundamento para creer que las suposiciones en cuestión corresponden a los hechos observados o a los valores medidos.

La verificabilidad hace a la esencia del conocimiento científico; si así no fuera, no podría decirse que los científicos procuran alcanzar conocimiento objetivo.

8) *La investigación científica es metódica*: no es errática sino planeada. Los investigadores no tantean en la oscuridad: saben lo que

buscan y cómo encontrarlo. El planeamiento de la investigación no excluye el azar; sólo que, al hacer un lugar a los acontecimientos imprevistos, es posible aprovechar la interferencia del azar y la novedad inesperada. Más aún, a veces el investigador produce el azar deliberadamente. Por ejemplo, para asegurar la uniformidad de una muestra, y para impedir una preferencia inconsciente en la elección de sus miembros, a menudo se emplea la técnica de la casualización, en que la decisión acerca de los individuos que han de formar parte de ciertos grupos se deja librada a una moneda o a algún otro dispositivo. De esta manera, el investigador pone el azar al servicio del orden; en lo cual no hay paradoja, porque el acaso opera al nivel de los individuos, al par que el orden opera en el grupo como totalidad.

Todo trabajo de investigación se funda sobre el conocimiento anterior, y en particular sobre las conjeturas mejor confirmadas. (Uno de los muchos problemas de la metodología es, precisamente, averiguar cuáles son los criterios para decidir si una hipótesis dada puede considerarse razonablemente confirmada, esto es, si el peso que le acuerdan los fundamentos inductivos y de otro orden basta para conservarla). Más aún, la investigación procede conforme a reglas y técnicas que han resultado eficaces en el pasado, pero que son perfeccionadas continuamente, no sólo a la luz de nuevas experiencias, sino también de resultados del examen matemático y filosófico. Una de las reglas de procedimiento de la ciencia fáctica es la siguiente: las variables relevantes (o que se sospecha que son sensibles) debieran variarse una cada vez.

La ciencia fáctica emplea el método experimental concebido en un sentido amplio. Este método consiste en el *test* empírico de conclusiones particulares extraídas de hipótesis generales (tales como “Los gases se dilatan cuando se los calienta” o “Los hombres se rebelan cuando se los oprime”). Este tipo de verificación requiere la manipulación, la observación y el registro de fenómenos; requiere también el control de las variables o factores relevantes; siempre que sea posible debiera incluir la producción artificial deliberada de los fenómenos en cuestión, y en todos los casos exige el análisis de los datos obtenidos en el curso de los procedimientos empíricos. Los datos aislados y crudos son inútiles y no son dignos de confianza; es preciso, elaborarlos, organizarlos y confrontarlos con las conclusiones teóricas.

El método científico no provee recetas infalibles para encontrar la verdad: sólo contiene un conjunto de prescripciones falibles (perfectibles) para el planeamiento de observaciones y experimentos, para la interpretación de sus resultados, y para el planteo mismo de los problemas. Es, en suma, la manera en que la ciencia inquiere en lo desconocido. Subordinadas a las reglas generales del método científico, y al mismo tiempo en apoyo de ellas, encontramos las diversas técnicas que se emplean en las ciencias especiales: las técnicas para pesar, para observar por el microscopio, para analizar compuestos químicos, para dibujar gráficos que resumen datos empíricos, para reunir informaciones acerca de costumbres, etc. La ciencia es, pues, esclava de sus propios métodos y técnicas mientras éstos tienen éxito; pero es libre de multiplicar y de modificar en todo momento sus reglas, en aras de mayor racionalidad y objetividad.

9) *El conocimiento científico es sistemático*: una ciencia no es un agregado de informaciones inconexas, sino un sistema de ideas conectadas lógicamente entre sí. Todo sistema de ideas, caracterizado por cierto conjunto básico (pero refutable) de hipótesis peculiares, y que procura adecuarse a una clase de hechos, es una teoría. Todo capítulo de una ciencia especial contiene teorías o sistemas de ideas que están relacionadas lógicamente entre sí, esto es, que están ordenadas mediante la relación “implica”. Esta conexión entre las ideas puede calificarse de orgánica, en el sentido de que la sustitución de cualquiera de las hipótesis básicas produce un cambio radical en la teoría o grupo de teorías.

El fundamento de una teoría dada no es un conjunto de hechos, sino, más bien, un conjunto de principios, o hipótesis de cierto grado de generalidad (y, por consiguiente, de cierta fertilidad lógica). Las conclusiones (o teoremas) pueden extraerse de los principios, sea en la forma natural o con ayuda de técnicas especiales que involucran operaciones matemáticas.

El carácter matemático del conocimiento científico —esto es, el hecho de que es fundado, ordenado y coherente— es lo que lo hace racional. La racionalidad permite que el progreso científico se efectúe no sólo por la acumulación gradual de resultados, sino también por revoluciones. Las revoluciones científicas no son descubrimientos de nuevos hechos aislados, ni son perfeccionamientos en la exactitud de

las observaciones, sino que consisten en la sustitución de hipótesis de gran alcance (principios) por nuevos axiomas, y en el reemplazo de teorías enteras por otros sistemas teóricos. Sin embargo, semejantes revoluciones son a menudo provocadas por el descubrimiento de nuevos hechos de los que no dan cuenta las teorías anteriores, aunque a veces se encuentran en el proceso de comprobación de dichas teorías; y las nuevas teorías se tornan verificables en muchos casos, merced a la invención de nuevas técnicas de medición, de mayor precisión.

10) *El conocimiento científico es general*: ubica los hechos singulares en pautas generales, los enunciados particulares en esquemas amplios. El científico se ocupa del hecho singular en la medida en que éste es miembro de una clase o caso de una ley; más aún, presupone que todo hecho es clasificable y legal. No es que la ciencia ignore la cosa individual o el hecho irrepetible; lo que ignora es el hecho aislado. Por esto la ciencia no se sirve de los datos empíricos —que siempre son singulares— como tales; éstos son mudos mientras no se los manipula y convierte en piezas de estructuras teóricas.

En efecto, uno de los principios ontológicos que subyacen a la investigación científica es que la variedad y aún la unicidad en algunos respectos son compatibles con la uniformidad y la generalidad en otros respectos. Al químico no le interesa ésta o aquella hoguera, sino el proceso de la combustión en general; trata de descubrir lo que comparten todos los singulares. El científico intenta exponer los universales que se esconden en el seno de los propios singulares; es decir, no considera los universales *ante rem* ni *post rem*, sino *in re*: en la cosa, y no antes o después de ella. Los escolásticos medievales clasificarían al científico moderno como realista inmanentista porque, al descartar los detalles, al procurar descubrir los rasgos comunes a individuos que son únicos en otros respectos, al buscar las variables pertinentes (o cualidades esenciales) y las relaciones constantes entre ellas (las leyes), el científico intenta exponer la naturaleza esencial de las cosas naturales y humanas.

El lenguaje científico no contiene solamente términos que designan hechos singulares y experiencias individuales, sino también términos generales que se refieren a clases de hechos. La generalidad del lenguaje de la ciencia no tiene, sin embargo, el propósito de alejar a la ciencia de la realidad concreta: por el contrario, la generalización

es el único medio que se conoce para adentrarse en lo concreto, para apresar la esencia de las cosas (sus cualidades y leyes esenciales). Con esto, el científico evita en cierta medida las confusiones y los engaños provocados por el flujo deslumbrador de los fenómenos. Tampoco se asfixia la utilidad en la generalidad: por el contrario, los esquemas generales de la ciencia encuadran una cantidad ilimitada de casos específicos, proveen leyes de amplio alcance que incluyen y corrigen todas las recetas válidas del sentido común y de la técnica precientífica.

11) *El conocimiento científico es legal*: busca leyes (de la naturaleza y de la cultura) y las aplica. El conocimiento científico inserta los hechos singulares en pautas generales llamadas “leyes naturales” o “leyes sociales”. Tras el desorden y la fluidez de las apariencias, la ciencia fáctica descubre las pautas regulares de la estructura y del proceso del ser y del devenir. En la medida en que la ciencia es legal, es esencialista: intenta llegar a la raíz de las cosas. Encuentra la esencia en las variables relevantes y en las relaciones invariantes entre ellas.

Hay leyes de hechos y leyes mediante las cuales se pueden explicar otras leyes. El principio de Arquímedes pertenece a la primera clase; pero a su vez puede deducirse de los principios generales de la mecánica; por consiguiente, ha dejado de ser un principio independiente, y ahora es un teorema deducible de hipótesis de nivel más elevado. Las leyes de la física proveen la base de las leyes de las combinaciones químicas; las leyes de la fisiología explican ciertos fenómenos psíquicos; y las leyes de la economía pertenecen a los fundamentos de la sociología. Es decir, los enunciados de las leyes se organizan en una estructura de niveles.

Ciertamente, los enunciados de las leyes son transitorios; pero ¿son inmutables las leyes mismas? Si se considera a las leyes como las pautas mismas del ser y del devenir, entonces debieran cambiar junto con las cosas mismas; por lo menos, debe admitirse que, al emerger nuevos niveles, sus cualidades peculiares se relacionan entre sí mediante nuevas leyes. Por ejemplo, las leyes de la economía han emergido en el curso de la historia sobre la base de otras leyes (biológicas y psicológicas) y, más aún, algunas de ellas cambian con el tipo de organización social.

Por supuesto, no todos los hechos singulares conocidos han sido ya convertidos en casos particulares de leyes generales; en particular,

los sucesos y procesos de los niveles superiores han sido legalizados sólo en pequeña medida. Pero esto se debe en parte al antiguo prejuicio de que lo humano no es legal, así como a la antigua creencia pitagórica de que solamente las relaciones numéricas merecen llamarse “leyes científicas”. Debiera emplearse el *stock* íntegro de las herramientas conceptuales en la búsqueda de las leyes de la mente y de la cultura; más aún, acaso el *stock* de que se dispone es insuficiente y sea preciso inventar herramientas radicalmente nuevas para tratar los fenómenos mentales y culturales, tal como el nacimiento de la mecánica moderna hubiera sido imposible sin la invención expresa del cálculo infinitesimal.

Pero el ulterior avance en el progreso de la legalización de los fenómenos no físicos requiere, por sobre todo, una nueva actitud frente al concepto mismo de ley científica. En primer lugar, es preciso comprender que hay muchos tipos de leyes (aun dentro de una misma ciencia), ninguno de los cuales es necesariamente mejor que los tipos restantes. En segundo lugar, debiera tornarse un lugar común entre los científicos de la cultura el que las leyes no se encuentran por mera observación y el simple registro, sino poniendo a prueba hipótesis: los enunciados de leyes no son, en efecto, sino hipótesis confirmadas. Y ¿cómo habríamos de emprender la confección de hipótesis científicas si no presumiéramos que todo hecho singular es legal?

12) *La ciencia es explicativa*: intenta explicar los hechos en términos de leyes, y las leyes en términos de principios. Los científicos no se conforman con descripciones detalladas; además de inquirir cómo son las cosas, procuran responder a por qué: por qué ocurren los hechos como ocurren y no de otra manera. La ciencia deduce proposiciones relativas a hechos singulares a partir de leyes generales, y deduce las leyes a partir de enunciados nomológicos aún más generales (principios). Por ejemplo, las leyes de Kepler explicaban una colección de hechos observados del movimiento planetario; y Newton explicó esas leyes deduciéndolas de principios generales, explicación que permitió a otros astrónomos dar cuenta de las irregularidades de las órbitas de los planetas, que eran desconocidas para Kepler.

Solía creerse que explicar es señalar la causa, pero en la actualidad se reconoce que explicación causal no es sino un tipo de explicación científica. La explicación científica se efectúa siempre en términos de

leyes, y las leyes casuales no son sino una subclase de las leyes científicas. Hay diversos tipos de leyes científicas y, por consiguiente, hay una variedad de tipos de explicación científica: morfológicas, cinemáticas, dinámicas, de composición, de conservación, de asociación, de tendencias globales, dialécticas, teleológicas, etcétera.

La historia de la ciencia enseña que las explicaciones científicas se corrigen o descartan sin cesar. ¿Significa esto que son todas falsas? En la ciencia fáctica, la verdad y el error no son del todo ajenos entre sí: hay verdades parciales y errores parciales, hay aproximaciones buenas y otras malas. La ciencia no obra como Penélope, sino que emplea la tela tejida ayer. Las explicaciones científicas no son finales pero son perfectibles.

13) *El conocimiento científico es predictivo*: trasciende la masa de los hechos de experiencia, imaginando cómo puede haber sido el pasado y cómo podrá ser el futuro. La predicción es, en primer lugar, una manera eficaz de poner a prueba las hipótesis; pero también es la clave del control o aun de la modificación del curso de los acontecimientos. La predicción científica, en contraste con la profecía, se funda sobre leyes y sobre informaciones específicas fidedignas, relativas al estado de cosas actual o pasado. No es del tipo "Ocurrirá E", sino más bien de este otro: "Ocurrirá E¹ siempre que suceda C¹, pues siempre que sucede C es seguido por o está asociado con E". 'C' y 'E' designan clases de sucesos, en tanto que 'C¹' y 'E¹' denotan los hechos específicos que se predicen sobre la base del o los enunciados que conectan a C con E en general.

La predicción científica se caracteriza por su perfectibilidad antes que por su certeza. Más aún, las predicciones que se hacen con la ayuda de reglas empíricas son a veces más exactas que las predicciones penosamente elaboradas con herramientas científicas (leyes, informaciones específicas y deducciones); tal es el caso, con frecuencia, de los pronósticos meteorológicos, de la prognosis médica y de la profecía política. Pero, en tanto que la profecía no es perfectible y no puede usarse para poner a prueba hipótesis, la predicción es perfectible y, si falla, nos obliga a corregir nuestras suposiciones, alcanzando así una inteligencia más profunda. Por esto la profecía exitosa no es un aporte al conocimiento teórico, en tanto que la predicción científica fallida puede contribuir a él.

Puesto que la predicción científica depende de leyes y de items de información específica, puede fracasar por inexactitud de los enunciados de las leyes o por imprecisión de la información disponible. (También puede fallar, por supuesto, debido a errores cometidos en el proceso de inferencia lógica o matemática que conduce de las premisas [leyes e informaciones] a la conclusión [enunciado-predictivo]). Una fuente importante de fallas en la predicción es el conjunto de suposiciones acerca de la naturaleza del objeto (sistema físico, organismo vivo, grupo social, etc.) cuyo comportamiento ha de predecirse. Por ejemplo, puede ocurrir que creamos que el sistema en cuestión está suficientemente aislado de las perturbaciones exteriores, cuando en rigor éstas cuentan a la larga; dado que el aislamiento es una condición necesaria de la descripción del sistema con ayuda de un puñado de enunciados de leyes, no debiera sorprender que sea tan difícil predecir el comportamiento de sistemas abiertos tales como el océano, la atmósfera, el ser vivo, o el hombre.

Puesto que la predicción científica se funda en las leyes científicas, hay tantas clases de predicciones como clases de enunciados nomológicos. Algunas leyes nos permiten predecir resultados individuales, aunque no sin error si la predicción se refiere al valor de una cantidad. Otras leyes, incapaces de decirnos nada acerca del comportamiento de los individuos (átomos, personas, etc.) son en cambio la base para la predicción de algunas tendencias globales y propiedades colectivas de colecciones numerosas de elementos similares: son las leyes estadísticas. Las leyes de la historia son de este tipo; y por esto es casi imposible la predicción de los sucesos individuales en el campo de la historia, pudiendo preverse solamente el curso general de los acontecimientos.

14) *La ciencia es abierta*: no reconoce barreras *a priori* que limiten el conocimiento. Si un conocimiento fáctico no es refutable en principio, entonces no pertenece a la ciencia sino a algún otro campo. Las nociones acerca de nuestro medio natural o social, o acerca del yo, no son finales: están todas en movimiento, todas son falibles. Siempre es concebible que pueda surgir una nueva situación (nuevas informaciones o nuevos trabajos teóricos) en que nuestras ideas, por firmemente establecidas que parezcan resulten inadecuadas en algún sentido. La ciencia carece de axiomas evidentes: incluso los principios más generales y seguros son postulados que pueden ser corregidos o

reemplazados. A consecuencia del carácter hipotético de los enunciados de leyes, y de la naturaleza perfectible de los datos empíricos, la ciencia no es un sistema dogmático y cerrado sino controvertido y abierto. O más bien, la ciencia es abierta como sistema porque es falible y por consiguiente capaz de, progresar. En cambio, puede argüirse que la ciencia es metodológicamente cerrada, no en el sentido de que las reglas del método científico sean finales, sino en el sentido de que es autocorrectiva: el requisito de la verificabilidad de las hipótesis científicas basta para asegurar el progreso científico.

Tan pronto como ha sido establecida una teoría científica, corre el peligro de ser refutada o, al menos, de que se circunscriba su dominio. Un sistema cerrado de conocimiento fáctico, que excluya toda ulterior investigación, puede llamarse sabiduría pero es en rigor un detritus de la ciencia. El sabio moderno, a diferencia del antiguo, no es tanto un acumulador de conocimientos como un generador de problemas. Por consiguiente, prefiere los últimos números de las revistas especializadas a los manuales, aun cuando estos últimos sean depósitos de verdad más vastos y fidedignos que aquéllas. El investigador moderno ama la verdad pero no se interesa por las teorías irrefutables. Una teoría puede haber permanecido intocada no tanto por su alto contenido de verdad cuanto porque nadie la ha usado. No se necesita emprender una investigación empírica para probar la tautología de que ni siquiera los científicos se casan con solteronas.

Los modernos sistemas de conocimiento científico son como organismos en crecimiento: mientras están vivos cambian sin pausa. Esta es una de las razones por las cuales la ciencia es éticamente valiosa: porque nos recuerda que la corrección de errores es tan valiosa como el no cometerlos, y que probar cosas nuevas e inciertas es preferible a rendir culto a las viejas y garantidas. La ciencia, como los organismos, cambia a la vez internamente y debido a sus contactos con sus vecinos; esto es, resolviendo sus problemas específicos y siendo útil en otros campos.

15) *La ciencia es útil*: porque busca la verdad, la ciencia es eficaz, en la provisión de herramientas para el bien y para el mal. El conocimiento ordinario se ocupa usualmente de lograr resultados capaces de ser aplicados en forma inmediata; con ello no es suficientemente verdadero, con lo cual no puede ser suficientemente eficaz. Cuando se dispone de un conocimiento adecuado de las cosas es

posible manipularlas con éxito. La utilidad de la ciencia es una consecuencia de su objetividad: sin proponerse necesariamente alcanzar resultados aplicables, la investigación los provee a la corta o a la larga. La sociedad moderna paga la investigación porque ha aprendido que la investigación rinde. Por este motivo, es redundante exhortar a los científicos a que produzcan conocimientos aplicables: no pueden dejar de hacerlo. Es cosa de los técnicos emplear el conocimiento científico con fines prácticos, y los políticos son los responsables de que la ciencia y la tecnología se empleen en beneficio de la humanidad. Los científicos pueden, a lo sumo, aconsejar acerca de cómo puede hacerse uso racional, eficaz y bueno de la ciencia.

La técnica precientífica era primordialmente una colección de recetas pragmáticas no entendidas, muchas de las cuales desempeñaban la función de ritos mágicos. La técnica moderna es, en medida creciente —aunque no exclusivamente— ciencia aplicada. La ingeniería es física y química aplicadas, la medicina es biología aplicada, la psiquiatría es psicología y neurología aplicadas; y debiera llegar el día en que la política se convierta en sociología aplicada.

Pero la tecnología es más que ciencia aplicada: en primer lugar, porque tiene sus propios procedimientos de investigación, adaptados a circunstancias concretas que distan de los casos puros que estudia la ciencia. En segundo lugar, porque toda rama de la tecnología contiene un cúmulo de reglas empíricas descubiertas antes que los principios científicos en los que —si dichas reglas se confirman— terminan por ser absorbidas. La tecnología no es meramente el resultado de aplicar el conocimiento científico existente a los problemas prácticos: la tecnología viva es, esencialmente, el enfoque científico de los problemas prácticos, es decir, el tratamiento de estos problemas sobre un fondo de conocimiento científico y con ayuda del método científico. Por esto la tecnología, sea de las cosas o de los hombres, es fuente de conocimientos nuevos.

La conexión de la ciencia con la tecnología no es, por consiguiente, asimétrica. Todo avance tecnológico plantea problemas científicos, cuya solución puede consistir en la invención de nuevas teorías o de nuevas técnicas de investigación que conduzcan a un conocimiento más adecuado y a un mejor dominio del asunto. La ciencia y la tecnología constituyen un ciclo de sistemas interactuantes que se

alimentan el uno al otro. El científico torna inteligible lo que hace el técnico y éste provee a la ciencia de instrumentos y de comprobaciones, y lo que es igualmente importante, el técnico no cesa de formular preguntas al científico, añadiendo así un motor externo al motor interno del progreso científico. La continuación de la vida sobre la Tierra depende del ciclo del carbono: los animales se alimentan de plantas, las que a su vez obtienen su carbono de lo que exhalan los animales. Análogamente, la continuación de la civilización moderna depende, en gran medida, del ciclo del conocimiento: la tecnología moderna come ciencia, y la ciencia moderna depende a su vez del equipo y del estímulo que le provee una industria altamente tecnificada.

Pero la ciencia es útil en más de una manera. Además de constituir el fundamento de la tecnología, la ciencia es útil en la medida en que se la emplea en la edificación de concepciones del mundo que concuerdan con los hechos, y en la medida en que crea el hábito de adoptar una actitud de libre y valiente examen, en que acostumbra a la gente a poner a prueba sus afirmaciones y a argumentar correctamente. No menor es la utilidad que presta la ciencia como fuente de apasionantes rompecabezas filosóficos, y como modelo de la investigación filosófica.

En resumen, la ciencia, es valiosa como herramienta para domar la naturaleza y remodelar la sociedad; es valiosa en si misma, como clave para la inteligencia del mundo y del yo; y es eficaz en el enriquecimiento, la disciplina y la liberación de nuestra mente.

CIENCIA Y FILOSOFIA*

Marx Wartofsky

Qué entendemos por ciencia

Todo el mundo sabe lo que es la ciencia. Es decir, todo el mundo sabe lo que la ciencia hace: experimenta; descubre; mide y observa; inventa teorías que explican el cómo y el porqué de las cosas; inventa técnicas y herramientas; propone y dispone, hace hipótesis y ensaya, hace preguntas a la naturaleza y obtiene respuestas; hace conjeturas, refuta, confirma o no confirma; separa lo verdadero de lo falso, lo que tiene sentido de lo que no lo tiene; nos dice cómo llegar donde queremos llegar, cómo hacer lo que queremos hacer. El científico es un hombre como cualquier otro, pero también un hombre distinto de los demás, pues sabe hacer todas estas cosas. Se le ha entrenado con rigor en una escuela seria de la que ha salido tenaz, seguro de sí mismo y capaz. En él se han combinado el conocimiento de la teoría y un método mediante el cual ésta se lleva a la práctica de modo eficaz. El científico, además, disfruta del grato privilegio de utilizar su propia mente al practicar el excelso y solitario arte de pensar por sí mismo. Sin embargo, pertenece a una comunidad universal que habla un lenguaje universal: se encuentra como en su casa en Boston, Tokio, Moscú, Estocolmo, Pekín, Buenos Aires, Nueva Delhi o Dakar. Pese a toda su individualidad, sus hallazgos, comunicaciones y descubrimientos se ven sometidos a escrutinio universal por sus colegas,

(*) Fuente: Marx Wartofsky, "Introducción a la filosofía de la ciencia"

quienes se encuentran por encima de toda barrera de interés personal, de toda actitud particularista en cuanto a gusto, orgullo y punto de vista nacional y, crítica y objetivamente, valoran lo nuevo y reconstruyen lo viejo. En resumen, la ciencia constituye un gran éxito y el científico es un hombre marcado por el éxito. Es un hombre que sabe y que sabe que sabe.

Cabe ahora señalar una incierta ironía en la forma en que describimos todo esto; incierta en el sentido de que cuesta trabajo negar que, de hecho, esto es lo que todo el mundo sabe que la ciencia es, pero también cuesta trabajo negar que cualquier cosa así de buena despierta sospechas: resulta difícil de admitir al pie de la letra tal seguridad divina de propósitos y método, tal eminencia en las realizaciones; nos pone nerviosos, y dentro de nosotros se agitan rumores profundos de un antiguo sentido de *hybris*. Nos satisfacen por igual la perfección de la ciencia y los fallos que revela. La hazaña del científico merece nuestro más profundo respeto; pero el que admita que hay cosas que no puede explicar, el que admita una incertidumbre radical en los fundamentos de su conocimiento o el que no acierte a explicar «científicamente» algunas de las cosas que nos son familiares y todos comprendemos, nos proporciona cierto sentido de mortalidad común, de condescendencia resignada, un sentimiento de propia reafirmación en la vieja sabiduría que ve en el científico, a fin de cuentas, un hombre imperfecto como el resto de nosotros.

En la raíz de nuestra ambivalencia se encuentra la sensación de que, de algún modo, la ciencia ha pagado el precio por su éxito al imponer una profunda división entre los intereses humanos y el comercio ordinario de los hombres, por una parte, y, por otra, la confrontación desnuda con una verdad ante la cual estos intereses palidecen y se hacen triviales. En los mitos más antiguos, la adquisición de un conocimiento de tan elevado orden como el que ahora representa la ciencia, llevaba aparejado el castigo de privación de las comodidades de un cierto estado original de ignorancia feliz: fue una serpiente la que tentó a Eva y, a través de ella a Adán; fue Mefistófeles quien compró el alma de Fausto. El científico ha sido presentado, en nuestra cultura popular, como un chiflado, un amoral o un ingenuo confiado. Parece como si, percibiésemos, en nuestra imagen del científico, cierto impulso radical y peligroso por inquirir, por descubrir, por abrir la caja de Pandora; y somos tímidos. (Fue la curiosidad,

después de todo, la que mató al gato.) Además, esta revelación sin freno amenaza las reservas de todo lo que está oculto en nosotros mismos: nos encontramos internamente desgarrados entre el deseo de saber y el temor de llegar a saber, entre el deseo del poder que tales conocimientos llevan consigo y la repugnancia ante las aterradoras responsabilidades que tal poder impone sobre todos nosotros. Todo, nuestras instituciones sociales y culturales, nuestro sistema de enseñanza, nuestra economía, todo ello revela la división; división que se expresa como la existente entre “dos culturas”, la “científica” y la “humanística”, y nos encontramos atrapados entre lo que sabemos que la ciencia es —la más elevada realización de la cultura racional y humana— y lo que, al mismo tiempo, tenemos que la ciencia haya llegado a ser —un instrumento amoral e inhumano que se ha desarrollado hasta más allá del dominio humano, una máquina bestial y sin alma que devora todo cuanto encuentra su paso.

Pero aunque hay verdaderos problemas acerca del puesto que ocupa la ciencia en nuestra cultura, muchos de los temores, y también mucho de lo que se espera de la ciencia, se basan en la ignorancia. En el corazón de nuestra esperanza por una cultura humanística, por una sociedad libre e ilustrada, hay una necesidad por comprender la ciencia; y es una necesidad tan grande para el científico como para el no científico. Una comprensión de este tipo va sola, más allá de los mitos heredados, de las frases hechas y de las concepciones dogmáticas y tradicionales, va más allá porque emprende un examen crítico y racional de los rasgos fundamentales de la ciencia, y no puede eliminar el misterio de la ciencia porque en la ciencia no hay «misterios»; únicamente hay lo que precisa ser comprendido y estudiado.

Hay dos modos fundamentales de plantear la comprensión de la ciencia. Uno es el estudio de la ciencia misma, y constituye el objetivo declarado de nuestra educación liberal el facilitar dicho estudio a lo largo del «currículum». Desde la escuela primaria hasta la universidad, se introduce al niño, en sus estudios, al conocimiento del mundo que le rodea, y estudia lo que se sabe acerca de «la naturaleza», «el mundo físico», «la vida», «la sociedad». El niño tiende a representar lo que aprende en forma dramática: universos discretos, unos poblados de dinosaurios, otros de estrellas en constelaciones que pueden dibujarse, otros de «moléculas» en forma de pelotas de ping-pong, otros de maravillas visibles de la microestructura tales como las de los tejidos

vegetales y animales. Percibe la forma que subyace a la apariencia en las estructuras esqueléticas, en los modelos atómicos de una realidad invisible de la que está, probablemente formado el mobiliario corriente de la tierra; se le introduce en los procesos y en sus formas y secuencias invariantes y comienza a reconocer la forma de las leyes y el alcance de las teorías; aprende a intervenir, experimentar, observar, anotar e informar acerca de lo que anota; se le ejemplifican y explican principios de tipo abstracto con demostraciones experimentales y su lenguaje va acogiendo, día a día, términos tales como *energía, fuerza, cromosoma, peso atómico, adaptación y gravedad*. Al mismo tiempo, las operaciones ordinarias de adición y sustracción se hacen más abstractos y teóricas conforme los «hechos numéricos» sustituyen al contar intuitivo y las reglas sustituyen a la costumbre: entidades y operaciones abstractas tales como «elevar al cuadrado un número», «despejar x » y «demostrar un teorema», se unen a las imágenes anteriores y a las verdades palpables de observación. Las matemáticas se unen a la descripción física y a las deducciones referentes a los hechos.

Idealmente se requiere un espectro así de amplio de estudios científicos como, condición mínima para ser considerado culto en la sociedad contemporánea. Para cuando el estudiante ha terminado la enseñanza media, ha adquirido un conocimiento básico de la ciencia tan grande que tiende a ser pasado por alto sólo porque se le considera elemental; y ha adquirido, además, para bien o para mal, un esquema de conceptos medianamente completo dentro del cual, los hechos, operaciones e ideas que ha aprendido se encuentran ordenados y comprendidos. En el estudio posterior de la ciencia se modificará y desarrollará este esquema, pero nunca se pondrá en duda de modo básico, ni se examinará como tema de investigación científica en sí, a menos que se emprenda un estudio que vaya más allá de las propias ciencias.

Dicho estudio es el de los esquemas conceptuales de las ciencias. Está íntimamente relacionado con el estudio de las ciencias, porque es dentro de las ciencias donde tales esquemas operan; pero está igual de íntimamente relacionado con nuestro entendimiento no científico, con nuestras nociones corrientes acerca de cómo son las cosas, con lo que normalmente llamamos nuestro sentido común. En la propia base de la ciencia se encuentra la huella de su continuidad histórica con la

experiencia común, con los modos comunes de comprensión y con los modos comunes de hablar y pensar, pues la ciencia no surgió a la existencia plenamente desarrollada: se desarrolló por crecimiento, por modificación y por replanteamiento radical, codo con codo con la tradición y con conceptos atrofiados. La ciencia ha creado lenguajes artificiales de gran rigor y elegancia, pero ha tenido que hacerlo hablando nuestros lenguajes naturales comunes y relacionando, mientras tanto, el mundo tal como está representado en nuestro lenguaje y percepción corrientes con ese mundo de lenguaje y percepción extraordinarios que el discurso científico pone de relieve.

Lo que este discurso científico revela es una concepción del mundo (o de partes de él) que con frecuencia difiere radicalmente de nuestras concepciones ordinarias. El científico posee ojos, oídos y manos como el resto de nosotros, pero lo que ve, oye y manipula viene dado por una visión más íntima de las cosas, a menudo completamente diferente de la nuestra. Mientras que en el transcurso ordinario de las cosas nosotros percibimos y nos enfrentamos con el mobiliario ordinario de la tierra —mesas, sillas, estrellas, animales, lluvia y otros hombres como nosotros—, el científico los estudia en función de estructuras, de leyes, de relaciones (entre parte y parte y entre la parte y el todo), de origen y desarrollo, del cambio y sus secuencias ordenadas: lucha por reducir los toscos objetos y procesos de nuestro ambiente cotidiano a sus elementos y a las combinaciones de estos elementos. Su búsqueda conduce a la formulación de conceptos por medio de los cuales quede expresada su diferente y cada vez mayor comprensión de las cosas, lo cual le permitirá ordenar y comunicar los rasgos más complejos de su análisis. Conceptos tales como los de masa, movimiento, posición tiempo, elemento químico y estructura atómica, especie y adaptación y sociedad y cultura, no son trozos y fragmentos de entendimiento aislado; antes bien, están relacionados unos con otros y con toda una red de conceptos, por medio de los cuales pueden a su vez comprenderse para formar lo que podemos llamar un esquema o estructura conceptual. El trabajo del científico —tanto su actividad teórica como su investigación y experimentación práctica— se ve guiado por dichos conceptos y se sistematiza mediante dichas estructuras conceptuales, de tal modo que lo que descubre aquí está relacionado con su entendimiento de lo que haya descubierto allí

y se encuentra ligado a ello por la red de pensamientos e inferencias que proporciona el esquema conceptual.

Podemos pues decir que los conceptos de la ciencia son las herramientas de trabajo del pensamiento científico: son los modos en que el científico ha aprendido a comprender los fenómenos complejos, a darse cuenta de sus relaciones mutuas y a representarlos en forma comunicable. Entre las cosas más maravillosas que consideramos inventadas por la ciencia se encuentran sus conceptos, pues constituyen, de hecho, la elaborada instrumentación y la tecnología del pensamiento y del discurso científicos.

La genealogía de estos conceptos retrocede; no obstante, a las concepciones ordinarias del sentido común, a los modos en que, característicamente, aprendemos a representar, para nosotros mismos y para los demás, cómo son las cosas. Comprender la ciencia en su relación con el sentido común y encontrar, así raíces comunes de las ciencias y las humanidades, es llegar a una comprensión de la ciencia distinta de la que se alcanza estudiando las propias ciencias. Consideraremos tal comprensión como el objeto de la filosofía de la ciencia, y definiremos la tarea de esta última como el estudio sistemático de los conceptos y esquemas conceptuales de las ciencias. Puesto que lo que aquí sostenemos es que tales esquemas conceptuales son los instrumentos del entendimiento científico, los modos según los cuales el científico llega a comprender el mundo, que investiga, podemos caracterizar la filosofía de la ciencia como tarea que tiene por objeto entender el entendimiento científico; y en la medida en que dichos esquemas conceptuales proporcionan la forma fundamental del pensamiento científico o su estructura básica, el estudio de la filosofía de la ciencia puede caracterizarse como estudio de los fundamentos conceptuales del pensamiento científico. Tal caracterización es, por supuesto, incompleta, y los límites de la filosofía de la ciencia quedan así establecidos, en el mejor de los casos, con vaguedad, como ocurre con los límites entre la filosofía de la ciencia y la propias ciencias por una parte y, por otra, las disciplinas filosóficas más generales. Pero la sustancia y el contenido palpable de esta región vagamente definida se irán exponiendo con detalles concretos conforme avancemos. Las zonas fronterizas nos interesarán no como divisiones a trazar, sino como ejemplos de la filosofía de la ciencia en cuanto —según la

caracterización de Philipp Frank— puente entre las ciencias y las humanidades.

La relación entre la ciencia y la filosofía se refiere, por tanto, no sólo a lo que la ciencia es o a cómo se produce el pensamiento científico, sino también a la relación entre el pensamiento científico y otras clases de pensamiento —el sentido común, los estudios humanísticos sobre la literatura y el arte y los extraordinarios modos de pensar del artista creador. Así pues, la filosofía de la ciencia proporciona un enlace entre las dos culturas mediante el cual intenta relacionarlas de modo coherente: la filosofía no es otra cosa que una búsqueda consagrada a la coherencia, a la síntesis de lo que sabemos en un campo con lo que sabemos en otros. A veces, este entusiasmo por la síntesis conduce a excesos, a sistemas fantásticos y unidades ilusorias de «todo a la vez» que se evaporan al ser sometidas a examen crítico y no son con, frecuencia más que expresiones de buena voluntad científicamente iletrada o de esperanzas devotas de coherencia.

No obstante, de la roca del análisis filosófico riguroso y del cincel de los filósofos científicos han salido grandes obras de síntesis. Una de dichas realizaciones fue la de Aristóteles en el mundo antiguo; y, de un modo que ha dejado su huella en las ciencias contemporáneas más avanzadas, Platón y Demócrito construyeron sistemas de pensamiento que han producido un efecto profundo en los más diversos campos de la investigación humana. En nuestra propia época han sido los filósofos naturales Einstein y Whitehead los que han intentado síntesis de la misma amplitud.

Nuestra tarea, más modesta, es la de intentar comprender, e incluso tratar de formular, las preguntas a las que tales síntesis tendrían que responder.

Tipos precientíficos de conocimiento

La continuidad que existe entre el conocimiento científico y el conocimiento de tipo corriente podría llevar a la errónea conclusión de que cualquier actividad de conocimiento es científica, y la discontinuidad entre los conocimientos científico y corriente podría llevar a la conclusión opuesta, tan errónea como la anterior de que la ciencia no tiene nada que ver con el conocimiento de tipo usual. El hecho de que el pensamiento científico se origine en la actividad humana

inteligente que utiliza conceptos, y en el entendimiento humano racional que reflexiona sobre ellos, lleva a una conclusión más ponderada que las dos anteriores: toda ciencia es un conocimiento por medio de conceptos, pero no todo conocimiento por medio de conceptos es conocimiento científico. Cuando dejamos de mamar y comenzamos a adquirir un lenguaje, la formación de conceptos está ya en marcha, y cuando hacemos las primeras preguntas acerca de la utilización y el significado de conceptos y términos (p. ej., “¿Cómo puede ser la abuela una mamá, si es una abuela?”), ha comenzado ya a producirse la reflexión acerca de aquéllos. Este conocimiento conceptualmente ordenado puede, en verdad, constituir un requisito para el desarrollo de la ciencia, y el niño pudiera poseer capacidad para llegar a ser científico, pero está claro que la mayor parte de los conocimientos así adquiridos no forman aún un pensar científico. Al estudiar la génesis de la ciencia, es preciso distinguir entre aquello que es ciencia y lo que no lo es, pero además, es necesario hacer ver de qué manera ciertos modos corrientes de conocer forman la característica matriz en la que pudiera surgir la ciencia, y cómo, en este sentido, ciertas pautas y modos de pensar son precientíficos. Queremos indicar, en especial, cómo la explicación teórica y la formulación de leyes derivan de entornos precientíficos.

Se trata, en el mejor de los casos, de una tarea compleja y difícil, pues exige reconstruir los modos de pensar, la cultura y la tecnología de las sociedades precientíficas. Esta tarea sería propia del historiador y del antropólogo, pero el filósofo de la ciencia al ocuparse de la génesis y de la naturaleza del pensamiento científico, es capaz de ofrecer una reconstrucción especulativa de tales tipos precientíficos de conocimiento, apoyándose en los datos del científico social y del historiador. Esta reconstrucción no se ocupa del desarrollo específico de estos o aquellos rituales, mitos o técnicas, sino de las formas que adoptan dichas pautas de pensamiento y acción, y del modo en que estas formas dejan su huella en las formas típicas de pensamiento científico. Así pues, en este capítulo nos ocuparemos de la naturaleza de la explicación precientífica, en cuanto atañe a la génesis de las teorías y leyes de la ciencia.

Lo que la ciencia no es

1. La utilización más manifiestamente discutible del término ciencia es la que se da al aplicarlo a charlatanerías, supercherías y supersticiones sistematizadas: así, por el precio de un paquete de tabaco pueden comprar tratados tales como «La ciencia de la numerología», «La ciencia de los sueños y las profecías» y «La ciencia de la astrología». Existe un sentido común saludable que tacha todas esas charlatanerías pseudocientíficas de «supersticiones», es decir, de creencias irracionales, basadas en fantasías o temores transidos de anhelo, sin fundamento alguno en el conocimiento real. Pero las que ahora se consideran creencias supersticiosas desempeñaron en su día un papel en el desarrollo de la ciencia: ¿también entonces eran supersticiones estas creencias? Por supuesto, pero entonces no eran anómalas como lo son hoy: no eran meras supersticiones, sino intentos de explicar lo misterioso, lo pavoroso, lo aterrador y lo maravilloso dentro del esquema conceptual de una época anterior.

Los prototipos de la explicación científica se encuentran con frecuencia ocultos porque se tiende a descartarlos, como productos del sentido común ordinario o como producto de la ignorancia y la superstición. Un universo poblado de dioses y demonios, espíritus buenos y malignos, poderes mágicos, encantamientos, hechizos y ritos, palabras y números místicos por medio de los cuales podrían dominarse los acontecimientos y las acciones, magia negra y blanca, ritos secretos, tabúes, trucos y pociones para hacerse amar, y para lograr la fertilidad, para hacerse temer, para burlar a los dioses, o para cegar a los enemigos: el catálogo de las creencias supersticiosas es tan largo como variopinto, pero no ha de interpretarse como síntoma de la ignorancia del hombre, sino de sus intentos para explicar y gobernar la naturaleza. Que dichos intentos de explicación se ritualizasen e institucionalizasen, y que dieran lugar a reglas de actuación ratificadas y vigentes socialmente y a creencias obligatorias, expresa algo acerca de la naturaleza del desarrollo cultural, porque esta etapa de creencias supersticiosas es universal y se dan en sociedades muy dispares, y las formas de tales creencias son sorprendentemente análogas en culturas que por lo demás no guardan relación alguna.

2. Hay otro tipo de conocimiento que, si bien no aspira a llamarse ciencia, posee un significado en la génesis del pensamiento científico: es el que se expresa en proverbios, dichos populares: “cielo encarnado en tiempo de verano, vendaval siguió a la mañana temprano”; “más vale ser cola de león que cabeza de ratón”; “los dineros del sacristán, cantando vienen cantando se van”. Tal sabiduría popular por lo que se refiere a la experiencia humana y semejante saber artesanal constituyen el producto de la múltiple experiencia de las generaciones. La expresión lacónica de este tipo de conocimientos sirve para que se imprima con facilidad en la mente, y el uso de la analogía lo relaciona con otros entornos, ampliando su alcance y campo de aplicación. En estas expresiones se afirma que existe normalmente una relación entre cosas de la experiencia corriente, y la forma más general en la que pueden parafrasearse muchos de estos dichos es “cuando ocurre tal cosa, ocurre tal otra” (“cuando el río suena, agua lleva”). Estas expresiones incorporan, en forma gráfica y económica, uniformidades bien observadas de la experiencia de comunidades enteras: poseen la forma de generalizaciones inductivas, aunque también el genio del verdadero descubrimiento, y nos sorprenden, por consiguiente, por su aptitud y alcance y porque revelan, en términos explícitos, verdades de las que ya teníamos conciencia vagamente.

3. Finalmente, existe un malentendido popular que se manifiesta en el lenguaje habitual y encierra una verdad a medias. Se puede saber conducir un coche, clavar un clavo, construir un puente o un túnel o administrar una granja avícola; y el lenguaje popular suele calificar de «ciencia» dicha pericia y dominio de la técnica o de las reglas de trabajo: «la ciencia de la construcción de puentes», «la ciencia de la cría del pollo» y hasta «la ciencia de conducir un automóvil». En este empleo del término aparece el peso de la tradición, y también el testimonio de la etimología; después, de todo, la palabra ciencia deriva del latín *scientia*, que viene del sencillo y cotidiano verbo *scire*, que significa “saber” y en alemán por ejemplo, la relación con el saber corriente se encuentra igualmente próxima a la superficie, porque “ciencia” es *Wissenschaft*, del verbo *Wissen*, que significa “saber”. No obstante, parece construir un abuso de las modernas connotaciones de la palabra ciencia el emplearla para referirse a cualquier tipo de conocimiento y, en el mejor de los casos, resulta arriesgado calificar de ciencia cualquier

maestría o técnica. Una manera de evitar esto consistirá en referirse a las maestrías y técnicas, en sentido operativo, como arte (y así, por ejemplo, se habla de las artes médicas, del «arte viril de la defensa personal» o del «arte de enseñar», y se encarnizan las discusiones acerca de si la historia es un arte o una ciencia), pero constituiría un purismo dogmático que no tendría en cuenta la relación entre las maestrías y técnicas, bien ordenadas, perfeccionadas y sistematizadas a lo largo de muchos años prácticas, y el desarrollo de la ciencia.

Hemos examinado tres tipos de conocimiento: a) el de la explicación a base de poderes o seres imaginarios; b) el de las generalizaciones a partir de la experiencia, y c) el de las técnicas o reglas de actuación bien establecidas. Ninguno de estos tipos de conocimiento encaja dentro del ámbito de aquello a lo que queríamos llamar conocimiento científico, pero los tres constituyen prototipos de las formas del conocimiento científico, y los tres han desempeñado un papel importante en el desarrollo de la ciencia: son intentos de ordenar de algún modo la experiencia con objeto de alcanzar el dominio sobre un medio, y todos ellos utilizan como medio la formulación simbólica en uno u otro tipo de lenguaje.

Como todos ellos representan tipos precientíficos de conocimiento, cualquier descripción genética del desarrollo de la ciencia a partir de los modos corrientes de conocer resultaría incompleta sin un examen de la forma y de la función de estos tipos. Además, como la ciencia no surge de pronto, sino que se desarrolla como tipo bien distinto de conocimiento sólo a través de un largo y difícil proceso, cualquier intento de señalar de modo estricto el lugar en que hace su aparición, a partir de los tipos precientíficos de conocimiento, inevitablemente vulgariza y deforma en nombre de la claridad. La ciencia es de gestación larga, sus orígenes y desarrollo resultan complejos y, a veces, oscuros, y lleva consigo las huellas del parto. Del mismo modo que en el hombre se reconoce al niño, la infancia de la ciencia, y sus orígenes en los modos precientíficos de conocer, han dejado en la ciencia moderna el rastro de sus primeras formas y métodos de pensar; dichos modos precientíficos de conocer pueden, pues, considerarse también como tipos protocientíficos de conocimiento, pues en ellos ya se vislumbran facultades para el desarrollo de la ciencia.

El sentido común

Gran parte de nuestro conocimiento es saber práctico: se refiere, con los pies muy en el suelo, a cómo hay que hacer las cosas, cómo se alcanzan objetivos y cómo hay que actuar en situaciones corrientes. Este conocimiento «de sentido común» es común porque es de esperar que cualquiera lo posea, y constituye por tanto un cuerpo de verdades familiares y ubicuas que apenas se articulan con vistas a la reflexión crítica por lo frecuentes que son y lo bien atrincheradas que se encuentran en el comportamiento y el lenguaje prácticos. Es cierto que gran parte de él se expresa en la literatura de un pueblo, así como en su acervo de máximas técnicas, según hemos visto ya al estudiar los tipos precientíficos de conocimiento. Pero el contenido de sentido común de este patrimonio se asimila de tal manera que pasa a formar parte del entendimiento tácito: sus verdades son obvias se dan por sentadas y sobre ellas no se reflexiona, aunque se encuentren incorporadas en forma lingüística y se expresen en el lenguaje ordinario de los hombres como dichos proverbiales tan entrelazado con el lenguaje corriente que la expresión del sentido común es elíptica, y gran parte de él va incluido en los llamados modismos o genio de una lengua (p. ej.: en frases elípticas tales como «¡Ya está aquí otra vez!», «Qué te habías creído?» o «¡Ya era hora! »).

Lo característico del tal conocimiento de sentido común es que no es ni explícitamente sistemático ni explícitamente crítico, es decir, ni cualquiera de sus partes atañe a todas las demás, ni existe intento consciente alguno por considerarlo como cuerpo consistente de verdades. Sin embargo, es a grandes rasgos completo y se encuentra listo para su utilización inmediata, como corresponde a la propiedad común de una cultura, al conjunto de previsiones certeras referentes a lo que todo el mundo debiera saber de las actividades corrientes y básicas de la vida cotidiana, y en consecuencia proporciona previsiones seguras en materia de actividad humana y previene contra sorpresas que no se esperaban. Las funciones que desempeña posibilitando el trabajo ordinario y la vida social y delimitando la aleatoriedad y el peligro en la acción, son de importancia inapreciable.

El sentido común no es invariable ni tan universal como para no cambiar según los entornos y períodos históricos. El sentido común

de una generación resulta ser, a veces, lo sin sentido de la generación siguiente: en tiempos era de sentido común cerrar las ventanas al pernicioso aire nocturno; actualmente es de sentido común mantener las habitaciones bien ventiladas por la noche. Pero en el transcurso de estas variaciones parece haber ciertos entornos universales, ciertas situaciones humanas características que salvan diferencias de tiempo, lugar y circunstancias y, por tanto, ciertos universales de sentido común adecuados a todos los entornos. Uno de los juegos favoritos de la antropología comparada consiste en intentar establecer (o establecer que no existen) tales rasgos comunes omnipresentes: los «universalistas» encuentran dichos trazos comunes en sociedades muy dispares y especulan acerca de los «universales de la naturaleza humana»; los «relativistas» se complacen en desbaratar tales pretensiones de universalidad descubriendo excepciones y casos en contrario. Pero hay actitudes y creencias de sentido común a bajo nivel que sí parecen prevalecer siempre o que, al menos, producen a primera vista la impresión de hacerlo: en ninguna parte es costumbre aceptada el intentar andar a través de objetos sólidos, y en todas partes existe alguna versión cauta del «Antes que te cases, mira lo que haces»; y con todo lo dispares que son las costumbres referentes al trato con extraños, puede afirmarse que en cualquier sociedad hay alguna máxima que aconseja no fiarse de cualquiera y alguna obligación de fiarse de alguien.

Y en esto estriba la dificultad, porque tales formulaciones son tan amplias y vagas que cualesquiera posibles interpretaciones se ajustarían a ellas. Al igual que ocurre con el sistema de citas probatorias (gracias al cual puede encontrarse justificación a conclusiones opuestas citando capítulos o versículos adecuados de la Biblia), se pueden encontrar bases de sentido común en tipos opuestos de acciones, así uno puede encarecer las precauciones con un «Antes que te cases, mira lo que haces», y animar a que se corran riesgos con un «El que no se arriesga no cruza la mar». La conclusión de sentido común a deducir de tales consejos aparentemente opuestos sería: «Nada en demasía». Pero la caracterización definitiva de una acción para determinar si es de este tipo depende siempre de un «juicio de sentido común bueno y saludable» del que no existe especificación. La tradición y el consenso de toda la humanidad pueden a veces ser llamados en ayuda de tales

juicios, pero también en este caso nos quedamos o con una máxima práctica o con un círculo vicioso: confiad en el mejor juez para emitir el juicio más razonable. La máxima práctica da una pista en cuanto a la naturaleza del sentido común, porque el «mejor juez» es el que tiene mayor experiencia, y está claro que el sentido común es el producto de una amplia y larga experiencia. Puede decirse que es, al nivel de lo más práctico, la adaptación al medio humano obtenida evolutivamente. Su adaptabilidad es índice de su gran valor de supervivencia, y según ciertos puntos de vista evolucionistas, es un instrumento tan refinado e importante de supervivencia de la especie humana como la coloración protectora o la organización social en algunas especies animales.

En defensa del sentido común cabe decir que se forma lenta y cuidadosamente, que se ensaya de modo eficaz en áreas de la más amplia experiencia común, que su núcleo ha estado formándose durante quizá un millón de años y que constituye la condición de la sociabilidad y de la comunidad en los aspectos prácticos de la vida y el trabajo. Pero aunque pueda ser el terreno del que surge la ciencia, no es científico por no ser objeto de crítica consciente y reflexiva: puede ser adaptativo por obra de la «crítica» de la experiencia en el transcurso de largos períodos de tiempo, pero por ser tácito e implícito en el tipo corriente de creencias de sentido común, parece más próximo al hábito que al pensamiento consciente. Es con frecuencia erróneo (incluso en situaciones prácticas), falso con respecto a cosas que se dan por supuestas y demasiado vago como para resultar adecuado como guía para la acción en situaciones especiales y nuevas. Su fijeza frente a los cambios ha hecho decir a algunos críticos y defensores que es próximo al instinto. Los primeros defensores filosóficos del sentido común, los llamados realistas escoceses del sentido común, tales como Thomas Reid y Dugald Stewart, consideraban las creencias fundamentales de sentido común como instintos naturales de los que estamos provistos para ir tirando en el mundo. Por ejemplo, la creencia en la existencia de una realidad externa independientemente de nuestro conocimiento era considerada por estos teóricos del sentido común no como una generalización filosófica ni como algo adquirido por la experiencia, sino como una creencia nativa, instintiva, inasequible a la duda.

Esta es, instintos aparte, una descripción honrada acerca del carácter del sentido común. La creencia de sentido común se torna, con toda la (inconsciente) buena fe, como indudable; y el mero desafío a tal fe se considera o como inconcebible o como señal clara de la irracionalidad o de la extrema idiotez del desafiado. Por eso C. S. Peirce ha caracterizado el sentido común *acrítico* por su propia naturaleza, y es aquí donde el sentido común, con toda su amplitud y potencia inductiva, se separa del pensamiento científico y del análisis filosófico, que son críticos por naturaleza. La aparición de esta crítica, tan crucial en la transición del sentido común a la ciencia, nos ocupará en lo queda.

Del sentido común a la crítica de los conceptos

El sentido común puede dar una regla o guía para la acción, pero deja sin precisar el método para aplicarla: depende para ello del «buen sentido» o del «juicio acertado» y, como se sabe por sentido común, no hay educación ni dotes oratorias algunas que garanticen tal juicio acertado. Se dice que depende de la «experiencia», de haber llegado a conocer, o a reconocer, tal juicio en la práctica. El método de sentido común que permite asegurar que se procede con buen sentido consiste en señalar un modelo o paradigma y exigir imitación, y se dice por eso que gran parte de nuestra educación en lo referente al juicio procede del buen ejemplo, lo cual es análogo al empleo de modelos ejemplares en los entornos tecnológicos anteriormente discutidos. La instrucción es «Hazlo así» o «Hazlo de esta manera», y la contestación a la pregunta inoportuna en cuanto a *por qué* debe hacerse de esta manera es «Porque así es como se hace» o «Porque esa es la manera correcta de hacerlo».

Pero una vez que tales reglas implícitas en un ejemplo o tales máximas explícitas se articulan, pueden, por su parte, pasar a construir objetos de juicio. La crítica del maestro, originalmente dirigida a la actuación o al producto de la actividad del aprendiz (por ejemplo, «La flecha esta que has hecho es mala» o «Lo que has cazado vale bien poco»), puede ahora referirse explícitamente a no haber seguido la regla o a haber seguido una mala regla (por ejemplo: «No seguiste las instrucciones» o «La regla que has seguido es errónea»). La transición parece muy limitada (si es que cabe hablar de transición), pero la atención se ha desplazado de la actuación (o del producto de la misma)

a la regla o al juicio que la gobernaba: la crítica va ahora más allá de la crítica de la propia práctica y apunta en cambio a las formulaciones lingüísticas y a los conceptos que describen y prescriben esta práctica. La crítica de reglas y juicios sustituye a la crítica de la experiencia conforme el mero sentido común se transforma en sentido común crítico: se pasa de usar conceptos de sentido común a la crítica y al reflexión acerca de ellos, que es lo que distingue a la inteligencia práctica de la racionalidad.

Esto trae consigo un conjunto de consideraciones formales en cuanto a la validez y coherencia de los juicios de sentido común. Del sentido común como tal cabe decir que no es consciente de «creencias incompatibles» ni «incoherencias» dentro de su propia estructura, precisamente por ser tácito en tan gran medida. Tal incompatibilidad se hace aparente sólo bajo reflexión crítica, pero esta reflexión requiere, por tanto, cierta noción de sistematicidad: de cómo las diversas proposiciones del sentido común atañen unas a otras, de cómo un concepto se relaciona con otro o de cómo un juicio implica otro. Lo que queda por hacer explícito son criterios sistemáticos tales como los de coherencia y no contradicción, y para que estos criterios resulten significativos, para que esta crítica sea en absoluto posible, el contenido del sentido común precisa estar articulado como sistema de discurso, es decir, como sistema explícitamente formulado de expresiones lingüísticas en forma relativamente permanente que pueda inspeccionarse y sea de dominio público.

La diferencia más importante entre ciencia y sentido común reside en que la proposición científica es explícita y refutable y en que la ciencia intenta ser consciente y deliberadamente crítica como cosa natural. La condición para que haya crítica es, como poco, que el objeto de la misma se articule, de modo muy claro, como objeto de reflexión consciente y deje de ser ilícito. Pero ¿qué es lo que constituye tal objeto de crítica o qué es lo que puede criticarse de este modo? No puede ser meramente la propia experiencia, porque las experiencias sólo se tienen. Ser crítico con respecto a la experiencia requiere formularla de tal modo que pueda pasar a constituir objeto de reflexión. Como poco, pues, dicha experiencia tiene que recordarse; pero esto no es suficiente, porque recordar una experiencia es, en cierto sentido, representarla o revivirla. Pero la experiencia «vívida»,

en cuanto tal, no admite crítica. No obstante, el relatar o descubrir una experiencia ya no es como el simple hecho de tenerla: la formulación pública en un lenguaje pasa a ser objeto de reflexión crítica y pública, pues entonces pueden hacerse preguntas en torno al significado de las expresiones, cómo han de entenderse y si son verdaderas o falsas, y las propias respuestas son a su vez objeto de la misma reflexión crítica, el mismo examen en cuanto a su significado y verdad.

Los conceptos y los juicios que se expresan en un lenguaje se convierten por tanto en temas a explicar, haciendo explícito el contenido, en gran parte tácito e inarticulado, del conocimiento y la fraseología del sentido común. Este análisis de conceptos y esquemas sistemáticos en los que los conceptos se relacionan unos con otros es una de las fuentes de la filosofía. Cabe decir que, en parte, la filosofía es aquella explicación del sentido común que lo convierte en objeto de reflexión sostenida y sistemática y que fuerza, por tanto, a examinar qué es lo que se supone saber, significar y creer con el sentido común ordinario. El interés filosófico por el lenguaje no es el del lingüista, aunque la manera en que el lenguaje se estructura, la manera en que llega a significar y la manera en que varía puedan atañer a problemas filosóficos. La filosofía es más bien el enfoque crítico del contenido mental del lenguaje y del modo en que la articulación en forma lingüística da forma y es formada por este contenido. Por tanto sustituye al sentido común y es un conocimiento acerca de él más bien que otra forma de conocimiento de sentido común. De esta manera es como se encuentra separado de los intereses prácticos inmediatos del sentido común, cuyo objeto es la decisión y actuación cotidiana, pero se ocupa de criticar los conceptos que gobiernan esta práctica o las creencias incorporadas a ella.

En este sentido, la filosofía es una crítica, pero hemos visto que gran parte del pensamiento del hombre se ocupa de algo más que de problemas de sentido común. Más allá de la periferia a corto plazo de la actividad diaria, hay cuestiones especulativas y teóricas que se refieren al porqué y al cómo de las cosas. También estos problemas pueden ser de bienestar o malestar humano, con repercusiones prácticas en la economía más amplia y a más largo plazo de la vida humana; pero son problemas de tal grado de abstracción y de tan gran generalidad como sólo el lenguaje hace posibles. La propia formu-

lación de problemas de este alcance presenta como condición esa abstracción conceptual que el lenguaje proporciona, y así, donde el sentido común, orientado hacia lo específico y concreto, puede preguntar «¿Qué es bueno o correcto en este caso o en casos de esta índole?» o «¿De dónde procede esta o aquella cosa?», la investigación especulativa generaliza de tal modo que las preguntas son de un tipo cualitativamente distinto: «¿Qué es *lo bueno* o *lo correcto* en la vida humana?, ¿Qué es lo que, en general, hace que cualquier cosa sea buena o que cualquier acto sea correcto?», o «¿De dónde proceden *todas las cosas*?, ¿Cuál es el origen o principio *de todas las cosas*?» Una vez articuladas, tales preguntas pasan a ser ellas mismas, objeto de reflexión crítica: ¿qué significa la pregunta?, ¿qué tipo de respuesta exige?, ¿cómo puede uno decidir cuáles son verdaderas, y cuáles falsas, de las respuestas a tales preguntas?

He aquí, pues, otro tipo de cuestiones para la crítica filosófica, pero para aquella crítica cuya doble tarea es la de explicación y análisis y la de elaboración teórica, pues tales preguntas no admiten contestaciones derivadas de la observación del sentido por generalización a partir de dicho conocimiento. Lo que se pide es más bien una hipótesis que trascienda la experiencia común, pero que se encuentre aún ligada a lo que el entendimiento común encuentra plausible: algo que la razón aplauda pero que la percepción y la práctica común no nieguen ni encuentren absurdo.

La tensión entre interpretación teórica y sentido común —entre hipótesis ideadas para contestar a las preguntas del intelecto especulativo y los hechos sencillos del saber cotidiano y de la observación— da, pues, lugar a una crítica de índole más compleja. Para nuestros fines —estudiar la génesis del pensamiento científico— esto resulta crucial, porque señala la decisiva transformación del sentido común acrítico en pensamiento científico racional y crítico. No es por casualidad por lo que las primeras muestras de especulación crítica filosófica y las primeras muestras de filosofía poseen una ascendencia común: por una parte, la matriz de conocimiento tácito de sentido común y de formulaciones precientíficas de mitos, máximas técnicas y reglas sociales; por otra, la reflexión y la crítica que la forma explícita del lenguaje hace posibles. Partiendo de esta amalgama, los griegos produjeron una revolución conceptual tan profunda y decisiva por la huella

que ha dejado, que las características principales del pensamiento científico —lo que aquí denominamos sus fundamentos conceptuales— conservan hasta hoy las características de su molde.

PARTE II

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

ORÍGENES DE LAS RELACIONES CIENCIA - PODER POLÍTICO*

J. J. Salomon

El encuentro del saber y del poder no es, de ninguna manera, una singularidad de nuestra época. Como escribió Condorcet, “en todos los siglos se ha visto a príncipes gustar de las ciencias, aun cultivarlas, atraer a los sabios a sus palacios, y recompensar, con sus beneficencias y su amistad, a hombres que les ofrecían un recurso seguro y constante contra el tedio, especie de desdicha que parece estar particularmente ligada al poder supremo”. Y, desde Platón, no faltaron los sabios (en aquel tiempo, los filósofos) que desempeñaron, con mayor o menor suerte, el papel de consejeros de los príncipes, y procuraron inspirar la acción política en los principios en que fundaban su saber (su filosofía). La Antigüedad abunda en ejemplos que ilustran lo que siempre hubo de ambiguo y de incómodo en las relaciones entre el saber y la ciudad. Nada hay que sea más tentador que la analogía: ¿por qué no remontarse hasta el proceso de Sócrates para explicar el “caso Oppenheimer”?

Pero este tipo de analogía sólo es posible a condición de hacer caso omiso de lo que distingue precisamente la ciencia moderna de la antigua, es decir, a costa de un “olvido” del cambio fundamental que trajo consigo la “revolución científica” de los siglos XVI y XVII. Antes de estas fechas, se produjeron sin duda intervenciones del poder político, que actuó como mecenas, patrono o cliente, pero el alcance del poder tenía pocas probabilidades de consumarse, puesto que la

(*) Fuente: J. J. Salomon, “Ciencia y política”

ciencia antigua se prohibía a sí misma ofrecer aplicaciones prácticas. El ejemplo de Arquímedes, tan frecuentemente citado, es significativo; basta con leer a Plutarco para advertir que el más grande de los ingenieros de la Antigüedad se preocupaba tan poco de sacar provecho de sus trabajos de mecánica como su socio comanditario el rey Herón: de las máquinas que construyó y que, sin embargo, fueron utilizadas contra los romanos, no hacía “el menor caso... pues eran en mayor parte juegos de geometría, que había hecho para divertirse, a manera de pasatiempo, a instancias del rey Herón”.

“Mientras la voluntad de poder fue ingenua —dijo admirablemente Bachelard—, mientras fue nietzscheana, no era eficaz (para bien o para mal) más que a escala individual. Nietzsche obró sobre sus lectores; un lector de Nietzsche no ejerce más que una acción risible. Pero, en cuanto el hombre se apodera efectivamente de las fuerzas de la naturaleza, desde que deja de soñar con elementos intangibles y átomos ganchudos, y organiza realmente cuerpos nuevos y administra fuerzas reales, cumple la voluntad de poder provisto de una verificación objetiva, se convierte en mago verídico, en demonio positivo”. Este paso de la “voluntad de poder ingenua” a la “voluntad de poder comprobada”, que transformó las relaciones entre saber y poder, echó raíces indudablemente en la ciencia antigua, pero sólo se ha podido cumplir a partir de la ciencia moderna. Es conveniente recordar el sentido de los cambios de los que nosotros mismos somos aun testigos.

La revolución científica del siglo XVII

La noción misma de política de la ciencia podrá ser moderna, pues nos remite a una relación estrecha, y sobre todo irreversible, entre la ciencia y los poderes públicos, pero esta relación aparece desde los comienzos de la ciencia moderna, de hecho con ella, como si estuviese implicada por el horizonte nuevo en que sitúa su acción teórica.

En contraste con la ciencia antigua, el horizonte teórico de la ciencia moderna se afirmaba en las cosas. Por lo mismo, por sus promesas de aplicación —y aunque, durante largo tiempo, distó mucho de cumplirlas— el saber mantuvo una relación nueva con el poder político: el punto de arranque político de la ciencia moderna estaba inscrito en su punto de partida intelectual.

La ciencia se propone ampliar nuestro conocimiento y nuestra comprensión de la naturaleza. Esta definición banal sólo es problemática cuando se la invoca para hacer de la ciencia una actividad separada de las preocupaciones de este mundo y que, para bastarse a sí misma, nada debería a las demás actividades humanas, ni tampoco las serviría. La idea de una ciencia que se abstiene de ser útil a la sociedad, que convierte al investigador en un hombre al que su curiosidad y sus intereses encierran en la famosa torre de marfil, se remonta a la época en que la ciencia no se preocupaba por tener, ni tenía, un verdadero dominio sobre la naturaleza, es decir, hay que pensar en la Antigüedad griega y en la Edad Media. Es lo mismo que decir que esta idea se remonta a la época en que la ciencia, al menos en el sentido en que la entendemos, no existía. Es una ironía de la historia que quienes le niegan a la ciencia toda función social no advierten que la ciencia de la que hablan no es ni remotamente la ciencia que conocen o que practican hoy en día.... Pues la ciencia que llamamos moderna, la que se impuso a partir de la “revolución galileana”, se constituyó precisamente en contra de la idea de la ciencia que separaba a la teoría de la práctica.

Todavía en el siglo XVII, los maestros de la universidad, herederos o discípulos de Aristóteles, no sólo eran extraños a la idea de una ciencia experimental, sino hostiles sobre todo a la misma. Para ellos, la verdadera ciencia, no descansa en el intercambio entre la experiencia y la razón, la última de las cuales se probaría con la otra, sino en el descubrimiento por la sola razón, de los principios y de las verdades que la experiencia misma impide alcanzar, como un velo interpuesto, entre las apariencias y la realidad. La verdadera ciencia es contemplación, es decir, visión puramente intelectual de las realidades que están más allá del mundo sensible.

Si los sabios “oficiales” no tienen laboratorio en el cual poner a prueba, a través de la manipulación y de la experimentación, su concepción de lo real, no es porque ignoren el uso del mismo, es que no quieren hacerlo para no rebajarse. Ninguna época muestra mejor que ésta hasta qué punto el estado de la ciencia que consiste en contemplar está reservada a los “hombres libres”, que ejecutan un trabajo “liberal”, mientras que lo técnico es lo propio de los artesanos, que hacen obra “servil”; tal y como la técnica está por debajo de la ciencia, el artesano está por debajo del “hombre libre”, que es el sabio.

No se puede exagerar el peso que ejerció este prejuicio social sobre la ciencia de aquel tiempo: por lo menos, explica el menosprecio y el desdén con que, en la Edad Media, se apreció la obra de los raros sabios de la Antigüedad que hubieran soñado con una ciencia mecanicista que actuara sobre la naturaleza para transformarla.

El mismo prejuicio ha sobrevivido desde el siglo XVII en la idea, todavía tan persistente en nuestros días, de una separación radical entre la investigación fundamental y la investigación aplicada, la ciencia y la técnica, el hombre de ciencia puro y el ingeniero. Recordemos el pasaje de Platón en el que declara, después de haber reconocido los servicios insignes que el ingeniero presta a su ciudad al contribuir a su defensa: “A pesar de eso, lo desprecias, te burlas de su arte, de buen grado le lanzarías el nombre de su oficio como un insulto y no querrías ni darle tu hija a su hijo, ni aceptar la suya para ti”. Menosprecio que, aunque nos remita a una jerarquía de valores y de funciones sociales superadas, nos lo volvemos a encontrar en el prestigio de que se beneficia en nuestros días el investigador “puro” en contraste con el ingeniero. Sin duda, ciencia y técnica no comenzaron verdaderamente a ir de la mano y a depender la una de la otra sino en una época reciente a partir del siglo XIX. Durante largo tiempo, la invención, y en particular la invención industrial, no tuvo ninguna ayuda del descubrimiento científico; antes bien, si se piensa en los instrumentos científicos, es la ciencia la que se nos aparece como deudora principal, respecto de la técnica, y no a la inversa. Pero no porque la ciencia moderna, nacida de Galileo, Descartes y Newton, no pudiera cumplir desde antes sus promesas de aplicaciones rápidas, puede ponerse entre paréntesis aquello por lo cual, precisamente, se distinguió más de la ciencia antigua: su convicción y su ambición de hacer del conocimiento un medio de acción que ligase la teoría y la técnica.

La noción de una alianza entre la ciencia y la sociedad encuentra su fuente en la naturaleza misma de la ciencia moderna. Si el arte, de acuerdo con la fórmula de Bacon, es el hombre añadido a la naturaleza, el artesano es el hombre ligado al poder: como la ciencia tiende a acercarse al taller, también tiende a acercarse al poder político al que propone el uso de sus artificios. Desde su origen, el poder político ha exigido a los sabios el tratamiento de problemas en cuya solución estaba particularmente interesado; desde su origen, los sabios han

acudido a él invocando, para obtener apoyo para sus trabajos, que hoy clasificaríamos como investigación pura, la utilidad de los resultados posibles. Oigamos a Descartes: “Sería necesario que el Cardenal [Richelieu] os hubiese concedido dos o tres de sus millones para poder hacer todas las experiencias que serían convenientes para descubrir la naturaleza particular de cada cuerpo; y no me cabe la menor duda de que adquiriríamos grandes conocimientos que serían mucho más útiles para el bienestar público que todas las victorias que se puedan alcanzar haciendo la guerra”. Utilidad de los conocimientos: es la misma fórmula del célebre pasaje del *Discurso del Método*, en el que Descartes vislumbra esta “filosofía especulativa que se enseña en las escuelas” y convertir a los hombres en “amos y poseedores de la naturaleza”. Una ciencia que pretende ser útil presupone la existencia de instituciones dispuestas a sostener sus esfuerzos. La misma visión que hace de la naturaleza una máquina requiere máquinas para probarlas a través de la experiencia: instrumentos, lugares privilegiados, intercambios constantes y, por consiguiente, recursos económicos y una organización.

Es significativo que la ciencia moderna deba a un mismo hombre los principios de su método y las bases —soñadas— de su organización. En la utopía de la *Nueva Atlántida*, publicada en 1627, un año después de su muerte, Francis Bacon describe un viaje imaginario a una isla del Pacífico, que nos presenta a otra civilización, como las utopías de Campanella o de Moro. Pero, mientras que estas últimas utopías descubrían el paisaje convencional de una sociedad mejor, a condición de escapar a las corrupciones de la época y retornar al supuesto paraíso del comunismo primitivo, la de Bacon se imagina una sociedad en la que el principio de organización es la investigación científica. Visión que sustituye la exploración de la Tierra prometida a la nostalgia del paraíso perdido: “El objetivo de nuestra Fundación es el conocimiento de las causas y de los movimientos secretos de las cosas; y la ampliación de los límites del imperio del hombre, a fin de realizar todas las cosas posibles”. Visión que también sustituye en la jerarquía social el prestigio de los Grandes de este mundo por el del investigador: el retorno a la isla de uno de los “padres” de la Fundación va acompañado de honores y de ceremonias que comúnmente se otorgan a un monarca, a un jefe de Estado o de la Iglesia. Habiendo postulado que

la ciencia era reconocida como un servicio público, Bacon la dota de una institución en la que todo está organizado para la producción de descubrimientos, de acuerdo con una división del trabajo que obedece rigurosamente, etapa por etapa, a las reglas de su método. Desde los “mercaderes de ideas” que hacían averiguaciones en el extranjero, hasta los “merodeadores” hojeadores de libros, desde los “precursores” que intentan experiencias nuevas hasta los “interpretes de la naturaleza” que derivan principios para la acción, la “Casa de Salomón” comprende la mayoría de las funciones que hoy corresponden al desarrollo de la investigación, y a las necesidades del Estado: agregados científicos, servicios de información, administradores y hasta reuniones de comités consultivos encargados de evaluar los resultados obtenidos de programar las investigaciones o de decidir cuáles invenciones será conveniente mantener secretas.

Es más significativo aun que la Nueva Atlántida, utopía en el sentido del Renacimiento, “modelo” en el sentido moderno, no sea la obra de un sabio, sino de un político: abogado, consejero de la Corona, procurador general, Lord del Sello y filósofo a ratos, Bacon jamás tuvo una actividad científica. “Escribe de filosofía como un lord canciller”, dijo de él William Harvey, para burlarse de sus conocimientos científicos. Pero, precisamente, es como hombre de Estado, consciente de los lazos que unen la investigación experimental con la sociedad, como sueña con un orden social nuevo en el que la ciencia planificada y organizada sería objeto de un desarrollo sistemático: en la historia de las relaciones entre ciencia y política, es el primer estadista científico. Se cuenta, dice Bacon, que la ciencia aparta a los hombres de la persecución de fines militares; que saber demasiado los hace tan curiosos e incapaces de tomar resoluciones que ya no son capaces de tomar decisiones políticas; que la ciencia conduce a que se prefiera la cultura privada a los asuntos públicos. Pero, replica, Alejandro y César eran tan cultos como grandes capitanes, los filósofos son útiles y aun necesarios al Estado, los letrados trabajan más que los otros porque lo hacen por la ciencia y no por el provecho privado y, finalmente, el Estado saldrá ganancioso y no perdedor gracias a las “tareas enseñadas y comprendidas” que sustituyan a la obediencia ciega. Para Bacon, la mayor justificación de la ciencia es su utilidad, ya que se define como poder. Y no es que se deba dar la espalda

a la actividad teórica sobre la cual se fundaba toda la ciencia de los antiguos: se trata más bien de reconciliar la teoría y la acción. Es verdad que Bacon carga el acento en los recursos tecnológicos del saber que se convierte en “servidor e intérprete de la naturaleza”, mientras que Descartes afirma el poder especulativo que tiene la razón para dominar a la naturaleza. En uno y en otro, la idea de la ciencia difiere en función de un concepto diferente de la naturaleza: el concepto baconiano nos remite aun a potencias ocultas cuyos secretos hay que arrancar; el concepto cartesiano desvanece los misterios al asignar a la naturaleza el orden de la geometría. Pero la ciencia que vislumbra Bacon no se reduce a la aplicación de las artes prácticas, cuya legitimidad, frente a las actitudes medievales, pretende asegurar su programa.

El Nuevo Mundo intelectual cuyas puertas abre, y del que tiene conciencia plena de ser el Cristóbal Colón [...], es aquel en el que la ciencia se impone por su carácter instrumental y por su carácter especulativo. Actualmente, la misma existencia de políticas organizadas de la ciencia nos hace pensar que ésta no se quiere considerar mas que en su aspecto instrumental. Para Bacon, este aspecto era indisoluble del otro; el Nuevo Mundo debe realizar la conjunción de la contemplación y de la acción, que es la única que puede vencer a la naturaleza y someterla a los fines del hombre [...]. Que se haga un mal uso de los frutos de la ciencia es otra cosa... Sir Francis Bacon, barón de Verulam, anota en su diario íntimo que no hay ambición más alta que la de servir a la humanidad entera mediante la ciencia; contrapone a la gloria del hombre de Estado la del inventor, que no carga la conciencia de remordimientos. Tres siglos más tarde, la conquista del átomo nos hará ingresar, a su vez, en un mundo nuevo, donde la gloria del inventor gravitará con un peso tan pesado sobre la conciencia colectiva como sobre la del hombre de Estado.

La utopía de la Nueva Atlántida es la idea de un cuerpo constituido que ocuparía su lugar en el Estado al lado de las instituciones encargadas de la justicia, del ejército, de la enseñanza o de las finanzas y cuyo cometido exclusivo sería el de la investigación científica. Bacon pudo inspirarse en las asambleas de letrados o de artistas, a veces de alquimistas, que se reunieron desde el siglo XVI para tratar más o menos periódicamente temas científicos. En 1560, G. B. della Porta había fundado ya en Nápoles una academia en la que no se podía

ingresar a menos que se aportase un descubrimiento secreto. Pero fue en Roma, en 1603, donde apareció la primera academia científica en el seno de una institución que se constituye a la sombra y con el apoyo de una autoridad política para consagrarse a actividades de investigación en las ciencias de la naturaleza: la *Accademia* del Lincei fue fundada por el príncipe Federico Cesi, duque de Acqua-Sparta, el cual la alojó en su palacio y mandó que instalaran para ella un jardín botánico, un gabinete de historia natural, una biblioteca. Los Lincei llevan un anillo de oro adornado con una esmeralda, en el que están grabados un lince, el nombre del príncipe y el de la academia; todavía están más cerca de pertenecer a una sociedad secreta que a una institución de reconocida utilidad pública y su estatuto depende de la fortuna del príncipe. Al igual que la Academia del Cimento, fundada algunos años más tarde en Florencia y cuyo título —la experiencia— era todo un programa, la *Accademia* del Lincei no tiene un estatuto permanente; al morir su protector, dejó de existir.

La creación de academias dotadas de un rango oficial es la culminación de una larga evolución de la sociedad, la cual comenzó desde antes del Renacimiento. El siglo XVI fue testigo de la constitución de una rica burguesía que se interesaba en las artes del ingeniero, para las cuales la ciencia “oficial” de entonces no tenía sino desprecio: la ciencia moderna nació al margen de la universidad y a menudo contra ella. Así por ejemplo, en Italia, el desarrollo de los negocios y del comercio trajo consigo el de las bellas artes y, por lo mismo, revalorizó los oficios que hasta entonces se habían tenido por mercenarios. No son solamente burgueses, como Vincenzo Galilei, el padre del gran físico, los que ingresan en la vida intelectual, sino también técnicos a quienes su competencia y la variedad de sus conocimientos autorizaron muy pronto a rivalizar con la universidad. Entre la función del artesano y la del sabio se establece un vínculo con el cual se le hace la guerra al principio aristotélico que distingue a la ciencia, contemplación de la verdad eterna, de las artes, o manipulación empírica de las apariencias. La física va saliendo poco a poco de las especulaciones metafísicas y se pone al servicio del hombre, porque las mentalidades y las costumbres cambian al mismo tiempo que cambia el sentido de la ciencia. Mientras que la universidad, prisionera de los discípulos de Aristóteles, enseña una ciencia sin contacto con la

realidad, las investigaciones nuevas se desarrollan a la sombra de los príncipes y de los grandes burgueses. Al principio, estas investigaciones son obra de algunos solitarios que los príncipes se esfuerzan por acaparar cada cual por su cuenta y que se reúnen por su iniciativa. Completamente distintos son los comienzos de la Royal Society y de la Académie des Sciences de París: así la una como la otra nacieron de reuniones privadas, a las cuales se concedió tardíamente el patrocinio real.

Los fundadores de la Royal Society, se reunían en casas de particulares o en tabernas, a veces en el Gresham College, mucho antes de que los reconociese una cédula real en 1662, tal y como los de la Académie des Sciences se reunieron durante largo tiempo en casa de Thévenot, antes de obtener en 1666, gracias a Colbert, una categoría oficial. Pero se necesitó menos de medio siglo para pasar de la utopía baconiana a la realidad: el avance de los conocimientos y la institucionalización de la investigación, de los que Bacon se había convertido en ardiente promotor, quedaron ligados oficialmente al poder político. Sin duda, según cada una de las instituciones, este vínculo cobra un carácter diferente: el apoyo prestado a la Royal Society es puramente formal, y sus recursos, reunidos con grandes dificultades gracias a las cotizaciones y a los donativos de sus miembros, bordearon en la miseria (hasta 1740, sus ingresos anuales totales no pasaron de las 232 libras); la protección que Luis XIV concedió a la Académie des Sciences le garantizó un sostén económico (los costos de los experimentos y de los instrumentos corrieron a cargo de la corona, y sus miembros recibieron pensiones), pero, al mismo tiempo, implicó una dependencia: después de la muerte de Colbert, la decadencia de la Academia fue el precio que tuvo que pagar por un favor real demasiado interesado, y “la investigación curiosa, la que no es más que pura curiosidad o, por así decirlo, una diversión”, debe ceder su lugar a “la investigación útil, la que puede tener relación con el servicio del rey y del Estado”.

De hecho, la Royal Society tenía puesta la mira en lo útil tanto como la Académie des Sciences, puesto que los aficionados del Gresham College habían obtenido el patrocinio del Carlos II gracias al interés que ellos habían manifestado por los problemas que surgían en el comercio, manufacturas, los transportes marítimos. Rober K.

Merton ha descrito muy bien como “desde un principio, los miembros de la Royal Society se preocuparon por justificar sus actividades (ante la corte y el público profano) y en cuanto pudieron hacerlo trataron de mostrar los resultados prácticos de sus trabajos”. Por otra parte, es el ejemplo de la navegación lo que les permite mostrar que las motivaciones utilitarias no sólo influyeron muy pronto en la dirección de algunos trabajos, sino que además condujeron a descubrimientos que más parecen ser fruto de investigaciones puras: argumentación que hoy se suele invertir para recordar que las investigaciones teóricas más alejadas de toda consideración utilitaria son a menudo ricas en aplicaciones prácticas...

El cálculo de la longitud en el mar se presentaba como un triunfo fundamental para el dominio de los océanos; el establecimiento de un método riguroso para conseguirlo era tan importante para Inglaterra, cuya posición insular planteaba problemas que no se les escapaban a los hombres de ciencia de la época que un acta especial, firmada en 1714 por recomendación de Newton, garantizó una recompensa a quienes lo lograran. “La importancia atribuida a la solución de este problema puede juzgarse en función de todas las recompensas ofrecidas igualmente por otros gobiernos. El gobierno holandés trató de persuadir a Galileo para dedicar su talento a la búsqueda de una solución; Felipe III de España ofreció también una recompensa y, en 1716, el regente, Felipe de Orleans, estableció un premio de 100000 francos”.

Los estatutos de la Royal Society, adoptados en 1663, le fijaron como fin “el perfeccionamiento del conocimiento de las cosas naturales y de todas las artes útiles, manufacturas, prácticas mecánicas, ingenios e invenciones por experimentación, sin meterse para nada en cuestiones de teología, metafísica, moral, política, gramática, retórica o lógica”. La política queda excluida como opinión o partido que, estorba el trabajo científico; pero, en otro sentido, está implícita como conjunción de dos intereses, el servicio de la ciencia y el del Estado: el apoliticismo de la actividad intelectual no está reñido con hacer un contrato con el poder. “No puede uno cansarse de subrayar que fue el carácter experimental de la ciencia lo que suscitó la creación de las sociedades científicas”. Es este mismo carácter el que ha dado lugar a la liga cada vez más estrecha del Estado y de la investigación, en una

convergencia de intereses que definirá precisamente el campo de la política de la ciencia.

En 1752, Maupertuis, que presidía la Academia de Berlín, propuso a Federico II un programa detallado de investigaciones: “No quiero por el momento más que fijar su mirada sobre algunas investigaciones útiles para el género humano, curiosas para los sabios, y en las cuales, dado el estado en que se encuentran actualmente las ciencias, nos parece que habremos de tener éxito... Para satisfacer a la vez la curiosidad de los sabios y las necesidades del género humano, es necesaria la intervención del poder en las investigaciones que requieren recursos que exceden los de los individuos: “Hay ciencias sobre las cuales la voluntad de los reyes no ejerce influencia inmediata: no puede determinar progresos, más que en la medida en que las ventajas que asigna a su estudio pueden multiplicar el número y los esfuerzos de quienes se dedican a ellas. Pero hay otras ciencias que, para su adelanto, tienen necesidad absoluta del poder de los soberanos; son todas aquellas que exigen mayores gastos que los que pueden hacer los particulares, o experiencias que en el orden de lo común no serían practicables”.

Los adelantos del saber en lo sucesivo pasarán por el camino del poder político; por lo mismo, el interés del Estado está en consultar a los sabios. Relación recíproca cuya lógica entendió perfectamente Condorcet: la ciencia instituida en cuerpo del Estado tiene necesidad de la “protección ilustrada del gobierno”, tal y como el gobierno, para sacar provecho de la ciencia, tiene necesidad de los consejos de una “sociedad de sabios”. Ya aparecen las nociones de elección y de prioridades en la asignación de los recursos:

“Se presentan sin cesar, al gobierno, proyectos, anunciados invariablemente con plena confianza, como si debiesen ampliar singularmente, o perfeccionar, las artes más útiles. Sería tan peligroso adoptar estos proyectos sin examen como renunciar a la ligera a las ventajas que prometen. Así, pues, hay necesidad de una sociedad de hombres instruidos que, juzgando sin prevención, y lejos de todo interés particular, ilustre al gobierno acerca de los medios que se le proponen, y le muestre cuál es, exactamente, el grado de utilidad de los que hay que adoptar, y hasta qué punto se puede confiar en su éxito.”

La revolución política del siglo XVIII

De nuevo es a Condorcet, el último de los “filósofos” y el único que tomó parte en la Revolución al que hay que referirse para la etapa siguiente, donde se ve a la idea de progreso inspirar una relación nueva entre la ciencia y el poder político. La utopía de Bacon tendía a lograr el reconocimiento de la legitimidad de la ciencia moderna como instrumento, a la vez, de conocimiento y de acción: la legitimidad del método y legitimidad de la institución correspondían al mismo combate contra la ciencia antigua. Pero la Nueva Atlántida era tierra prometida solamente para los científicos: con los sabios, a los que se les trataba como reyes, el sistema era monárquico. Continuando la utopía de Bacon, pero conforme al espíritu del siglo que descubre en los adelantos del saber el instrumento del progreso social y político, Condorcet se imagina una sociedad científica cuyo principio es democrático y cuyo establecimiento constituye la última peripecia del desenvolvimiento histórico de la humanidad.

En el *Fragment sur l'Atlantide*, que escribió en vísperas de su muerte como un acto de fe en el poder que tiene la razón para asegurar la dicha y la igualdad de los hombres, conjuga la esperanza baconiana de una ciencia organizada con la esperanza revolucionaria de una ciencia que organizase, que reorganizase el sistema social en su conjunto. El Siglo de las Luces prolonga la utopía técnica hasta convertirla en visión mesiánica: como la reforma del cuerpo social pasa por el progreso del saber, la institución científica ofrece el modelo de la sociedad civil, tal y como debe realizarla la última etapa, la “décima época”, del desarrollo histórico, “la reunión general de los sabios del globo en una república universal de las ciencias, la única cuyo proyecto y cuya utilidad no son una ilusión pueril”.

De esta manera se transforma la relación del poder y del saber: de islote aislado y casi exiliado de la sociedad global, conforme a la inspiración de Bacon, la sociedad de los sabios se encuentra llamada a ocupar un lugar privilegiado, a tomar valor de prototipo de la sociedad ideal, y a convertirse en el modelo del poder ilustrado por cuanto es el poder más perfecto del desenvolvimiento histórico. “Me he situado en un país verdaderamente libre, en el que reina una igualdad real..., en el que las luces generales y el conocimiento de los derechos del

hombre no permitirían temer que jamás se quisiera fundar el bienestar público sobre la igualdad de la ignorancia y de la estupidez”. Un rey, quizás, podría haber obtenido, por fantasía personal que “aquí, para llegar al conocimiento de algunas verdades, se hubiese emulado lo que el amor del oro ha hecho intentar y sufrir; allí [que] instrumentos cuya construcción tiene un precio que está por encima de una fortuna particular hubiesen arrancado a los cielos algunos de sus secretos”, mientras que el triunfo de la democracia asegura a la ciencia un sostén continuo y sistemático: “Esta constancia, este conjunto de opiniones que abarca a una larga serie de generaciones, al extenderse al sistema entero de las ciencias, es algo que sólo puede esperarse de un pueblo al que una razón fuerte y pura haya dictado las leyes y establecido las instituciones”.

En la misma medida en que se adquiere bajo los auspicios de la democracia, este sostén excluye toda ingerencia gubernamental que no armonice con las necesidades de la ciencia: la hipótesis de la libertad alcanzada permite fijar límites a la intervención del Estado, cuyos representantes deben ser lo “bastante ilustrados para darse cuenta de que no deben dirigir los trabajos, sino secundarlos, que no deben ordenar los descubrimientos que se hagan, sino sacar provecho de los mismos”. La línea de demarcación queda trazada, como por definición, por el equilibrio de todo el sistema social que no obedece más que a las luces de la razón: “De tal modo se unen entre ellas, por algunos puntos, las partes del sistema social aparentemente más alejadas. Así, para que la razón pueda ejercer totalmente su imperio sobre una sola, es preciso que haya logrado extenderlo sobre todas....”. En la “décima época” de la historia humana, en la que la ciencia triunfa sobre las supersticiones y las desigualdades, el problema de la asignación de los recursos no es más que un falso problema, puesto que la sociedad de los sabios debe conocer “toda la dignidad de la independencia que pertenece al individuo en un pueblo libre”. Ni beneficencias, ni exigencias: la política del Estado respecto de la ciencia es tanto más fácil de determinar cuanto que su propio principio es la razón. Corresponde únicamente a la asociación juzgar, de manera independiente, qué es lo que cree que debe emprenderse para acelerar los progresos de las ciencias. Corresponde al poder público juzgar, con la misma independencia, qué es lo que en estos proyectos parece merecer, o su concurso,

o su munificencia. No perdamos las esperanzas de que llegue un día en que esta división pueda ser hecha por la sola razón...”

Es verdad que Condorcet no piensa en trabajos cuyo costo sea tal que requiera de la cuantiosa ayuda del Estado: la sociedad científica cuya existencia se imagina viviría, en lo esencial, de las cotizaciones y donativos de sus miembros, con un fondo de reserva cuya renta bastaría para las necesidades mayores. “Podría esperarse y desearse del poder público, o bien facilidades para la correspondencia, o bien medios para ejecutar viajes a lugares remotos, o bien la concesión de emplazamientos, algunos de los cuales pueden ser rigurosamente necesarios; o bien los buenos oficios de sus agentes exteriores e interiores; intervenciones indispensables para algunas investigaciones”. El Estado tiene derechos sobre los frutos de la investigación, pero no es su cliente privilegiado, ni, por consiguiente, su principal suministrador de fondos. Se aspira al progreso de las ciencias como un fin social, ya que tiene que repercutir necesariamente en el progreso de la sociedad; esto no significa que la ciencia pierda su autonomía para responder a las finalidades a corto plazo del Estado.

Nos puede parecer que el siglo XVIII es la expresión de una alianza soñada entre la ciencia y la política, soñada como la esperanza de un mundo que cifra en los beneficios de la ciencia una solución a los problemas de las relaciones entre el individuo y el Estado, pero soñada también como el espejismo de un estado de la ciencia que por el momento sólo puede hacer promesas, por falta de aplicaciones rápidas. En la perspectiva de Condorcet, el Estado interviene más que como avalador financiero del desarrollo de las investigaciones; la política de la ciencia se reduce a la política para la ciencia, y esta última contribuye más en virtud de su finalidad que de sus aplicaciones al progreso social. El carácter instrumental de la ciencia moderna, en el que insistió Bacon, ya no se advierte más que en su contexto ideológico: la ciencia es poder, pero, en primer lugar poder de emancipación de los espíritus. Si actúa sobre la naturaleza, es para liberar a la naturaleza social; sirve al Estado a través de las luces que difunde, pero el Estado no puede influir en ella para orientar sus esfuerzos. La sociedad de los sabios está tanto más protegida contra las exigencias del poder extrañas a sus intereses propios cuanto más constituye el modelo del poder. Para Condorcet, en resumen, es el Estado el que presta servicios a la ciencia.

CIENCIA MODERNA Y BURGUESÍA*

Stefano Sonnati

"No os quepa duda de que la soberanía del hombre se oculta en el conocimiento" (F. Bacon)

Los siglos XV y XVI constituyeron uno de los más complejos y ricos períodos de la historia europea.

Este lapso de tiempo toma el nombre de Renacimiento para significar que se asiste a un despertar general de vitalidad y a un florecimiento de energía que va desde del campo del arte al de la industria y se extiende desde las actividades más espirituales y desinteresadas a las más prácticas, técnicas y mundanas.

La revolución científica que se manifestó entonces fue el resultado de una actitud libre, curiosa y original hacia la naturaleza. Es decir, fue una revolución científica que encontró sus puntos de partida en una revolución psicológica que, a su vez, es difícilmente explicable si no se tiene en cuenta que, desde finales del Medioevo al Renacimiento y posteriormente se asiste a una importante revolución social que vio surgir el tercer estado, la burguesía, con la característica propensión a los hechos concretos y su sentido, del orden y de lo positivo. Revolución social, revolución psicológica, revolución científica, tres fenómenos que en los siglos XV y XVI se presentaron correlativamente: el resultado general a que conducen tales correlaciones se resume en una íntima y general transformación del hombre y de su historia. Sin duda tal mutación, y hoy podemos decirlo, tuvo como principales protagonistas la ciencia y la técnica. Tendencialmente, la

(*) Fuente: Stefano Sonnati, "Ciencia y científicos en la sociedad burguesa"

ciencia moderna perfija ya vínculos con la técnica. La intención de gran parte de los científicos modernos es esa. En la práctica, las cosas cambian de época en época y de país en país. Solamente en el siglo XX el nexo científico-técnico se hará realmente evidente.

Se ha dicho que, en el Renacimiento, la historia del hombre está frente a un cambio radical y se ha remarcado que éste se da, sobre todo, a causa de la ciencia.

Pero precisemos este punto: no se trata de ningún determinismo. Es decir, no es la ciencia en sí misma, destacada sobre el resto del mundo humano, la protagonista de la historia.

La concepción burguesa del mundo

Hubo un tiempo en que se podía pensar que la ciencia, teniendo una indudable resonancia social y una notable relevancia en la transformación del mundo, mediante la aplicación práctica de sus descubrimientos, podía vivir y progresar en una zona exclusivamente suya, separada del contingente y tumultuoso contexto histórico y que podía desarrollarse en una especie de envoltura de vidrio según su propio ritmo y modalidad, dedicada por completo a la propia objetividad y del todo insensible a motivaciones que no fuesen científicas.

O sea que podría creerse que la historia político social de la humanidad haya tenido su propio ritmo de desarrollo y la historia de la ciencia haya tenido otro, y que las dos historias hayan avanzado más o menos paralelamente.

Si todavía es posible pensar de este modo con respeto a la ciencia antigua, hoy, la visión de una ciencia que se desarrolla exclusivamente según su propio método al margen de los valores socio-políticos de su época histórica es, ciertamente una visión equivocada. De hecho, el nexo que se da en el mundo moderno entre ciencia, política y sociedad es demasiado evidente.

Para comprender este nexo, es preciso partir de una hipótesis concreta, la de que el desarrollo de la ciencia moderna y el crecimiento de la clase burguesa, en el período histórico que va del 1500 hasta hoy, no han sido dos fenómenos accidentalmente paralelos sino, que por el contrario, han sido dos acontecimientos originados por una misma concepción del mundo. La ciencia moderna y la sociedad burguesa han nacido en idéntico período histórico, dentro del mismo tipo de

relación existente en aquel tiempo entre el hombre y la naturaleza, con su problemática característica positiva y negativa. Los límites y a la vez los evidentes aciertos de la clase burguesa resultan ser también, en buena parte, los límites y las causas del triunfo de la ciencia moderna.

¿Cuál es la concepción que tiene el burgués del mundo? El mundo, o sea el conjunto de la naturaleza, de las plantas, animales y hombres, representa para el burgués el lugar donde se propone ejercitar su acción. El mundo es para él no solamente algo que conocer e interpretar sino, sobre todo el objeto de la propia acción.

Para el burgués, la aplicación forma parte del lógico desarrollo del conocimiento.

Para ganar y mantener su hegemonía, la burguesía ha necesitado cambiar, extenderse: no es, como la nobleza, una clase estática y temerosa de cada cambio sino que, por el contrario es, por su propia naturaleza una clase ligada al progreso y a la condición de futuro. Esto es lo que dice Marx al respecto en el *Manifiesto Comunista*. Son páginas magistrales debido a la claridad de los conceptos y a la profundidad de sus argumentos. Vale realmente la pena reproducirlas, al menos en parte:

“La burguesía ha mostrado por primera vez lo que puede hacer la actividad humana. Esta ha creado maravillas mayores que las pirámides de Egipto, los acueductos romanos y las catedrales góticas; ha realizado movimientos más importantes que las migraciones y las cruzadas.”

“La burguesía no puede existir sin revolucionar continuamente los medios de producción, en consecuencias las relaciones de producción y por consiguiente todo el conjunto de relaciones sociales. Por el contrario la principal condición para la existencia de todas las clases precedentes era, precisamente la inmutable conservación del antiguo modo de producción. La continua revolución de la producción, la incesante sacudida de todas las condiciones sociales, la inseguridad y el eterno movimiento distinguen la época burguesa de todas las otras. Todas las estáticas y enmohecidas condiciones de vida, con su derivación de opiniones y creencias convertidas en venerables por la edad se disgregan y lo nuevo envejece aún antes de haberse podido consolidar. Todo lo establecido y correspondiente a los diferentes órdenes sociales se evapora, lo sagrado se desacraliza y finalmente, los hombres se ven obligados a considerar con una mirada despojada de toda ilusión

su posición en la vida, sus relaciones recíprocas. La necesidad de salidas cada vez más importantes para sus productos empuja a la burguesía por todo el globo terrestre. Esta llega a todas partes, en todas partes se establece, estrecha relaciones”.

“Durante su dominio como clase, que dura apenas un siglo, la burguesía ha creado fuerzas productivas cuyo número e importancia superan cuanto han hecho todas las anteriores generaciones. Dominio de las fuerzas naturales, máquinas, aplicaciones de la química a la industria y a la agricultura, navegación a vapor, ferrocarriles, telégrafos eléctricos, roturación de todo el continente, ríos convertidos en navegables, poblaciones enteras que surgen del suelo casi por encanto —¿cuál de los siglos pasados había presentado nunca que tal fuerza productiva estuviera dominada en el seno del trabajo social?”.

Se comprende pues la estrecha relación que existirá entre clase burguesa y técnica. La técnica y sólo ésta, está en condiciones de prometer la incesante mutación del mundo y el intenso aprovechamiento de las fuerzas de la naturaleza, pero a partir de un cierto punto, agotado un cierto ciclo, el progreso tecnológico depende del progreso científico, el cual, en definitiva, es el único capaz de abrir nuevas perspectivas y nuevos campos de aplicación.

Los mismos conceptos de capital e inversión no pueden separarse de un contexto técnico-social en el que la ciencia asegure al industrial-burgués un continuo progreso de los medios de producción y, en consecuencia, una disminución del coste y un mayor beneficio de reinversión. Concluyendo, es el propio mecanismo de la producción burguesa el que exige que el mundo cambie continuamente, que no esté nunca “allí”, catalogado de una vez para siempre, como podía pensar Aristóteles.

Pero quien propugnó por primera vez el ideal de una ciencia que se desarrollase en base a una utilidad práctica y que fuese capaz de dar al hombre siempre mayor poder sobre la naturaleza, y quien dio a la ciencia el significado productivo y “burgués” que en adelante se le atribuye, fue Bacon. Según Bacon “el verdadero y legítimo fin de la ciencia consiste, simplemente en enriquecer la vida humana, con nuevos descubrimientos y nuevo poderío”. Dice también Bacon que es importante que los científicos modernos se liberen del prejuicio de despreciar el trabajo técnico y manual si se quiere dar impulso a una ciencia realmente moderna e inserta en el desarrollo de la sociedad. Por

haber desarrollado, ya en su tiempo, la imagen de una sociedad del futuro, hija de la técnica, la industria y la ciencia, fue llamado justamente, “el filósofo de la era industrial”.

Por otra parte, el ideal de Bacon era también, mayormente el ideal de su época y él, en el fondo, no fue más que su caracterizado intérprete.

Poco más o menos en el mismo año, Descartes, el primer gran filósofo de la edad moderna, en su *Discurso del Método* subrayaba la importancia de un conocimiento “práctico”, evidentemente concebido por él, como opuesto a la tradicional filosofía especulativa y escribía: “por medio de éste (conocimiento práctico) llegando a conocer la fuerza y la acción del fuego, del agua, del aire, de los astros, del cielo y de todos los demás cuerpos que nos rodean.... podremos utilizarlos para todo aquello que necesitemos, transformándonos en consecuencia en amos y dominadores de la naturaleza”.

Galileo Galilei: La ciencia moderna entra en conflicto con el poder constituido.

Pero, este ideal científico, surgido como hemos visto, de la misma mentalidad renacentista y portador, en principio, de una radical transformación en el plano de los valores, no podía dejar de generar contrastes y polémicas con la clase hegemónica, con la jerarquía religiosa y civil; en pocas palabras, tenía que entrar en contradicción con el poder constituido, el cual se debió percatar de la amenaza que podía representarle la nueva mentalidad científica, y se dispuso a parar el golpe. En este marco debemos considerar el drama y la figura de Galileo Galilei. Si Bacon fue quien supo imaginar las consecuencias de un saber aplicado a la técnica y la industria, Galileo representa el primer ejemplo de científico moderno y es el verdadero fundador del método empírico-matemático.

Toda la vicisitud religioso-científica de Galileo aparece hoy profundamente impregnada de un concreto significado ideológico: en aquel tiempo, mirar por el anteojo y juzgar según lo que el ojo veía, es decir, establecer un contacto sin privilegiados intermediarios entre uno mismo y la naturaleza, sentirse personalmente responsable de la propia interpretación, significaba una opción revolucionaria.

Galileo cree en el hombre, en la inteligencia y los instrumentos creados por la razón para desarrollar el poder de la mente; se acerca al mundo con plena confianza en la fuerza racional-divina del hombre. El conocer y el hacer, el modificar y el inventar no pueden ser más que bienes, toma de posesión de un ambiente natural creado por el hombre y destinado a ser cada vez más humano.

El hombre debe conocer la naturaleza, debe transformarla y servirla, está predestinado a ello ya que, antes de ser humano ha sido divino. En las cifras matemáticas se verifica cada saber en una especie de simbología privilegiada y, en última instancia, divina: el propio Universo ha sido escrito por Dios con caracteres matemáticos,

Considerando los motivos del famoso conflicto entre Galileo y la Iglesia, vemos que ciertamente, no se trataba sólo de las dos proposiciones que el 19 de febrero de 1616 transmitía el Santo Oficio al examen de los teólogos: “que el sol es el centro del mundo y, en consecuencia, inmóvil, carente de movimiento local” y “que la tierra no es el centro del mundo ni está quieta, sino que se mueve por completo” —y que los teólogos debían juzgar después como insensato para la razón humana y herético para la fe divina. Asimismo, el verdadero motivo de enfrentamiento tampoco puede buscarse en el episodio bíblico que narra cómo Josué detuvo el sol. La esencia del conflicto entre Galileo y la Iglesia es otra. Para la Iglesia se trataba de tomar nota de la transformación acontecida en toda una concepción del mundo y aceptar que el hombre podía ser libre para juzgar por medio de su inteligencia y su razón.

Probablemente Galileo no comprendió nunca del todo por qué la Iglesia tenía algo que temer de su ciencia y su nuevo método. Y esto lo diferencia de otro hombre, símbolo y protagonista del mismo siglo: Giordano Bruno.

En una historiografía laica del siglo XIX italiano, Giordano Bruno y Galileo Galilei fueron considerados más o menos iguales, respecto a la postura que adoptaron frente a la jerarquía y la organización de la Iglesia Católica. La burguesía liberal italiana de la segunda mitad del siglo XIX [...], vio en Bruno y Galileo (respectivamente) el emblema heroico del libre pensamiento y de la investigación científica independiente.

Bruno y Galileo son figuras de muy diferente psicología, preparación y cultura. En Bruno la dimensión metafísica y el entusiasmo cósmico están siempre presentes, mientras que en Galileo están completamente ausentes. Por el contrario la potencia organizativa y administrativa de la Iglesia católica era para Bruno uno de los elementos más deteriorados y más ajenos a la religión cristiana, en tanto que en la mente positiva y concreta de Galileo no dejaba de suscitar sentimientos de admiración y aquiescencia.

La realidad es que Galileo tenía de la “verdad” y la ciencia un concepto totalmente práctico y aplicativo y pensó que para llevar a cabo una labor científica fructífera, era indispensable contar con el apoyo de los que detentaban la autoridad ya que éstos podían asegurarle a nivel económico, los instrumentos necesarios para conseguir de su actividad, el mayor beneficio posible. Así es que Galileo buscó más el acuerdo y el buen entendimiento con el poder, representado entonces por la iglesia, que una drástica ruptura. Su postura se mantuvo conciliadora: quería convencer a la autoridad político-eclesiástica de que con el nuevo método empírico-matemático y el futuro desarrollo científico que éste prometía, tenía todo que ganar y nada que temer.

Pero las cosas fueron muy diferentes a las que Galileo esperaba, ya que los tiempos no eran propicios y la Iglesia, obligada a cerrar filas frente a la Reforma alemana, no se encontraba en las mejores condiciones para aceptar aquella nueva y revolucionaria concepción del mundo y del hombre. Mas la mentalidad antimetafísica y puramente burguesa de Galileo sigue siendo evidente. Este no busca la hoguera; no siente la necesidad de testimoniar personalmente la “verdad”, sino que continúa sintiéndose buen católico y moderno científico y, con una especie de apaciguadora ingenuidad, se obstina en comprender el porqué de la disensión con la iglesia y la causa del drama cuyas circunstancias históricas, lo han convertido en el protagonista directo. “Habiendo nacido en un país católico —escribe Geymonat en una penetrante monografía sobre Galileo— era católico practicante; pero el problema religioso no constituía para él ni siquiera el más mínimo estímulo: es decir, no demostraba ningún interés, ni por la evidencia de la existencia de Dios ni por las controversias entre una y otra confesión cristiana. En cambio lo que le interesaba al máximo, suscitando su más viva y sincera admiración era la potencia organizativa de la Iglesia católica”.

Galileo consideraba la ciencia no como una actividad privada de cada estudioso, sino como un hecho de interés público, destinado a penetrar en toda la sociedad; por eso la ciencia, para alcanzar su pleno desarrollo, tenía necesidad de ser sostenida y ayudada por todos los principales exponentes del gobierno de la sociedad. De ahí el especialísimo interés de Galileo por la Iglesia Católica tanto más vivo y sincero cuanto más evidente era la capacidad organizativa de tan grandiosa institución, y cuanto más se extendía su influencia, sobre todo en la esfera de la cultura. De ahí también la convicción arraigada en él que lo llevaba a intentar por todos los medios la conversión de la Iglesia a la causa de la ciencia, para evitar que surgiera entre ambas una ruptura que hubiera retrasado peligrosamente el desarrollo de la investigación científica.

Gracias al proceder positivo y burgués de Galileo, ya no se identifica al científico con el sabio, con el solitario, sino que se convierte en el principal artífice de un mundo nuevo. “Galileo —dice Antonio Banfi— no es nunca un solitario: la sociedad lo paraliza, lo inquieta; le es necesario vivir, actuar entre los hombres, sentirse estremecer de ira o rozado por la envidia de los adversarios, escuchar el aplauso de los admiradores, consolarse y encenderse con el entusiasmo y el afecto de los amigos, sin descansar nunca, sin temer nada”.

Del análisis de la personalidad de Galileo surgen dos factores que pueden considerarse como distintivos de la figura del moderno hombre de ciencia:

- 1.- La actitud práctica, según la cual los problemas teóricos interesan solo cuando están basados en un interés aplicativo;
- 2.- La necesaria relación con el Poder, ya que únicamente el apoyo de la élite política y financiera puede asegurar libertad de acción y una estructura adecuada.

Es así como la ciencia, al ser cada vez más rara la figura del investigador científico solitario, aparece paulatinamente más socializada en la época moderna. Surgen gabinetes científicos, laboratorios y academias para el desarrollo de la ciencia como la Royal Society que debe recordarse por el importante papel que desempeñó en su tiempo y por la fama de que disfrutó.

La Royal Society: la ciencia se transforma en institución social.

La Royal Society nace oficialmente en Inglaterra en 1662, y surge como reacción a la vieja cultura abstracta y teológica que se impartía en la Universidad [...]

En este periodo de la historia inglesa, se advierte por todas partes un gran deseo de cambio, la dictadura de Cromwell había significado para muchos, una ruptura total con el pasado. El mismo deseo por lo nuevo y la misma intolerancia por los vínculos de la tradición que llevará a Inglaterra a afrontar la “gloriosa” revolución de 1688, es lo que hace nacer en 1662 la Royal Society. Esta ya existía en 1645 organizada de forma privada, y se caracterizaba por su espíritu libertino, genial y anticonformista, lleno de entusiasmo y actividad.

La Royal Society representa la transformación de la ciencia en institución social. Se trata, aunque de manera todavía inadecuada, del inicio de una organización de científicos, un nivel intermedio entre el círculo y el laboratorio.

Es importante constatar que los científicos salen de su aislamiento, que advierten la necesidad de una discusión, de un cambio de ideas, y que sienten la utilidad de un trabajo empírico con diferentes competencias y especializaciones.

Asimismo la especialización es un aspecto importante de la ciencia moderna: cuanto más progresa la ciencia más aumenta la especialización y el panorama completo del conocimiento no está al alcance de cada científico. Cada investigador que trabaja en un cierto aspecto, debe aceptar los resultados de los que trabajan en otros terrenos, sin pretender poder examinarlos de forma competente.

Es así como en la actualidad, el conocimiento científico se presenta como un gran mosaico del que los científicos de un determinado sector son únicamente un elemento, mientras que cada vez es más difícil discernir la fisonomía global resultante del conjunto de todas las disciplinas.

Pero esto no era todavía así en la época de la Royal Society, donde, por el contrario, cada científico tenía profundos intereses filosóficos y cada filósofo intereses científicos. Por ejemplo, el “filósofo” Locke y el “científico” Newton eran ambos socios de la Royal Society.

En la Royal Society, la referencia a Bacon es inmediata y espontánea. Bacon es llamado nuevo Moisés y guía de la humanidad; su concepción moderna de la ciencia, sus ideas en torno a las relaciones que ésta debe mantener con la sociedad, su anhelo por un cambio total de la condición del hombre sobre la tierra, se convirtieron para la Royal Society en patrimonio y programa de actuación. Intelectuales, libre-pensadores, científicos —entre estos últimos quisiéramos recordar a Robert Boyle— afirmaban haberse reunido en la Royal Society para llevar a cabo el programa baconiano de un bien público y un beneficio para el género humano. Tenían en la ciencia y en sus posibilidades aplicativas una confianza casi ilimitada. Sostenían que todavía no se había hecho nada en ese campo y estaban convencidos de que solamente a través de la posibilidad técnico-científica el hombre podría encontrar la felicidad que vanamente le habían prometido filósofos y teóricos.

El programa científico de la Royal Society estaba dirigido, como podemos leer, “a explorar las vastas profundidades del mar de la naturaleza” aunque también se habla de mejorar la fabricación de vestidos, desarrollar las técnicas para el cultivo de las pieles e incluso hacer posibles extraños inventos [...].

En 1667, el obispo Thomas Sprat, uno de los primeros socios y el primer historiador de la Royal Society, escribía respecto a los fundadores y los miembros de esta academia: “En primer lugar quiero resumir en pocas palabras todo el conjunto de sus decisiones, a las que frecuentemente tendré el honor de referirme en particular. Su intención a corto plazo es recoger documentos dignos de confianza en cada obra de la naturaleza o del arte que pueda llegar a sus manos; de manera que la época presente y la posteridad puedan observar los errores que han arraigado debido a viejas costumbres; restablecer la verdad que ha quedado olvidada; encaminar lo ya observado a los más diversos usos y hacer más fácil el camino hacia lo que queda por conocer. Esta es la extensión del programa. Y para hacerlo realidad, se han esforzado por separar el conocimiento de la naturaleza de la retórica decorada, de las invenciones de la fantasía o del placentero engaño de la fábula. Se han afanado por extenderlo, de manera que no quedará a la custodia de unos pocos o al servicio de intereses privados. Se han esmerado por preservarlo de ser ahogado bajo una masa confusa de vanos e inútiles

particulares y de estar excesivamente ligado y coartado por doctrinas generales. Han buscado realizarlo de tal forma que pudiera ampararse continuamente, estableciendo una relación inviolable entre la mano y el cerebro. Se han dedicado a hacer no solamente la labor de una temporada o una ocasión afortunada sino la tarea misma del siglo; un trabajo sólido, duradero, unánime, ininterrumpido. Han intentado liberarlo del artificio, del capricho, de las pasiones particulares, convertirlo en un instrumento con el que el género humano pudiera obtener un dominio sobre las cosas y no solamente sobre las opiniones de otros, y finalmente han empezado a trasladar estas reformas a la filosofía, no tanto con solemnidad de leyes u ostentaciones de ceremonia como con sólidos experimentos y ejemplos; no con palabras pomposas sino con los argumentos silenciosos, efectivos e irrefutables de la actuación material de los hechos”.

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y DESARROLLO: ALGUNOS MODELOS DE RELACIÓN

Luis A. Camacho N.

1

Una aclaración de la noción de tecnología tiene importancia más allá del mero interés académico. Se concibe la tecnología como la condición necesaria para el paso del subdesarrollo al desarrollo (Leontieff, 1963), como el indicador de la situación general de un país, o como la condición necesaria para la vida humana en cuanto tal. Según Solow (1956), la tasa de progreso tecnológico determina el crecimiento de un país industrializado. Así pues, dada la importancia que ha adquirido el estudio de la tecnología, no es de extrañar que a partir de 1976, la tecnología haya entrado como un tema de discusión de los congresos dedicados a filosofía de la ciencia y que en general la tendencia actual sea hacia el establecimiento de modelos de relación entre la ciencia, la tecnología y el desarrollo. A esto ha contribuido, por un lado, la tendencia a considerar la ciencia como un insumo de la producción —por lo menos desde la década de los sesenta y a consecuencia, entre otras, de las políticas de las Naciones Unidas— y, por otro, el movimiento hacia la historia social en los estudios de historia de la ciencia así como el cambio progresivo en filosofía de la ciencia hacia una consideración cada vez más amplia de los factores que influyen en el desarrollo (Kuhn, 1962; Hanson, 1965; Feyerabend, 1970).

Está de por medio, obviamente, un problema práctico de gran importancia en los países subdesarrollados, el de la financiación de la

investigación. Si queremos promover el tipo de actividad científico-tecnológica que va asociada al tipo de país que consideramos desarrollado, y para ello se crean instituciones públicas como los consejos nacionales de investigación que empiezan a fundarse en América Latina a principios de la década de los setenta, la pregunta básica resulta ser: ¿Hacia dónde se debe dirigir la financiación de la investigación? ¿Hacia la ciencia básica, hacia la ciencia aplicada, hacia la tecnología, o —una alternativa casi nunca tenida en cuenta— hacia las técnicas tradicionales nativas?

2

En un primer momento se pensó que el desarrollo socio-económico es consecuencia lineal de la aplicación de la tecnología y que ésta no es más que ciencia aplicada. Se creyó entonces que dedicando cierta parte del producto nacional bruto a la investigación científica, automáticamente se garantizaba el progreso tecnológico y con ello el desarrollo socio-económico. Aún hoy es fácil encontrar esta manera de ver las cosas, y los documentos oficiales de países como Costa Rica a menudo justifican la inversión pública en investigación científica con la afirmación de que así se obtendrá la tecnología necesaria. George Wise (1985) ha llamado esta manera de ver las cosas “el modelo de línea de ensamblaje”, y cita al historiador John Beer como el primero que en 1945 sistematizó este enfoque para luego criticarlo. El enfoque involucra las siguientes creencias: que la tecnología es únicamente ciencia aplicada, que la tasa de conversión de la ciencia y la tecnología se encuentra en proporción directa el dinero gastado, y que —puesto que conocemos cómo instalar las fábricas de invención científico-tecnológica— el lapso entre el descubrimiento y la invención está disminuyendo rápidamente. Podríamos añadir un elemento más que complete esta visión y que no mencionan ni Beer ni Wise: la idea de que por fin hemos descubierto en qué consiste el método científico, de manera que todo el problema de la producción de conocimiento se reduce al dominio y aplicación del método de la ciencia. Este esquema es muy atractivo por su simplicidad y porque todos los elementos se pueden fácilmente identificar y quizá conseguir: dinero para la investigación científica, aplicación de la ciencia

a la solución de problemas prácticos, paso de la invención a la innovación mediante la aplicación de productos y procesos al aparato productivo, incremento del producto interno bruto, mejoramiento del ingreso per capita de los individuos. El problema es que el modelo no sólo es simple, sino además simplista.

Si el modelo de “línea de ensamblaje” fuera correcto, la consecución del desarrollo sería muy sencilla. Consistiría, ante todo, en aumentar el porcentaje del producto nacional bruto dedicado a investigación científica y a crear, luego, mecanismos de aplicación de los productos de la ciencia aplicada al aparato productivo del país. En la práctica las cosas no funcionan así: el dinero invertido en investigación puede perderse, por ejemplo, porque los resultados de la investigación resultan luego inaplicables, o porque el investigador decide emigrar a un país donde le pagan mejor y dejar abandonado el proyecto, o porque aunque la ciencia produce objetos y procesos aplicables al sistema productivo no hay mecanismos que consigan trasladar los resultados de la investigación a los lugares donde se produce.

Pero hay elementos que faltan en este modelo. Son, sobre todo, de carácter histórico. El primero de ellos tiene que ver con la relación diádica ciencia-tecnología. No hay base histórica para pensar que la tecnología es simplemente ciencia aplicada, ni siquiera para creer que la tecnología tiene una entrada normal mediante la ciencia aplicada (Hugo Padilla, 1976) —esa entrada parecería más bien normal— ni tampoco se puede establecer una correlación biunívoca entre cada invento tecnológico un aspecto de la ciencia, previo, simultáneo o posterior.

Que la tecnología no es simplemente ciencia aplicada es fácil de ver en la historia. No hay ninguna ciencia previa de la cual se pueda decir que la máquina de vapor es aplicación. Otros ejemplos se pueden encontrar, y apuntan al hecho de que muchos inventos tecnológicos, tan importantes que llegan a marcar una época, no fueron precedidos por la ciencia correspondiente. Podría entonces decirse que, aunque no haya ciencia correspondiente previa, si la hay después de cada invento tecnológico, de modo que todos modos se salva la relación entre ciencia y tecnología. Esto es verdad en muchos casos, y en el de la máquina de vapor se puede defender la relación. Pero no se trata

siempre de ir hacia la ciencia establecida tal como ésta es hecha por sus practicantes, con el método, finalidad y costumbres habituales. Más bien parece existir una doble institucionalidad: la de la ciencia con sus instituciones y la de la tecnología con sus instituciones. Cuando los practicantes de la tecnología acuden en busca de una fundamentación teórica, más bien se acercan a la ingeniería, y las relaciones entre las dos líneas paralelas es mucho más compleja de lo que a simple vista parece, hasta el extremo de que a veces se tiene la impresión de una duplicación de actividades e instituciones.

Pero no se podría dejar de lado el problema diciendo que no hay ninguna relación entre ciencia y tecnología. La complejidad que muestra la historia quizá se deba a que por un lado ciencia y tecnología coexisten en tensión y, por otro, ambas se relacionan con aspectos comunes de carácter económico, político e ideológico.

En el caso de los países subdesarrollados, la inexistencia de una relación biunívoca entre ciencia y tecnología puede aprovecharse en el sentido de que se puede llegar a la tecnología necesaria desde distintos puntos de partida. Uno muy importante, poco considerado en los planes de desarrollo científico tecnológico, es el de técnicas nativas. Un conocimiento de dichas técnicas puede ser muy útil en la solución de problemas complejos de la producción; a veces estas técnicas pueden ser bastante sofisticadas. En todo caso una vez adquirida una forma eficaz de resolver un problema práctico, este conocimiento debería encontrarse disponible; como dice Papa Blanco, la obsolescencia no es un fenómeno tecnológico, sino económico.

3

Si la relación diádica ciencia-tecnología es difícil de analizar, el asunto se complica aún más cuando pasamos a la tríada ciencia-tecnología-desarrollo. La idea de que hay una relación lineal entre los tres factores quizá se deba a que históricamente la ciencia moderna, la tecnología tal como la conocemos hoy y el fenómeno socio-económico de la industrialización, se han dado en forma casi simultánea en las mismas localidades geográficas. Sin duda los tres aspectos tienen alguna relación entre sí, y con otros factores económicos, políticos e ideológicos. Es fácil entonces proceder a una simplificación según la cual los países industrializados en nuestros días son los países desarro-

llados, y ese desarrollo es el tercer estadio en una sucesión que empieza con la ciencia y continúa con al tecnología.

La reducción de la ciencia a un insumo de la producción hace más fácil la identificación entre ciencia aplicada y tecnología, toda vez que podemos entender por tecnología el conocimiento que permite la fabricación, utilización y mantenimiento de objetos y aparatos. Pero entonces dejamos de un lado un aspecto muy importante de la ciencia, a saber, el del conocimiento de la naturaleza y de la sociedad independiente de toda aplicación posible. Es este conocimiento teórico el que posibilita una visión de conjunto que la utilización de aparatos no consigue trascender. Este conocimiento teórico, especialmente en ciencias sociales, es particularmente importante en los países subdesarrollados y es en ellos donde más fácilmente se deja de lado en aras de una rentabilidad inmediata de los proyectos de investigación. A veces incluso se degenera aún más el papel de la ciencia: de insumo de la producción se convierte en control de calidad para productos de exportación, y se concibe entonces la investigación científico-tecnológica como el instrumento para mejorar la exportación y así superar el problema de la deuda externa.

De todos modos, parece más prometedor empezar cualquier análisis de la relación mencionada con una reflexión sobre la noción de desarrollo. Para simplificar, empecemos viendo las cosas a nivel de países individuales. En primer lugar, es obvio que la ciencia e incluso la tecnología no son condiciones suficientes para el desarrollo. Se puede tener ciencia y tecnología avanzadas y no tener desarrollo. Supongamos que las políticas científicas de un país buscan un incremento en la enseñanza y la investigación en astronomía, y que el país se orienta hacia la producción de los telescopios y otros aparatos necesarios para ese fin. Supongamos que la mayoría de la población se aficiona a la astronomía y que en ese país se consiguen enormes progresos en la teoría y observación astronómicas. Podemos suponer incluso que allí se producen los mejores y más grandes instrumentos. Diríamos que ese país tiene mucha ciencia y tecnología, pero no diríamos por eso que es desarrollado. Podría ser que en ese país hubiera desnutrición, carencia de agua potable, etc.

Por otra parte, si concebimos el desarrollo como sinónimo de un producto nacional bruto elevado, entonces está claro que la ciencia en un país particular no es condición suficiente ni necesaria alcanzarlo.

Puede ser simplemente que el país encuentre grandes cantidades de algún recurso bien pagado en ese momento, nacionalice su explotación y se apropie de los ingresos. Luego puede comprar ciencia y tecnología, e incluso puede empezar a planear un futuro de economía diversificada mediante la aplicación de la ciencia y de la tecnología. Pero el hecho es que dentro de ese país no ha sido necesario crear instituciones científico-tecnológicas previas al desarrollo. Se puede argüir, por supuesto, que a nivel global e histórico la ciencia sí ha sido de hecho condición necesaria para el desarrollo concebido como determinado nivel de producto nacional bruto. Pero la planificación de la ciencia y de la tecnología se hace individualmente país por país, y por lo menos en los países subdesarrollados cabe la situación descrita.

4

Esto nos remite al problema de encontrar una concepción más adecuada del desarrollo. En diversos artículos Jerome Segal, [...] ha planteado con gran claridad la paradoja de que se hable tanto del desarrollo y se piense tan poco en cuanto a lo que entendemos por tal. Una identificación entre desarrollo y producto nacional bruto elevado llevaría a la idea poco agradable de que un país puede ser desarrollado aunque no estén satisfechas las necesidades básicas de una parte importante de su población, aunque la mayoría de su población viva sumergida en la ignorancia, o aunque el incremento en el producto nacional bruto se deba al consumo de drogas. Pero si nuestra insistencia es en la satisfacción de las necesidades básicas, entonces debemos de incluir en ellas la necesidad de conocer, que engendra y motiva la ciencia teórica, y la participación popular en la toma de decisiones, sin la cual se daría fácilmente la paradoja del esclavo satisfecho. Es obvio que la satisfacción de necesidades básicas, incluidas entre éstas el deseo de conocer y la participación, se pueden lograr sin necesidad de tecnología muy sofisticada. Es obvio también que la mayoría de los países subdesarrollados, con la tasa de crecimiento actual, nunca alcanzarán el nivel de producto nacional bruto que caracteriza a los países más ricos en nuestros días. Si tenemos en cuenta que los medios de comunicación han dado a conocer por todo el mundo el estilo de vida de las clases media y alta en los países industrializados, y que ésta

se ha convertido en la aspiración de las multitudes en todas partes, nos será fácil llegar a la conclusión de que para la inmensa mayoría de los seres humanos vivientes en este momento el tipo de existencia material que asociamos con el término “desarrollo” representa simplemente una aspiración no lograda, un deseo frustrado. De ahí que debamos replantear la relación entre ciencia, tecnología y desarrollo en función del tipo de desarrollo que nos propongamos conseguir. Si de lo que se trata es de incrementar el producto nacional bruto a como haya lugar, cualesquiera que sean las consecuencias de las medidas que se tomen, entonces el papel de la ciencia se reducirá simplemente al del elemento subordinado de la producción. Esto nos privará de la posibilidad de entender la realidad natural y social, que ha sido la función más típica de la ciencia desde su aparición. Es posible incluso que esto nos prive de la posibilidad de entender el fenómeno conocido como subdesarrollo y que afecte nuestra capacidad de resolver los graves problemas asociados con ese fenómeno.

Una concepción más madura del desarrollo, en cambio, nos orientará hacia los aspectos cualitativos de la existencia individual y social. En vez de un crecimiento ilimitado, el énfasis debería ser la obtención de metas que consistan en la actualización de potencialidades en los individuos —potencialidades variadas según las personas— pero que contribuyen todas ellas a dar mayor riqueza a la sociedad dentro de la armonía con la naturaleza. En este sentido, un incremento del producto nacional bruto que se logre a base de la destrucción irreversible de la naturaleza, o en la destrucción de los individuos como personas, no debe catalogarse como desarrollo.

Parafraseando el título de un trabajo del filósofo costarricense Roberto Murillo podemos resumir lo dicho diciendo que lo que necesitamos es una noción desarrollada de desarrollo.

EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA *

Gomory E. Ralph

La investigación científica básica, con su tradición de comunicación libre en un ambiente académico, ha sido descrita y analizada ampliamente por la prensa. Muchos graduados universitarios tienen cierta noción de cómo se realiza la investigación científica, observando la actividad científica de sus profesores quienes son el soporte de las profesiones científicas. La historia de la ciencia y, más recientemente, la sociología de la ciencia son campos académicos ya establecidos.

El desarrollo tecnológico, por su parte ocurre principalmente en el ambiente industrial, y muy poca gente llega a observarlo. Generalmente no es descrito en la prensa o en la historia que la gente debe aprender; por eso no es ninguna sorpresa que el desarrollo tecnológico sea confundido por parte del público con el de la ciencia.

Sin embargo, de este invisible proceso del desarrollo tecnológico, pobremente comprendido, es de lo que dependemos todos para el avance de nuestra vida material, para la transmisión a otros países del conocimiento que esperamos elevará su nivel de vida y en un grado considerable para la seguridad y progreso [...].

Evolución tecnológica y descubrimientos

El desarrollo de la tecnología es mucho más evolutivo y mucho menos revolucionario o dado a descubrimientos que lo que la mayoría de nosotros supone. Es importante comprender que una serie de pasos

(*) Fuente: Revista *Science*, 1984. Traducción de J. Albaine y C. Franco

evolutivos en tecnología, pueden, todos juntos considerarse un gran avance, y son tan revolucionarios en su unificación como un descubrimiento súbito. El curso normal del desarrollo tecnológico puede ser ilustrado con dos ejemplos históricos.

La Máquina de Vapor

El primero de nuestros ejemplos es la máquina de vapor. La versión popular del desarrollo de la máquina de vapor incluye el relato de cómo James Watt estando en la cocina de su casa, hirvió la cafetera, salió el vapor y Watt comprendió el extraordinario poder de éste, inventando más tarde la máquina de vapor. Esta historia no tiene nada que ver con la realidad, y Watt no tuvo nada que ver con cafeteras. El verdadero origen de la máquina de vapor es muy diferente y mucho más interesante.

La historia de la máquina de vapor puede afirmarse que empieza en 1690 con el famoso físico danés Cristian Huygens, quien trataba de desarrollar un motor basado en el poder de la pólvora. En esa época se reconocía que en la pólvora y en el fuego había poder y que si podía ser dominado, proveería otra fuente de energía. Esta vendría como suplemento de las fuentes energéticas ya conocidas en la época, como la energía animal (caballos moviendo un molino), energía del viento (molino de viento) y la fuerza del agua.

Huygens no intentó controlar la explosión de la pólvora directamente, su método, algo más sofisticado, era explotar un poco de pólvora en un cilindro, bajo un pistón. El pistón estaba ya elevado y la idea era que la explosión crearía un vacío y el peso de la atmósfera bajaría entonces el pistón. Aunque el enfoque era sofisticado no funcionó, ya que la explosión dejaba residuos y no creaba el vacío suficiente.

Sin embargo, Denis Papin, un asistente de Huygens, concibió una forma de usar el vapor para crear un vacío. Su idea era hervir el agua con fuego (y así captar parte del fuego), colocar el vapor debajo del pistón, cerrar el fondo del recipiente y dejar enfriar el vapor de modo que se condensara. Esto crearía el vacío y así caería el pistón. Alrededor de 1690, Papin construyó un modelo, un pequeño motor a escala de este tipo y funcionó.

En Inglaterra, cerca de ocho años después, Thomas Savery construyó la primera máquina de vapor que trabajaba. Tuvo muchos problemas con ella. Savery no empleó la presión atmosférica. Utilizó vapor para dirigir el pistón y lo usó a altas presiones. Desafortunadamente la tecnología mecánica de la época no estaba a la altura de las circunstancias y necesidades del diseño. La máquina funcionaba pero tenía problemas con el vapor a alta presión y su empleo estaba restringido a las presiones que las calderas y las tuberías resistían. Se empleaba principalmente para elevar agua a las ruedas de agua y así conducirla a los edificios. Pero este diseño cayó en desuso.

El paso siguiente se debe a Thomas Newcomen, un plomero. Una de las moralejas de esta historia es que las personas que realizaron el trabajo fueron plomeros, torneros y artesanos. Newcomen realizó la primera máquina de vapor segura y de amplio uso. Básicamente consistía en una versión aumentada de la máquina de Papin. El agua hervía en una caldera y el vapor se dirigía a un cilindro. Una ducha de agua fría se aplicaba al cilindro para enfriar el vapor y crear el vacío, el cual a su vez, forzaba el descenso del cilindro, entonces el pistón se elevaba nuevamente y comenzaba un nuevo ciclo. La máquina de Newcomen adquirió importancia en la Inglaterra de inicios del siglo XVIII, donde se usaba para bombear el agua fuera de las minas de carbón. Esta aplicación era importante: muchas minas de carbón no podían trabajarse a menos que se sacara el agua. De hecho, muchas minas eran abandonadas porque no podía sacarse el agua de ellas. Para los mineros era un problema de vida o muerte. Así, la máquina de Newcomen encontró un nicho donde podía sobrevivir, y por unos treinta años la tecnología consistía simplemente en motores de Newcomen bombeando agua de las minas de carbón, hasta que se dio el siguiente paso adelante. Antes de describir el siguiente paso y su efecto tenemos que introducir el concepto de “trabajo”, una medida de lo bueno y eficiente de una máquina. Esto era, el número de millones de libras-pies de trabajo que un motor puede realizar quemando una fanega de carbón. El “trabajo” de la máquina de Newcomen era alrededor de 4. Un estimado del trabajo de un caballo por los mismos costos está entre 14 y 24.

El paso siguiente lo realizó John Smeaton, quien alrededor de 1767 construyó un mejor motor que elevó el “trabajo” de 7 a 12. Debe

recalcarse que la invención no jugó un gran papel en este avance: Smeaton sabía como hacer un mejor cilindro. Los mejores mecánicos de la época podían horadar un cilindro para una máquina de vapor con una precisión tal, que podía insertarse una moneda gastada entre el pistón y el cilindro. Por este motivo se usaba la máquina atmosférica en lugar del motor con vapor a altas presiones, ya que se escapaba menos vapor.

Finalmente, alrededor de 1775 aparece James Watt. El verdadero Watt era un fabricante de instrumentos, y entró en el problema de la máquina de vapor porque se le dio un pequeño modelo de una máquina de Newcomen que no funcionaba bien y se le pidió que la arreglase. Mientras trabajaba en esta tarea comprendió que se perdía energía calentando el cilindro con vapor y enfriándolo para condensarlo. Watt resolvió el problema agregándole a la máquina un condensador independiente. El cilindro permanecía caliente, el condensador se mantenía frío. Esto elevó la eficiencia de la máquina en un factor de 2.

Mas tarde Watt introdujo la máquina de dos golpes, con la atmósfera dirigiendo el pistón en una vía y el vapor en otra. Con esto se consiguió otro aumento por un factor de 1.5; con estas innovaciones la eficiencia de la máquina se elevó entre 24 y 35.

En el período entre 1800 y 1830 las máquinas con más de un cilindro aparecieron y, ya en esa época, la tecnología mecánica permitía el uso del vapor a altas presiones. Estas innovaciones elevaron la eficiencia por otro factor de 2 ó 3, de alrededor de 37 hasta casi 100.

La pequeña tecnología que por 20 ó 30 años existió principalmente en el negocio del bombeo de agua de las minas había sido transformada, a través de una serie de pasos evolutivos, en la fuente energética que cambió el mundo. Dos puntos de esta historia son característicos del desarrollo de las nuevas tecnologías. Uno, es el efecto acumulativo de pequeños pasos de avance (nótese que la historia mitológica ha borrado este proceso y lo ha reemplazado por un invento único de parte de James Watt), y el segundo es, el lugar especial (en este caso, las minas de carbón) en el cual una tecnología sobrevive, aunque todavía no sea un adelanto sobre otras tecnologías contemporáneas de aplicaciones más generales.

La computadora

El segundo ejemplo que quisiera discutir es la computadora. Como concepto, la computadora existía ya en una forma razonablemente bien desarrollada en la primera mitad del siglo XIX. Hace más de 100 años, Charles Babbage un conocido inventor inglés, concibió la idea de un computador programable. Sin embargo, la tecnología de su época: engranajes, ruedas y ejes, no permitieron la realización de tal instrumento y había poca demanda para la computación con la excepción de las tablas astronómicas. La hermosa idea de Babbage no fue realizable en las circunstancias de hace 100 años. Fue mucho más tarde, cuando la tecnología del tubo al vacío hizo posible la computadora, mientras que la necesidad del cómputo a gran escala fue planteada por la Segunda Guerra Mundial. La combinación de tecnología y motivación dio origen a la primera generación de computadoras de tubos vacíos: ENIAC, EDSAC y EDVAC, el Whirlwind, la máquina del "Institute for Advanced Study" y muchas otras. Hubo un corto período en el cual muchas tecnologías compitieron por el rol de memoria, por ejemplo, tubos almacenadores, memorias de films, etc. Finalmente el transistor inventado en "Bell Laboratories" le dio un giro a todo el desarrollo entrando en una fase totalmente nueva.

El transistor fue en realidad un descubrimiento. Fue el resultado de un largo proceso de acumulación de conocimientos en la física del estado sólido y una transferencia súbita de ese conocimiento a una nueva área: la que previamente estaba ocupada por los tubos al vacío. Una vez que se puso en movimiento, al igual que la máquina de vapor, cayó en las manos de usuarios y practicantes. Más arriba se mencionó que la evolución de la máquina de vapor fue realizada por mecánicos y plomeros. De forma similar, el transistor salió del conocimiento científico básico, pero continuó su desarrollo en las manos de ingenieros de semiconductores, donde hoy evolucionan rápidamente. En 1968 los "chips" de memoria contenían 16 "bits" de información, 4 años más tarde 1,000, y hoy día de 64,000 a 128,000 y hoy existen importantes razones para esperar 256,000 bits por chip en los próximos años y así seguirá aumentando en el futuro.

La evolución del transistor ha dado origen al microprocesador, el cual es generalmente descrito como un descubrimiento, pero que debe

considerarse así solamente en el sentido de su aplicación. El desarrollo del microprocesador era predecible. Cada año, más y más circuitos podían ser colocados en los chips. Mirando un poco hacia el futuro, se puede notar que un procesador completo, que es la parte central de una computadora, puede colocarse en un solo chip. Finalmente esto sucedió y cuando ocurrió, hubo un enorme número de aplicaciones para ello. Fue ése el principal elemento de sorpresa.

La llegada del microprocesador era inevitable, dada la rápida evolución del progreso de la tecnología del transistor. Hago énfasis en la parte evolutiva y es en ese estado donde encontramos hoy la tecnología de las computadoras. Creo que la computadora es el análogo de nuestro tiempo de la máquina de vapor, en su evolución técnica y en su impacto revolucionario. Si aparento estar subestimando los descubrimientos súbitos es porque creo que son a la vez raros y extremadamente importantes. Creo que los tenemos. No me gusta ver la confusión que ocurre cuando el nombre es usado simplemente para el siguiente paso tecnológico, porque oscurece la verdadera naturaleza del muy importante progreso técnico que es evolutivo. El transistor en sí mismo fue un genuino descubrimiento súbito. Las recombinaciones del ADN y sus aplicaciones a los procesos químicos son descubrimientos súbitos. Estos no son los pasos futuros en tecnología sino que son la introducción de algo totalmente nuevo.

El transistor fue el resultado de largas, pacientes y principalmente no dirigidas, investigaciones básicas que produjeron un conocimiento suficiente de la Física del estado sólido para hacerlo posible. El conocimiento que condujo al transistor hacia un campo donde sólo existían los tubos al vacío vino de otra área. En forma similar, la bomba atómica no fue un descubrimiento evolutivo de los explosivos, sino que representó la introducción del conocimiento acerca de la estructura del átomo en el área de las armas.

De manera parecida, si el ADN recombinante se prueba que es exitoso en los procesos químicos, será una introducción en una nueva área del conocimiento acumulado acerca de los fundamentos de la biología molecular.

Los descubrimientos verdaderos si ocurren, son inventos raros y sorprendentes. El curso más común de la evolución tecnológica es el mejoramiento gradual y constante, año por año, y cuando es rápido y persistente, los resultados son más bien revolucionarios.

Características de la ciencia y la tecnología.

Armado con estas historias de la máquina de vapor y de los elementos de la tecnología de computación, podemos presentar algunas preguntas acerca de la ciencia y la tecnología. ¿Cómo interactúan? Los dos ejemplos citados indican, como se habrá podido observar, que es una ruta de dos vías y que la ciencia y la tecnología se afectan mutuamente en más de una forma. Claro, estamos acostumbrados a la idea de que la ciencia contribuye a la tecnología. La historia del transistor es un ejemplo de la introducción del conocimiento científico en la tecnología con resultados asombrosos. Por otro lado, el desarrollo de la máquina de vapor fue el trabajo de personas prácticas, agregando gradualmente mejoras impulsadas por las necesidades de aplicación. Este proceso duró hasta los años 1830, cuando la necesidad de construir mejores motores y de comprenderlos estimuló el desarrollo de la ciencia de la termodinámica. En ese caso la tecnología dirigió la ciencia básica. Esto ocurre hoy: la computadora está dirigiendo la ciencia de la computación. Más aún, la evolución de la tecnología hace posible una mejor instrumentación científica y esto puede ser un factor importantísimo en el avance de la ciencia.

¿Cuáles son algunas de las características de la ciencia y de la tecnología? La ciencia puede pensarse como un gran cúmulo de conocimientos, alimentado por un flujo estable de la pluma de la investigación básica. De vez en cuando el agua que sale de esta fuente es puesta en uso, pero uno nunca sabe qué parte de esta agua es la que se va a necesitar. Esto confunde la situación de financiamiento para las ciencias básicas, porque generalmente ninguna parte del trabajo científico puede ser justificado de antemano, uno no puede saber qué es lo que va a ser decisivo. Sin embargo, la historia muestra que el mantener el agua fluyendo la fuente es una actividad muy rentable.

La investigación científica, que alimenta nuestro cúmulo de conocimientos, tiene su propia cultura y sus propios imperativos los cuales son muy diferentes de los de la tecnología. Es motivada por el deseo de satisfacer la curiosidad como lo opuesto al imperativo de la tecnología de conseguir que un producto funcione.

En los EE.UU., la ciencia en contraste con la tecnología es altamente valorada. Los científicos son mucho más estimados que los practicantes de la tecnología. La ciencia es primariamente orientada

por las universidades y en un grado considerable financiada por el gobierno. Los principales ciudadanos de las ciencias son los Ph. D, y la ciencia está bien representada en la escena nacional. El prestigio relativo de que hoy gozan la ciencia y la tecnología es peculiarmente norteamericano. La situación varía ampliamente de país en país y en algunas naciones es considerablemente diferente de lo que es en los EE. UU.

La tecnología es diferente. Está dirigida principalmente por los ingenieros y no por los Ph. D. Generalmente está orientada por la industria más que por las universidades. Está dirigida por productos y sus aplicaciones y no por imperativos científicos. Sin embargo, quizás el punto más importante de la tecnología es que tiende a ser muy compleja.

Dada su complejidad, los desarrollos en las tecnologías son algunas veces difíciles de predecir. Los problemas y las ventajas de desarrollar nuevas tecnologías frecuentemente no son obvios. En los días iniciales del transistor, el germanio fue seleccionado como un material para el mismo, porque permite que los electrones se muevan en él mucho más rápido que en el silicón. Esto pareció prometer mucha más velocidad. Pero de hecho resultó, que el silicón suplantó casi por completo el germanio porque crecía naturalmente sobre la superficie de una capa de óxido que protegía al "chip" ya terminado. Esta consideración práctica tuvo mucho más peso que la aparente ventaja del germanio. Hoy día tenemos una tecnología que descansa casi por completo en el silicón.

Otro ejemplo es la tecnología de Josephson, una propuesta de una nueva tecnología de computadoras, que descansa en la superconductividad y en algunas variaciones de ésta que tienen lugar no sólo en ciertos metales y en temperaturas próximas a cero absoluto. Nosotros entendemos todos estos fenómenos complejos, pero ellos no son los problemas de esta nueva tecnología. Los problemas actuales son más mundanos pero mucho más difíciles y del tipo siguiente.

La propia computadora es muy complicada. Las grandes computadoras tienen que ser reparadas durante su vida útil, en parte porque las cosas se rompen y en parte por estar mal diseñadas desde el principio (nadie ha podido diseñar una computadora grande completamente correcta). En el transcurso de su vida útil, una gran computa-

dora ha de tener la capacidad de ser reparada, digamos unas 300 veces. Si usted estuviese reparando una de estas máquinas que dependen de la superconductividad tendría que tomar elementos enfriados en un baño frío, repararlos unas 300 veces y eso significa que todos esos elementos tendrían que soportar la expansión de llegar a la temperatura ambiente y ser enfriados de nuevo 300 veces sin que nada salga mal.

La frase “sin que nada salga mal” oculta otro nivel de complejidad. La computadora puede tener 7 millones de elementos básicos. Esos 7 millones de elementos tendrían que ser calentados a temperatura ambiente y enfriados de nuevo 300 veces con un mínimo de fallas. Si un falla ocurriera cada vez que la computadora se calentara, entonces luego de enfriada la computadora debería calentarse de nuevo para reparar la falla que aparece, lo que probablemente causaría otra falla, y el resultado sería una máquina inútil totalmente.

Las dificultades en esta tecnología, entonces, no están realmente en la comprensión del difícil fenómeno, están en la fabricación de elementos sumamente pequeños que puedan expandirse y contraerse 300 veces y en la creación de un total de 7 millones de esos elementos que casi nunca tengan ni siquiera una pequeña falla.

Además, una máquina como una computadora tiene que ser manufacturable y esto introduce un nuevo conjunto de requerimientos sumamente difíciles, antes de que todos los pequeños componentes puedan funcionar.

En el desarrollo de una nueva tecnología, aunque sólo se contemple una pieza de trabajo, usted puede estar pensando en algo que necesite de un par de años para rediseñarse antes de que se realice su manufactura, porque tiene que ser diseñado de forma tal, que resista todos esos cambios y siga funcionando.

Factores culturales

La tecnología depende de la cultura de diversas maneras. Factores culturales como las actitudes hacia el funcionamiento (metas a largo plazo vs. metas a corto plazo), actitudes referentes a cuidados y pequeños errores (calidad) y la presencia o ausencia del famoso síndrome de lo “no inventado aquí”, tienen una gran influencia en el proceso tecnológico.

La mejor muestra de la interacción de cultura y tecnología es el caso del Japón. Pero no me refiero al Japón de nuestros días, sino al que se abrió al mundo gracias al Comodoro Perry en 1854. Ese mismo país en 1905, usando barcos de guerra y armamentos construidos por japoneses y una combinación de los más complejos instrumentos tecnológicos de esa época, destruyó la flota rusa en la Batalla de Tsushima. Esta grandiosa transformación de un estado feudal en uno que pudiese crear las máquinas de tecnología más avanzada en un lapso de 50 años es, hasta donde llegan mis conocimientos, sin paralelo en la historia de la tecnología. Esa cultura ha continuado, y el Japón está realizando nuevamente avances formidables. Otros países, por razones que no comprendemos, han tenido mayores problemas para asimilar la tecnología. China, por ejemplo, considerada por muchas personas culturalmente superior al Japón por miles de años, no ha podido nunca, bajo ningún tipo de régimen, realizar este tipo de progreso tecnológico. La Gran Bretaña, que comenzó y dirigió la Revolución Industrial, es hoy día muy fuerte en ciencias, pero débil en tecnología. No hay conexión simple entre el dominio científico y el liderazgo tecnológico. Cuando EE. UU. y el Japón son comparados a un nivel científico, los Estados Unidos están muy por encima. Pero en un nivel tecnológico la historia es muy diferente.

Transferencia de tecnología.

Esta presentación de la tecnología como un proceso complejo y más aún dependiente de la cultura, presenta un número de casos, incluyendo seguridad, en el sentido de secretos, y transferencia de tecnología, en el sentido de tratar de conseguir una tecnología para alguien, ya sea en el mismo país o en otros países.

Es muy difícil mantener en secreto una simple idea. La idea, por ejemplo, de tener un condensador separado para una máquina de vapor puede expresarse en un sola oración. Es difícil el mantener esa sola oración en secreto. Por otro lado, es difícil el transferir la complejidad total de una tecnología. Es demasiado. Aquellos que no son tecnólogos en el mismo campo no pueden ni siquiera estar seguros de cuáles detalles son los importantes. De modo que las cosas simples son difíciles de mantener en secreto y las complejas como la tecnología, son difíciles de traspasar.

Parece ser que todo depende del receptor que recibirá el secreto o la tecnología. Si el receptor sabe poco, él no podrá hacer mucho, ni tan siquiera con la simple idea, ya que no puede generar la cantidad masiva de detalles necesarios, que se requieren para ponerla en ejecución. Por otro lado, si sabe mucho del asunto es capaz de generar ciertos detalles necesarios a partir de unas cuantas frases o piezas tecnológicas. Por eso resulta tan difícil transferir tecnología al Tercer Mundo y muy fácil transferirla al Japón.

La tecnología, más aún la ciencia, marcha hacia adelante en un mundo en que el tiempo y los gastos son muy importantes. Un colega mío con mucha experiencia, Robert Henle, me comunicó que hay un dicho en tecnología de que las ideas nunca se acaban sino el tiempo. Pude observar eso hace un tiempo cuando estábamos tratando de preparar una nueva tecnología de impresión. Nos tomó más y más tiempo, ya finalmente, nos detuvimos y sustituimos por una tecnología más convencional para poder obtener nuestro producto. Las personas que trabajaron en la nueva tecnología dijeron que todavía tenían muchas ideas de como arreglarla mejor, y es verdad. No se nos acabaron las ideas, pero sí el tiempo.

Las nuevas tecnologías son generalmente caras, porque no han sido refinadas. Por esto generalmente no pueden competir con la tecnología existente la cual si ha sido ya refinada. Esto es como en el caso de la máquina de vapor, donde entraron en juego las minas de carbón. A menudo, las nuevas tecnologías dependen de encontrar un pequeño lugar y uso que las mantengan en existencia hasta que sean bien laboradas. Si esto no aparece, nunca alcanzarán su potencial completo, porque nadie va a gastar dinero para que ellas sigan funcionando.

Conocimiento científico

Todo tipo de cuestión fundamental aparece en el transcurso del desarrollo tecnológico que requiere el más avanzado conocimiento científico o quizás el más nuevo conocimiento científico para la solución. El efecto de los rayos cósmicos sobre la memoria de una computadora es un ejemplo. Para comprender qué es lo que sucede y prevenir una pérdida de información de la memoria se requiere el conocimiento detallado de la interacción de estas partículas del espacio

con las sustancias cristalinas de los transmisores y la habilidad para seguir el curso de los efectos de esta interacción con la memoria. Así necesitamos investigación básica directa, esto es, trabajos hechos a los niveles más fundamentales, pero con la intención de resolver ciertos problemas. Esto no debería confundirse con la importancia de la investigación básica como proceso continuo de adquisición de conocimientos.

Problemas de organización

Traer de la mano el conocimiento científico y aplicarlo a la tecnología no es fácil. Las invenciones o las soluciones a problemas ocurren, cuando el conocimiento de la necesidad y el saber científico y técnico alcanzan esa necesidad y van juntos en su resolución. Todo lo demás es simplemente, un medio para ese fin. Esos medios son generalmente muy elaborados excepto en organizaciones muy pequeñas.

Las organizaciones pequeñas tienen sus propios problemas. Generalmente no poseen la habilidad técnica para resolver problemas fundamentales a menos que ése sea su propósito específico. En la mayoría de las grandes organizaciones existe un aparato elaborado que intenta, de una u otra manera, tomar conocimiento de una necesidad y traducirlo en un claro problema técnico o científico. La necesidad de una mayor velocidad en las computadoras en el mercado puede ser traducida diciendo a una persona con conocimientos de cerámica: "Necesito una nueva cerámica con una constante dieléctrica menor". Este proceso de traducción generalmente requiere de organización estructural. Sin embargo, las organizaciones tienden a desarrollar vida propia. Los individuos o los pequeños grupos de cuyos conocimientos científicos dependemos y a quienes se trata de traducir las necesidades, podrían estar más interesados en la ciencia de la cerámica que en computadora. El hecho de que los requerimientos estén escritos no los hacen menos difíciles. Los documentos escritos son a menudo peores, porque sin un diálogo entre los individuos es difícil expresar lo que se quiere decir y lo que es realmente importante. Estos problemas no son fáciles de tratar. De hecho, es difícil de sobreestimar los efectos diluyentes y distorsionantes de las largas cadenas en las organizacio-

nes, largas cadenas de mando o largas cadenas de transmisión de información.

Una forma de sobreponerse a estos efectos, es tener las personas en movimiento. Los investigadores deben saber cómo es lo desarrollado y los que desarrollan deben saber para qué se usa su producto. De esta manera, estas dificultades pueden acortarse de alguna forma. Otra estrategia es de vez en cuando conversar con alguien en la base de la organización y conseguir un informe exacto y detallado de lo que él está realizando. Un ejecutivo puede pensar, por ejemplo, que su organización está investigando en navegación, solo para aprender que se están investigando las tortugas y sus desovaciones. Esto puede parecer cómico, pero la conexión es real.

Una forma de estudiar navegación es estudiar los animales que exhiben habilidad para nadar muy desarrollada. Un ejemplo es la tortuga marina. Es difícil estudiar las tortugas marinas en el agua, y así las personas estudian las tortugas en las playas cuando vienen a desovar. Eso puede ser perfectamente lo que se esté haciendo en la organización, y puede hacerse necesario decidir entre la producción de un nuevo elemento para la navegación en unos años o contribuir al caudal de conocimientos científicos, lo cual la experiencia muestra que presenta utilidad a largo plazo.

Los problemas comunes de toda organización se agudizan cuanto ésta está tecnológicamente orientada. En una organización promedio, generalmente jerárquica, existe una creencia implícita de que la gente con el poder de decisión, las personas que ocupan ciertas posiciones jerárquicas, tienen también el conocimiento para decidir. En una organización dedicada a las ventas, por ejemplo, el vendedor experimentado ha sido primero un agente vendedor, él sabe cómo funciona una sucursal, entonces dirige un grupo de sucursales, luego toda una región y así sucesivamente. El comprende, razonablemente bien, de qué se trata toda la operación.

En una organización tecnológica, se da comúnmente el caso de que la persona con el poder para decidir no posee la información tecnológica detallada necesaria para tomar la decisión. Estas complicaciones pueden resolverse. Un departamento especial es generalmente formado a este nivel. Este es un grupo "ad hoc" de personas de confianza, con los conocimientos tecnológicos necesarios para inves-

tigar el problema con el nivel de detalle necesario y reportar sus razonamientos y conclusiones a la persona encargada.

La moral y las actitudes son también importantes cuando se trata con esta dificultad. Las personas claves desde el punto de vista técnico deben sentirse lo suficientemente libres para expresar sus opiniones. La persona encargada debe tener también técnicos claves, generalmente no los que le reportan directamente a él, a quienes pueda consultar libremente. Todo esto es fácil en una organización con entusiasmo y un sentido compartido de propósitos y metas.

Conclusión

En este artículo, he intentado señalar *el carácter evolutivo y la complejidad de gran parte del desarrollo tecnológico*. El desarrollo tecnológico es sensitivo al detalle y a la cultura en la cual está inmerso. Es una actividad todavía no bien comprendida hoy, sin embargo, debemos seguir adelante con ella. Gran parte de nuestro bienestar individual y nacional depende del éxito que tengamos con ella.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA*

J. Ziman

La ciencia como instrumento.

Vamos a estudiar la ciencia desde “afuera”: ¿Cómo percibe la sociedad a la ciencia? **La sociología externa** de la ciencia considera a ésta sencillamente como una institución social que está empotrada en la sociedad y cumple ciertas funciones para el conjunto de la misma, a la par con otras instituciones asociadas con el derecho, la religión, la autoridad política, etc. De momento trataremos la ciencia como una “caja negra” cuyo funcionamiento interno no tiene importancia salvo como garantía de que pueda ejecutar las funciones que le han sido asignadas.

Los ciudadanos corrientes, individuos poderosos tales como los políticos y los consejeros de las compañías, y entidades jurídicas tales como empresas comerciales y organismos del gobierno reconocen el valor de la ciencia, primariamente, por su utilidad. La ciencia se fomenta, sobre todo, como recurso que cabe aplicar a la promoción de actividades individuales o colectivas (o ambas a la vez) cuyas metas **no son específicamente el progreso del conocimiento**. Este concepto de la ciencia esencialmente como instrumento para alcanzar diversas metas fuera de la adquisición de conocimiento está tan extendido y es tan dominante en nuestra sociedad, que eclipsa todos los demás conceptos de su función social. Por consiguiente, no se toman en

(*) Fuente: John Ziman, “Introducción al estudio de las ciencias”.

consideración varios atributos de la ciencia que a menudo motivan personalmente a los científicos, por ejemplo, la satisfacción religiosa de “poner de manifiesto la obra de Dios, tal como se revela en la naturaleza”, o la satisfacción estética de “descubrir y explicar las maravillas y los misterios del mundo que nos rodea”. El concepto instrumental de la ciencia también pasa por alto el carácter reflexivo de la relación entre la sociedad y la ciencia, que no sólo transforma su base material, sino que es también un elemento importante de su superestructura ideológica (para utilizar la terminología marxista). La “visión científica del mundo” está entrelazada de manera tan inextricable en el tejido del moderno pensamiento social, político, religioso y estético, que a la ciencia no se la puede tratar simplemente como el medio de alcanzar determinados fines que se han elegido por razones “no científicas”.

Este concepto de la ciencia, que justifica la investigación primariamente como medio de una actuación social consciente, data como mínimo de Francis Bacon, a principios del siglo XVII. Desde aquella época la ciencia ha sido fomentada, apoyada, financiada y planificada deliberadamente por individuos, por entidades jurídicas, y por el Estado, a escala cada vez mayor. El tema dominante de la historia social y económica de la “civilización occidental” ha sido la creciente influencia de la ciencia, en todos sus múltiples modos. Pero el efecto que en la sociedad han surtido las diversas ramas de la ciencia, y de las tecnologías asociadas con ellas en medicina, ingeniería, agricultura, etc., es un tema demasiado amplio para tratarlo aquí.

Tecnología basada en la ciencia

La influencia más notable que la ciencia ejerce en la sociedad es la generación de una tecnología en esencia nueva a partir de investigaciones básicas, orientadas al descubrimiento. El principal ejemplo es la industria eléctrica, que creció en las postrimerías del siglo XIX como resultado directo de las investigaciones precursoras de Michael Faraday —y muchos otros— a principios del mismo siglo. La expansión de esta industria por parte de inventores y empresarios como Thomas Edison y Werner Siemens no puede imaginarse sin la comprensión teórica y el conocimiento empírico obtenidos anteriormente por científicos “puros” que no tenían el menor motivo utilitario directo.

Un ejemplo del siglo XX es el desarrollo de la ingeniería nuclear, tanto para fines armamentistas como para la generación de fuerza eléctrica. Esta tecnología gigantesca se basa directamente en las investigaciones primarias que científicos académicos, como Ernest Rutherford y Enrico Fermi emprendieron con la firme creencia de que era muy improbable que sus descubrimientos tuvieran alguna aplicación práctica importante. Una expansión que está en marcha hoy día, con consecuencias imprevisibles para el siglo XXI, es la aplicación de la comprensión fundamental de la base molecular de la herencia a fines industriales y médicos, bajo la forma de biotecnología.

A partir de la ciencia básica pueden generarse tecnologías basadas en la ciencia completamente nuevas y a diversas escalas. Así, el radar nació de las investigaciones académicas de la propagación de las ondas radioeléctricas en la atmósfera superior de la Tierra, mientras que el principio del láser se derivó de las teorías fundamentales que hicieron falta para explicar los fenómenos cuantitativos en los átomos. Es bien sabido en la ingeniería, la medicina y la agricultura modernas que cabe concebir y aplicar técnicas y mecanismos completamente nuevos mediante el ejercicio de conocimiento científico que en un principio se adquirió "por el mismo", o en pos de fines totalmente diferentes. Así, el conocimiento que se acumula en los archivos científicos puede considerarse como un recurso inmenso que hay que explotar por sus aplicaciones tecnológicas insospechadas.

Ciencias basadas en la tecnología

Es importante tener en cuenta que no todas las tecnologías avanzadas se derivan de la ciencia básica. Así, por ejemplo, las técnicas de la minería y la metalurgia tienen sus orígenes en las brumas de la antigüedad, y siguen ampliándose y perfeccionándose gracias a la inventiva y la imaginación del hombre. La mayor parte de los inventos patentables que se usan en el diseño y la fabricación de un automóvil moderno se produjeron de esta manera, es decir, fueron obra de mecánicos de taller y no de científicos de laboratorio.

Pero muchas técnicas tradicionales se han prestado al estudio científico y se ha comprobado que debajo de ellas había una lógica científica. Ejemplo muy evidente de ello es la medicina, cuyas artes terapéuticas han sido estudiadas de manera sistemática desde el tiempo

de los antiguos griegos. Así pues, el esfuerzo por comprender y dominar los fenómenos naturales de las enfermedades humanas ha evolucionado hasta transformarse en una ciencia avanzadísima, con un conjunto característico de teoría profunda que explica estos fenómenos y los controla. De manera parecida, durante el siglo XIX diversos oficios antiguos se transformaron en una ciencia basada en la tecnología: la química industrial; mientras que en el siglo XX el conocimiento técnico de índole práctica del metalúrgico se ha incorporado a una ciencia nueva: la de los materiales. El mismo proceso se observa en casi todos los campos de la actividad práctica: “tecnologías” tales como la agricultura, la ingeniería civil, el tratamiento de alimentos, la arquitectura, etc., han creado sus respectivas “ciencias” para que sirvan de guía a los nuevos progresos técnicos.

Técnica científica

Completamente aparte de sus aplicaciones específicas en las tecnologías avanzadas, hay que señalar que las ideas, los conceptos, las teorías, los instrumentos, los datos y las técnicas de la ciencia impregnan la vida práctica. Inventores, agricultores, padres, mecánicos de automóvil, constructores y otras personas que ejercen innumerables profesiones especializadas y semiespecializadas adquieren una idea general y aproximada de los puntos de vista científicos de su tiempo y los aplican sencillamente a la resolución de problemas cotidianos. Así por ejemplo, el concepto de energía, en torno del cual se creó la ciencia de la termodinámica a mediados del siglo XIX, es la variable clave en toda decisión práctica relativa a los recursos de combustible, la generación de fuerza, la calefacción de talleres, la eficiencia propulsiva de los vehículos, etc. Por otro lado, la bioquímica y la fisiología han aportado los hechos y las teorías básicos de la ciencia práctica de la nutrición, de tal manera que hoy día “todo el mundo” sabe de calorías y vitaminas y procura actuar de acuerdo con este conocimiento.

Estas aplicaciones de la ciencia están difundidas y son tan intangibles que con frecuencia se pasan por alto. Sin embargo, la verdad es que las personas no sólo utilizan los productos de tecnologías basadas en la ciencia, tales como calculadoras de bolsillo y anfetaminas, sino que también emplean técnicas elementales basadas en la ciencia para

resolver problemas prácticos y se orientan en el mundo real valiéndose de modos de pensamiento igualmente basados en la ciencia. Allí donde estas técnicas y estos modos de pensamiento no existen, como todavía ocurre entre la población en general de la mayor parte de los países en vías de desarrollo, la función instrumental de la ciencia en la sociedad se ve reducida en gran medida. Así, por ejemplo, la ignorancia total de las causas bacterianas de las enfermedades es uno de los principales obstáculos a la utilización generalizada de métodos científicos de higiene elemental en muchos países. Huelga decir que aquí no pretendemos decir que la influencia de la ciencia y la tecnología modernas en el Tercer Mundo sea buena o mala; lo único que hacemos es señalar que esta influencia no debe medirse exclusivamente en términos de las cosechas de arroz y el desembolso en ametralladoras.

Ciencia o tecnología

Uno de los problemas más enmarañados del estudio de la ciencia y la tecnología es la relación entre estos dos términos. Resulta fácil dar ejemplos bien definidos de cada categoría, tales como la cosmología por un lado y la fabricación de automóviles por el otro, pero, ¿dónde hay que trazar la divisoria entre ellos? Hasta hace poco se acostumbraba distinguir entre la ciencia como generación de conocimiento primariamente por el conocimiento mismo; y la tecnología como conjunto de conocimiento relativo a una técnica práctica. Por desgracia, esta distinción cómoda no se ha mantenido en la usanza común y lo habitual es que la decisión de construir una fábrica de ordenadores se la califique de política científica, a la vez que al ordenador propiamente dicho se le llama ejemplo de la tecnología moderna. Por esta razón, se usa la expresión ciencia académica para indicar que se discute en torno de la ciencia en ese sentido tradicional.

Pero la dificultad no es puramente semántica. En su significado riguroso de conjunto de conocimientos relativos a una técnica, en vez de la práctica rutinaria de la técnica o de sus productos materiales, toda tecnología está comprometida con los principios reguladores de la "ciencia". Que a este conocimiento se le pueda considerar científico depende, pues, de la idea que uno tenga de qué otros criterios deben satisfacer. ¿Tiene que ser teóricamente explicativa y predictiva, por ejemplo, como tal vez insistiría un filósofo, o, como quizás argüiría un

sociólogo, debe estar a nuestra disposición en un archivo público? ¿O debe la distinción basarse todavía en el propósito para el cual se busca el conocimiento?

Históricamente hablando, toda tecnología tiende a quedar más y más sujeta al "método" característico de la ciencia. Un oficio práctico, por ejemplo la alfarería o la labranza, puede haberse transmitido de una generación a otra mediante el aprendizaje imitativo con muy poca instrucción formal. Si bien este proceso puede permitir una evolución sutil y compleja del conocimiento tácito que el oficio engloba, sigue careciendo de la explicitud y la generalidad de una ciencia genuina. Pero cualquier intento de codificar este conocimiento en un curso de instrucción o un manual lo hace explícito y lo introduce forzosamente en un marco de categorías. Se invocan principios generales para justificar un esquema de clasificación en el que son visibles pautas de causa y efecto (pongamos por caso) que requieren explicación. Media sólo un corto paso, pues, hacia la formulación de hipótesis y su comprobación experimental, en la búsqueda de una descripción teórica global de los diversos fenómenos observados. Dicho de otro modo, la información relativa a la técnica se convierte en la esfera de una ciencia con todas las de la ley, en la que se emprenden investigaciones y se valida el conocimiento de acuerdo con los mismos principios epistemológicos de otras disciplinas más académicas.

Una tecnología avanzada, tal como la ingeniería aeronáutica, debe distinguirse de una ciencia asociada a ella como, pongamos por caso, la aerodinámica, por la inclusión de muchos conocimientos empíricos que se alejan tanto de la explicación racional, que casi son imposibles de codificar. Gran parte de este conocimiento es tácito, o se mantiene en secreto por razones comerciales o militares, de tal modo que no está disponible en archivo alguno. A pesar de ello, hay una tendencia histórica a que todos los oficios se codifiquen en forma de tecnologías y a que todas las tecnologías den a luz a ciencias regulares cuya misión es colocar dicho oficio bajo control predictivo. Esta tendencia es claramente una de las características instrumentales más significativas de la ciencia en la sociedad moderna.

¿Ciencia a partir de tecnología?

Una proposición inmediata se sugiere por sí sola: quizá toda la ciencia sea sencillamente una forma intensificada de tecnología, generada por las necesidades materiales de la sociedad. Este ha sido un argumento importante de la teoría marxista, desde que Boris Hessen lo propuso inequívocamente en un famoso encuentro celebrado en Londres en 1931. Esta tesis se halla íntimamente conectada, por supuesto, al conjunto general del pensamiento marxista y no puede discutirse en su totalidad sin hacer referencia a todo el aparato conceptual del materialismo dialéctico y del papel de la ciencia y la tecnología en la lucha de clases. Pero se la puede tratar como hipótesis merecedora de una prueba empírica.

El caso clásico que favorece a la tesis de Hessen es la historia de la máquina de vapor. Esta tecnología inmensamente influyente la crearon desde las postrimerías del siglo XVII hasta mediados del siglo XIX hombres esencialmente prácticos que utilizaron las tradicionales habilidades prácticas del ingeniero mecánico. Aunque la creación de esta máquina debía indudablemente unas cuantas ideas clave a la ciencia académica, ideas tales como “la fuerza del vacío” y el calor latente del vapor, se llevó mayormente a cabo mediante el método de tanteo, a la luz de la experiencia que se adquiría de día en día, sin recurrir al análisis abstracto. Eran hombres muy apegados a la base técnica y material de la sociedad de su tiempo, y lo único que hacían era responder a la necesidad comercial de un medio de achicar el agua de unas minas que eran cada vez más profundas. Los empresarios capitalistas que fomentaron este invento no sentían el menor interés por la ciencia; lo único que pedían era rentabilidad y eficiencia: ¿qué cantidad mínima de carbón era necesario quemar para achicar tal o cual cantidad de agua desde tal o cual profundidad; y cuál sería el coste de dicho carbón comparado con el coste de alimentar a unos caballos que hicieran la misma cantidad de trabajo?

En la primera mitad del siglo XIX la ingeniería del vapor era ya una tecnología madura y bien codificada y, por ende, tema natural para la investigación experimental y el análisis teórico. La labor de Sadi Carnot, James Prescott Joule, William Thompson y muchos otros creó una ciencia nueva, la termodinámica, que no sólo daba una

descripción cuantitativa exacta del comportamiento de todas las máquinas de vapor, sino que incorporaba también muchos de los principios básicos de la física académica, incluidas las famosas leyes del movimiento de Newton. De esta manera se concibió una nueva teoría motivada por la demanda económica, inspirándose temáticamente en analogías cuasieconómicas y validada pragmáticamente por sus logros tecnológicos. A partir de entonces la termodinámica pudo utilizarse como disciplina teórica primaria para el diseño de nuevos productos industriales que satisficieran nuevas necesidades materiales y comerciales: el motor de combustión interna para vehículos de carretera, la turbina de vapor para la generación de fuerza eléctrica y la propulsión de buques, y finalmente, el motor de turborreacción para aviones militares y civiles. Pero era algo más que un recurso para la innovación tecnológica: las leyes de la termodinámica volvieron a formularse de modo abstracto y se convirtieron en la base de nuevas ramas de la ciencia académica tales como la física de las bajas temperaturas, la química física y la meteorología. Podemos decir, pues, que una parte considerable de nuestra comprensión del mundo natural se remonta a la necesidad desesperada de algún medio de achicar el agua de las minas y, de este modo, mantener la rentabilidad de una industria sumamente capitalizada.

Este ejemplo de ciencia basada en la tecnología, que tiene equivalentes en otros campos de la ingeniería, la agricultura y la medicina, es una buena prueba a favor de la tesis de Hessen. Pero esta tesis no explica en absoluto la evolución de tecnologías basadas en la ciencia, tales como las industrias de fuerza eléctrica y nuclear, que no nacieron de técnicas que ya existían y no fueron generados por investigaciones e inventos dirigidos a satisfacer una necesidad percibida. Ni la demanda comercial de un medio de transmitir información y energía instantáneamente a gran distancia, ni la demanda militar de un explosivo capaz de destruir una ciudad entera hubiesen podido producir estas tecnologías antes del descubrimiento de los principios científicos en los que se basaron posteriormente; y resulta muy claro, a juzgar por la historia, que los científicos que efectuaron estos descubrimientos no pensaban en estas aplicaciones.

A decir verdad, las características de la mayor parte de las tecnologías basadas en la ciencia indican un modelo muy diferente para

el papel social de la ciencia. Tales tecnologías suelen ser fundamentalmente innovadoras por cuanto evolucionan hasta convertirse en el medio de alcanzar metas técnicas a las que antes se consideraba totalmente imposible llegar como no fuera mediante la magia. Imaginemos, por ejemplo, lo que la gente pensaría de la idea de transmitir el habla instantáneamente al otro lado del mundo antes de que se inventaran el telégrafo eléctrico y el teléfono. Estos inventos no sólo carecen de precedentes, sino que son también impredecibles en principio, toda vez que no nacen de la extrapolación imaginativa de técnicas existentes, sino de la explotación de descubrimientos que aparentemente no vienen al caso. En numerosas ocasiones, por ejemplo, en el caso de los rayos X, el descubrimiento puede ser un golpe de suerte, incluso dentro de su contexto científico original.

Estas características hacen que semejantes tecnologías sean profundamente revolucionarias y, pese a ello, imposibles de controlar conscientemente. No hay necesidad de recalcar la medida en que se han transformado la vida cotidiana y los medios de producción en todas las sociedades industriales avanzadas, una transformación que a la larga se hace extensiva a la estructura política y social de tales sociedades. Pero el control de la naturaleza, y de otras personas, que puede ejercerse mediante tecnologías avanzadas no es aplicable a la evolución de estas tecnologías. Puede que una clase dirigente trate de apropiarse de las aplicaciones de la ciencia básica incluidas en instrumentos de autoridad tales como un televisor o un misil dirigido, pero no tiene medio alguno de dirigir o de prever descubrimientos futuros que quizá cambien radicalmente su propia posición. Puede que varias ciencias adquieran paradigmas incuestionables que sirvan de base a tecnologías maduras y eficaces, pero el concepto de finalidad —la elección deliberada de los fines que deben alcanzarse profundizando en estas ciencias— es una ilusión. Así, paradójicamente, cuanto mayores sean la certeza y el poder con que tecnologías científicas conocidas puedan aplicarse a situaciones existentes, mayores serán la incertidumbre y la sensación de impotencia que el progreso científico introduce, a plazo más largo, en los asuntos sociales y políticos.

Contrastando, pues, con la tesis de que la ciencia debería considerarse subordinada a fuerzas sociales y políticas, hay una opinión bien fundada según la cual es un factor autónomo en la sociedad, capaz

de producir cambios inmensos que no podrían predecirse exclusivamente en términos de los intereses de clases económicas, instituciones atrincheradas y otros organismos políticos convencionales. Este factor resulta tan indeterminado a lo largo de un período de unos pocos decenios que desbarata todo intento de prever —y tratar de impedir— el curso de la historia. Según esta opinión, un papel social creativo para la ciencia sólo tiene cabida en un modelo pluralista de sociedad que repudie todas las pretensiones historicistas.

Ciencia y tecnología

Las crónicas marxista y pluralista de los orígenes de la ciencia y su relación con la tecnología llevan consigo consecuencias políticas y sociales opuestas, las cuales seguirán apareciendo a medida que vayamos adentrándonos en la sociología externa de la ciencia. Este, por ejemplo, era el tema subyacente de la polémica pública en torno a la “libertad de la ciencia” que tuvo lugar en Gran Bretaña durante el decenio de 1930. Pero esta polarización y esta confrontación directa siguiendo líneas políticas son demasiado simplistas, ya que no tienen la menor relación con la manera en que suceden las cosas en la práctica. Históricamente hablando, observamos casos distintos tanto de “tecnologías basadas en la ciencia” como de “ciencias basadas en la tecnología”, además de diversos casos intermedios en los que la demanda tecnológica ha ejercido una influencia más o menos importante en la evolución de una disciplina científica académica.

En realidad, estas categorías se funden la una con la otra, y desbaratan la mayor parte de las distinciones entre una “ciencia” y una “tecnología”. ¿Debería uno distinguir realmente entre la industria del acero y la industria de los polímeros por el hecho de que la primera posea una antigua tradición artesanal? ¿Es la física nuclear menos práctica y menos pertinente, desde el punto de vista social, que la hidrodinámica porque esta tiene raíces en la ingeniería hidráulica y la construcción naval? ¿Es la ingeniería aeronáutica esencialmente más científica que la arquitectura porque utiliza de modo más deliberado recientes descubrimientos científicos y métodos de investigación? ¿Acaso la farmacología no fue realmente una ciencia hasta hace pocos años porque no había adquirido los paradigmas de la biología molecular y se apoyaba mucho en el método de tanteo después de un

descubrimiento casual? Cuanto más piensa uno en estos interrogantes, más se aprecia su futilidad.

Hoy día es difícil encontrar alguna actividad material de la sociedad que no dependa de la producción de conocimiento por medio de la investigación como medio de alcanzar sus metas particulares. Así, todas las tecnologías se hallan en vías de generar sus ciencias respectivas. A la inversa, es difícil encontrar algún conjunto de conocimiento, por derivado que sea, que no se encuentre sometido a un examen destinado a determinar sus beneficios potenciales en forma material. Así, todas las ciencias se hallan en vías de generar sus tecnologías respectivas. Estos procesos se entremezclan a todas las escalas, desde el laboratorio y el taller hasta el consejo de investigaciones y la empresa industrial, y en todas las dimensiones de interpenetración. Observamos el crecimiento de instituciones híbridas, tales como el "Science and Engineering Research Council" [Consejo de Investigaciones Científicas y de Ingeniería], de técnicas híbridas tales como la microscopía electrónica y de disciplinas híbridas tales como la neurofisiología clínica.

El papel de la ciencia en la sociedad es, pues, inseparable del papel de la tecnología. No son más que dos aspectos de una actividad indivisible: ciencia y tecnología. Esta actividad toma cuerpo en diversas instituciones sociales cuya función primaria es esencialmente instrumental. A corto o a largo plazo, justifican su existencia produciendo conocimiento práctico, bajo la forma de diseños nuevos de productos o técnicas que son de utilidad para el género humano. Las aplicaciones de estos productos y técnicas nuevos abarcan un amplio espectro ético y van desde la satisfacción de las necesidades básicas de alimentos, cobijo y salud hasta el apoyo de la estructura de poder de la sociedad por medio de armas bélicas e inversiones rentables. Pero esta función sólo puede cumplirse efectivamente mediante la generación de un producto intermedio —el conocimiento generalizado o "académico"— que no es práctico de una manera inmediata. Algunas organizaciones de ciencia y tecnología se especializan en la producción de esta clase de conocimiento, mientras que otras se dedican principalmente a transformarlo en formas prácticas. Pero no son éstos papeles sociales distintos, sino que a menudo los desempeñan de manera simultánea las mismas personas en las mismas organizaciones. Puede que éste no sea el modo en que la ciencia y la tecnología han aparecido

en el pasado, pero es el que presentan ahora desde el punto de vista de la sociedad en general.

Investigación y desarrollo en la ciencia y tecnología

La ciencia y la tecnología —quizás uno debería decir “las ciencias y sus tecnologías asociadas”— constituyen conjuntamente una institución social importante que se basa en la generación, acumulación y utilización sistemáticas de conocimiento. Este conocimiento es muy diverso. Parte de él tiene una utilidad directa; parte aparece totalmente divorciado de los asuntos humanos. Parte de él se halla codificado simbólicamente bajo la forma de datos experimentales, fórmulas teóricas, soluciones de problemas clásicos, protocolos terapéuticos y proyectos de ingeniería: parte de él es esencialmente tácito y sólo se hace manifiesto mediante la labor técnica experta. Gran parte del conocimiento que se aplica a fines prácticos se ha acumulado sencillamente en los archivos científicos y técnicos, a lo largo de muchos años. Al igual que en el pasado, en la práctica cotidiana se produce una cantidad considerable de conocimiento tecnológico formal; en la medicina clínica, por ejemplo, a cada tratamiento nuevo se le puede considerar una especie de experimento.

El inmenso dinamismo social de la ciencia y tecnología modernas nace de su utilización activa del dispositivo social de la investigación, esto es, la actividad sistemática emprendida para obtener información o comprensión que vaya más allá del conocimiento admitido o de la práctica aceptada. En psicología y filosofía este concepto es, por supuesto, muy conocido por ser el factor intencional en el proceso de descubrimiento científico. Desde el punto de vista sociológico, ahora deberíamos verlo como un medio especialmente poderoso de “efectuar todas las cosas posibles”, como dijeron los fundadores de la Royal Society.

En el discurso contemporáneo, el concepto de “investigación” científica suele ir íntimamente vinculado al concepto de “desarrollo” tecnológico. La relación entre estos dos términos refleja la que existe entre “ciencia” y “tecnología”. Hasta hace poco, había considerables diferencias culturales entre, por un lado, la especulación y la experimentación filosóficas y, por otro, la invención y la innovación

técnicas. Es verdad que ambas actividades hubieran podido llevarse a cabo con el mismo espíritu general de empresa imaginativa y racionalidad escéptica. Las características esenciales de ambas actividades son detectables en una antigüedad muy remota en todas las civilizaciones importantes del mundo y, tal como demuestra la historia de la ciencia y la tecnología chinas, las fronteras entre ellas son muy elásticas. Pero en la tradición europea, se ha acostumbrado a distinguir entre un concepto de “investigación”, pensada sencillamente para producir información o comprensión, y un concepto de “desarrollo”, cuya finalidad estriba en producir un objeto o un proceso útiles partiendo de una idea nueva.

Al igual que la distinción entre ciencia y tecnología, la distinción entre “investigación” y “desarrollo” es cada vez más difícil de percibir. La combinación “investigación y desarrollo” puede emplearse para referirse a toda una serie de procedimientos de investigación, desde el análisis teórico más abstracto hasta el más burdo método de tanteo, que cabe encontrar en todos los campos de la ciencia y tecnología; estos procedimientos pueden ser motivados por el deseo de comprensión fundamental, como en cosmología, o por el deseo de obtener un beneficio comercial, como en la fabricación de sistemas de armamento. A menudo es conveniente determinar el grado de pertinencia de determinado proyecto o programa de investigación y desarrollo pero, es esta una variable continua que abarca un amplio espectro y que no siempre es un indicador fidedigno del carácter de la labor que se está realizando o de la naturaleza de la organización dentro de la cual se lleva a cabo.

Una característica sobresaliente de la investigación y desarrollo es que, al igual que la moderna ciencia y tecnología, existe en un único modo mundial, que se halla estrechamente asociado al estilo de vida europeo. Este modo, por supuesto, está vinculado a la dominación tecnológica y comercial de Europa en los asuntos mundiales durante los siglos XIX y XX, pero su espíritu es mucho menos “tecnológico” que “científico”. Se deriva en notable medida del estilo académico de la ciencia que se desarrolló en la Europa occidental a partir de las postrimerías del siglo XVII y que ya se encontraba plenamente institucionalizado al finalizar el siglo XX. Por este motivo, la sociología interna de la ciencia académica, a la que tanta atención hemos

prestado tiene mucho que ver con la sociología externa de la ciencia y tecnología contemporánea, aun cuando el propio estilo académico se esté transformando rápidamente —incluso es posible que ya esté superado— bajo la presión de las fuerzas socioeconómicas. Psicológica, filosófica y por lo menos microsociológicamente, la “investigación académica” proporciona modelos de papel o cometido, y valida principios, tradiciones ideológicas y normas de comportamiento para la totalidad del proceso de investigación y desarrollo, ya sea en una institución educacional o en una empresa comercial.

Esto no equivale a afirmar que la investigación y desarrollo es sólo investigación académica organizada para su utilización práctica. Al contrario las formas institucionales de la “ciencia industrial” son muy diferentes de las formas tradicionales de la “ciencia académica”. En las modernas organizaciones de investigación y desarrollo se encuentran rasgos fundamentales de la práctica profesional, como en medicina; del arte del diseño, como en ingeniería; del pragmatismo económico, como en la invención y la producción industriales; y de la racionalidad administrativa, como en la ciencia gubernamental. Estos rasgos tienen cada vez mayor importancia, pero aún no predomina sobre el tema de la “investigación científica” en la totalidad de la investigación y desarrollo. Es necesario, por lo tanto, examinar brevemente la historia social de la ciencia académica (considerada, de momento, como institución distinta) con el fin de comprender hasta cierto punto de qué manera esta institución se hallaba relacionada, de hecho, con su contexto social.

Crecimiento

La historia de la ciencia se halla dominada por el crecimiento. La sociología interna de la ciencia no sólo se adapta al cambio cognitivo institucional: todas las comunidades científicas han tenido que dar cabida a un número creciente de científicos a un ritmo que supera en mucho el del crecimiento de la población en conjunto. Huelga decir que este crecimiento no ha sido histórica ni geográficamente uniforme, pero el factor de escala correspondiente al crecimiento de la literatura científica —alrededor de cien veces por siglo (lo que equivale a su duplicación más o menos cada quince años)— da una idea de su magnitud. Dicho de otro modo, por cada científico que había en el

mundo en la segunda mitad del siglo XVII, en la actualidad hay alrededor de un millón. Aunque a este cálculo le apliquemos un factor de descuento de diez, para tomar en consideración los conceptos cambiantes de la empresa científica, la cifra sigue siendo fenomenal.

Así pues, todo el mundo opina que la ciencia es una actividad social inmensamente provechosa, que ha ido de éxito en éxito, casi sin contratiempos. Este éxito ininterrumpido contribuye en gran medida a explicar su prestigio en la sociedad en general y hasta qué punto se la vincula de modo optimista a la ideología del progreso. La boyante moral interna de una empresa en expansión es un factor que influye en sus relaciones externas.

El tamaño de la comunidad científica es también un indicador de su peso y su influencia en la sociedad en general. La ciencia, en el sentido amplio de la palabra, en la actualidad afecta, directa o indirectamente, a alrededor del 1 por ciento de la población y de la renta nacional de la mayor parte de los países industriales avanzados y, por ende, es un factor significativo en los asuntos demográficos y económicos. Tanto si esto representa un nivel de saturación del personal y de otros recursos como si no, es una indicación mínima de la importancia relativa de la ciencia en la sociedad moderna. La historia de la ciencia nos habla, pues, de una transición larga e ininterrumpida que la llevó de ser una institución social insignificante a ser una de las principales instituciones de la sociedad.

Amateurismo y patronazgo estatal

Hasta tiempos muy recientes eran muy pocos los científicos a los que se contrataba específicamente para que investigaran. En esta categoría de amateurs o aficionados se incluían los que ocupaban cargos en las universidades, donde su función primaria consistía en enseñar lo que ya estaba bien comprobado en vez de emprender investigaciones originales por cuenta propia. El nombramiento de profesor era, huelga decirlo, atractivo para un hombre docto y daba acceso a un saber superior además de proporcionar tiempo para investigar. Pero también había científicos que se ganaban la vida ejerciendo otras profesiones doctas tales como medicina, el derecho o la iglesia. A decir verdad, muchos “sabios” eran personas que disponían de unos ingresos privados procedentes de la tierra o del

comercio, hombres cuya diligencia investigadora no contaba con otro apoyo que el entusiasmo personal y el reconocimiento de sus colegas. Aunque algunos de los científicos primitivos más famosos, tales como Hooke y Van Leeuwenhoek, eran de orígenes muy humildes, se consideraba que la investigación era esencialmente una actividad propia de caballeros y que nadie podía albergar la esperanza de ganarse la vida con ella. Esto se hace evidente en la constitución y los socios de instituciones científicas comunales, por ejemplo la Royal Society, cuya composición social era claramente distinguida o incluso aristocrática.

En Gran Bretaña la ciencia fue casi totalmente ajena al aparato del Estado hasta las postrimerías del siglo XIX. Pero en los países europeos más autoritarios como Francia, Prusia y Rusia, la ciencia fue objeto de un patronazgo oficial considerable, de manera especial por medio de la fundación de “academias” que ofrecían cargos remunerados a un número reducido de eruditos eminentes. En la era de la nación-estado los logros científicos se convirtieron en un recurso competitivo para el orgullo patriótico, y científicos de renombre eran contratados formalmente como funcionarios del Estado, aunque con frecuencia sin la menor función gubernamental o autoridad burocrática específica. En diversos períodos y países las ideas científicas han sido consideradas muy radicales y subversivas por la élite gobernante, pero la ciencia raras veces ha sido institucionalmente antagónica o incompatible en lo que se refiere al aparato del Estado u otros instrumentos importantes del poder. A pesar de sus conexiones internacionales y de su cosmopolitismo, casi siempre se podía contar con que los científicos naturales serían leales a su país y a su clase.

La ascensión de la ciencia académica.

La fase más significativa de la historia institucional de la ciencia fue la primera mitad del siglo XIX, momento en que empezó a penetrar en las universidades. Este cambio fue especialmente acentuado en Alemania y, en menor grado, en Francia. En Gran Bretaña y los Estados Unidos la academización de la ciencia tuvo lugar algo más tarde y se hizo copiando en gran parte los modelos alemanes.

La ascensión de las universidades alemanas hasta la supremacía del mundo académico europeo fue un proceso histórico complejo al que

contribuyeron numerosas causas. Basta señalar que Alemania se hallaba a la sazón dividida en diversos Estados semidependientes, los cuales podían competir públicamente valiéndose de la reputación de sus universidades estatales. Por otro lado, maestros y estudiantes podían verse con bastante libertad por una región extensa en la que estaba muy extendida la utilización de una sola lengua y en la que existía una cultura relativamente homogénea, una región que, de hecho, incluía a Suiza, Holanda, Escandinavia y partes de lo que ahora son países independientes de la Europa Oriental, tales como Polonia, Checoslovaquia y Hungría. En semejantes condiciones, la investigación científica pasó a desempeñar un nuevo papel profesional e institucional en la sociedad.

En primer lugar, todas las investigaciones se realizaban en la universidad, es decir, las llevaban a cabo empleados de la universidad en el recinto de ésta. Pero los investigadores principales eran profesores, a los que se empleaba primariamente como maestros universitarios, y no tenían que responder directamente ante autoridad alguna de la intensidad, las intenciones o los resultados de sus actividades científicas. De hecho, quizá no llevaban a cabo investigación alguna, pero, si la realizaban, los resultados podían publicarse sin limitación alguna; el principio general de la libertad académica era considerado de la mayor importancia.

Sin embargo, la entrada en esta profesión era severamente competitiva. Después del acostumbrado período de estudios universitarios, era necesario servir en calidad de aprendiz (¡sin cobrar!) a algún investigador consagrado y emprender las investigaciones que culminarían con la redacción de una tesis erudita. Luego podía venir otro período de varios años en un puesto subordinado y mal pagado en calidad de maestro/investigador antes de conseguir un nombramiento de profesor con buen sueldo y tenencia permanente.

Ésta era, en esencia, la estructura de una carrera en la ciencia académica alemana, en la que es fácil reconocer el prototipo de la estructura de las carreras científicas en todos los sistemas universitarios del mundo en el siglo XX. Presenta una ambivalencia peculiar por el papel social que asigna a la investigación, que no se contrata como tal, sino que es el criterio indispensable para obtener empleo y ascensos en el mundo académico. De hecho esta ambivalencia es tan extrema,

que las universidades están muy acostumbradas a dar “lectorías” a personas que apenas pueden juntar dos oraciones ante un auditorio, ¡siempre y cuando hayan publicado unas cuantas monografías científicas realmente buenas!

No hace falta repetir que éste es el mecanismo social que realmente hace que se respete la estructura de autoridad y se cumplan las normas de conducta de la ciencia académica. El “reconocimiento” encarnado por el ascenso a la categoría de profesor numerario, con tenencia permanente, es un incentivo material a la calidad y la cantidad de la producción investigadora tan poderoso como los halagos al amor propio mediante una muestra simbólica de estima tal como un título honorario. Pero no es, como la mayor parte de los sistemas burocráticos un mecanismo que se justifique y se sostenga a sí mismo. Este modo de efectuar nombramientos presupone la existencia de una comunidad científica autónoma en la que las personas pueden labrarse una reputación personal genuina gracias a sus investigaciones. También da a entender que el individualismo del ethos académico tradicional no debe ser excesivamente limitado por constreñimientos institucionales; una de las características significativas de las universidades alemanas era el hecho de que las dirigía una oligarquía profesoral con escasa injerencia del aparato del Estado ante el cual era en principio responsable.

Las relaciones externas de la ciencia académica

Cuando se piensa en la ciencia es esencial no desconectar la filosofía de la sociología de la comunidad científica: también es necesario no tratar a la comunidad científica como si fuera totalmente independiente de su base material. El ethos de la ciencia académica es tan apreciado y tan epistemológicamente fructífero, que podemos olvidar que se trata de una ideología que se ajusta mucho a los intereses peculiares de determinado grupo profesional. La sociología externa de la ciencia debe tener en cuenta la manera en que los científicos académicos pudieron mantener un notable grado de autonomía en sus investigaciones, a pesar de ser empleados remunerados y funcionarios responsables de instituciones de enseñanza superior, las cuales se hallan firmemente enclavadas en los asuntos de la sociedad en general. A cambio de su trabajo como maestros se les permitía —de hecho, se

les estimulaba encarecidamente a ello— “ensanchar las fronteras del conocimiento” casi sin tener en cuenta las necesidades del comercio y del Estado. De esta manera la ciencia se erigió en profesión reconocida, sin las responsabilidades sociales directas de la mayor parte de las demás profesiones, las cuales participan de modo más inmediato en los asuntos mundanos.

Pero la ciencia académica nunca estuvo completamente desconectada de la sociedad en general. Las autoridades académicas eran requeridas a aconsejar a sus gobiernos en cuestiones técnicas y también desempeñaban un papel importante en la dirección de varios organismos gubernamentales de agrimensura, observación astronómica, recogida de especímenes botánicos, etc. A su vez los académicos buscaban apoyo del Estado para importantes empresas de investigación, tales como una expedición geográfica o un estudio magnético internacional.

No hace falta decir que el conocimiento científico fluía continuamente hacia afuera, a través de publicaciones científicas y de la educación científica, y era recibido por la industria y el comercio. En algunas disciplinas, tales como la medicina y la ingeniería, los investigadores académicos formaban también una élite de profesionales y de esta manera participaban directamente en la vida cotidiana y en la política pública. En su calidad de maestros eran también los encargados de preparar y autorizar a la masa de cultivadores de la ciencia, los cuales necesitaban aprender los métodos científicos más recientes. Aunque había pocos vínculos formales entre el mundo académico y la industria, algunos científicos académicos de gran reputación —por ejemplo, lord Kelvin— eran requeridos como consultores para asuntos técnicos y la mayor parte de los científicos se interesaban personalmente por los adelantes tecnológicos. Si bien se mantenía un tanto apartada de las preocupaciones cotidianas, la comunidad científica no ignoraba el valor de las buenas relaciones públicas. Muchos científicos distinguidos hacían las veces de popularizadores —si no de propagandistas— de la ciencia, valiéndose para ello de medios tales como las asociaciones para el progreso de la ciencia, tanto en Gran Bretaña como en los Estados Unidos.

Se presentaba la ciencia como una profesión sumamente respetable que merecía ocupar un lugar privilegiado en la sociedad por sus aportaciones al progreso y a la prosperidad.

En Alemania este papel social estereotipado de la ciencia académica ya se había formado en 1850 y no tardó en propagarse a otros países, donde permaneció vigente durante alrededor de un siglo. Este estereotipo, huelga decirlo, tuvo sus variantes locales, que dependían de las circunstancias culturales, políticas y económicas de cada país. Sin embargo, a pesar de los cambios inmensos de escala y de estilo intelectual que produjo el crecimiento de la ciencia, de la industria y de la enseñanza superior en aquel período, el modelo académico de la labor científica ha resultado notablemente duradero. Es evidente que en él se combinan funciones epistemológicas, profesionales y sociales de un modo notable y consecuente. ¿En qué medida depende esta estabilidad de la naturaleza del sistema social en su conjunto? Sin duda hay una estrecha conexión entre el ethos académico y la ideología de una democracia capitalista pluralista. En todo caso, resulta claro que la ciencia académica es una forma institucional coherente, capaz de mantener una existencia independiente durante un período largo en cualquier sociedad razonablemente abierta y de economía desarrollada.

Ciencia industrial

Incluso en sus mejores tiempos, a principios del siglo XX, la ciencia académica no era el único modelo institucional para la investigación. A partir de mediados del siglo XIX, surgió un modelo alternativo en el cual se contrataban trabajadores científicos directamente, con dedicación plena para que investigasen. Por supuesto, en algunas industrias avanzadas, tales como la de productos químicos, las empresas siempre se habían beneficiado de descubrimientos científicos y con frecuencia contrataban a personas dotadas de preparación científica para que desempeñasen el cargo de director de fábrica o controlador de procesos. Pero en el decenio de 1860 los fabricantes de materias colorantes de Alemania dieron un paso decisivo hacia adelante al instalar sus propios laboratorios, donde científicos académicos debidamente preparados emprendían investigaciones independientes con la esperanza de descubrir nuevos productos y procesos. La ciencia industrial se convirtió de esta manera en un instrumento importante

de innovación en todas las industrias basadas en la ciencia tales como la ingeniería química, la electrónica y la ingeniería astronáutica.

Un fenómeno paralelo tuvo lugar en los diversos organismos del gobierno, tales como observatorios astronómicos, estudios geológicos, oficinas de pesas y medidas e inspecciones de salud pública, que proporcionaban servicios técnicos rutinarios para el bien público. El trabajo de estas organizaciones solía basarse en principios científicos y lo llevaban a cabo personas dotadas de preparación científica: cuando se enfrentaban a problemas técnicos nuevos, o a campos de ignorancia básica, estas personas, como es natural, adoptaban una actitud investigadora y desempeñaban funciones de investigación específicas. Aunque esta clase de ciencia gubernamental difería en muchos detalles de la investigación industrial más orientada al comercio, había tales similitudes estructurales entre, pongamos por caso, el laboratorio de la General Electric Company, que el término “industrial” puede aplicarse a ambos.

Las características más destacadas de la ciencia industrial como forma institucional eran aquellas en las que difería de la ciencia académica. Normalmente, sus dependencias no se hallaban instaladas en las universidades, y su personal no tenía responsabilidades educacionales directas. Un laboratorio típico de investigación industrial no era una organización cuasiautónoma, sino que solía ser una subdivisión burocrática de alguna organización mucho mayor y de carácter no científico como, por ejemplo, una empresa industrial o un departamento del gobierno. Los científicos de plantilla, por mucha categoría que tuvieran, no eran libres de seguir sus propias inclinaciones en lo que se refiere a elegir los proyectos de investigación, sino que se esperaba de ellos —y a veces se les ordenaba con firmeza—, que trabajasen para alcanzar las metas de la organización superior. Su obligación consistía en inventar un nuevo producto comercial, trazar el mapa de una región específica del país o perfeccionar un nueva técnica de medición, en vez de limitarse a adquirir conocimiento. En todo caso, los resultados de sus investigaciones debían ponerse a disposición de la organización para la que trabajaban e incluso cabía que se mantuvieran en secreto por razones comerciales o militares.

Dado que la preparación de investigadores no era una función específica de la ciencia industrial, los empleados se reclutaban en el

mundo académico después de que obtuvieran sus títulos de licenciado o de doctor. Su carrera subsiguiente dependía más de consideraciones organizativas locales —por ejemplo, la calidad de sus resultados técnicos o su competencia gerencial— que de su reputación en el seno de la comunidad científica, y se hallaba sujeta a las mismas reglas administrativas y decisiones de la gerencia, que la carrera de cualquier otro empleado de la compañía o del gobierno. De hecho, el “laboratorio” o “departamento” en conjunto se estructuraba internamente y se dirigía de acuerdo con los procedimientos normales de la entidad madre: esto es, mediante una jerarquía burocrática de “secciones” y “divisiones” hasta llegar a la cumbre misma.

De esta breve descripción se desprende que la ciencia industrial era muy diferente de la ciencia académica como forma institucional. Tenía una sociología interna diferente, distintos incentivos y recompensas para el individuo y un papel diferente en la sociedad. No se la debía considerar como una institución social distinta, asociada con una “comunidad” autónoma, sino derivada principalmente en sus diversas instituciones madre en la sociedad en general y referida a ellas. Dicho de otro modo, aunque englobaba el concepto científico de “investigación” y recurría con frecuencia al contenido de la ciencia académica, estaba construida alrededor del concepto instrumental de la ciencia como medio de alcanzar determinados fines prácticos sin prestar mucha atención al concepto de la ciencia como proceso de descubrimiento.

Al empezar la segunda guerra mundial, la ciencia industrial ya era una realidad claramente definida encarnada por instituciones tan estables y eficaces como los Bell Telephone Laboratories o el Royal Aircraft Establishment, que daban empleo a una proporción considerable de científicos y desempeñaban un papel indispensable en los asuntos económicos de todos los países industrializados.

Ciencia pura... y sus aplicaciones

Es frecuente que al hablar de la función social de la ciencia se haga mucho hincapié en la distinción entre los modos de investigación académico e industrial. Hasta hace pocos años esta distinción no era meramente institucional, sino que incluso se veía reforzada por símbolos de categoría tales como la pertenencia a una sociedad erudita.

En Gran Bretaña, por ejemplo, los físicos académicos eran socios de la Physical Society, que publicaba una revista erudita y daba premios a sus miembros más estimados; los físicos industriales se inscribían en el Institute of Physics, que se ocupaba de los méritos profesionales y de las condiciones de empleo. Puede que en otros países, en los que la ingeniería no estaba tan estigmatizada, esta diferenciación esnobista no fuera tan pronunciada, pero raras veces se olvidaba la distinción de principio entre los dos modelos institucionales.

En realidad, la citada distinción no era tan marcada como creía mucha gente. Así, por ejemplo, los dos modelos no se diferenciaban epistemológica ni metodológicamente; la ciencia industrial utilizaba las mismas teorías y los mismos métodos, conceptos y terminología que la ciencia académica. Los científicos industriales pasaban por las mismas instituciones de enseñanza que los científicos académicos y frecuentemente poseían experiencia de investigación académica de muy alto nivel. Los científicos industriales buscaban a menudo el reconocimiento de la comunidad académica y las monografías publicadas eran el criterio primario para ascender en muchas ramas del funcionariado científico. A decir verdad, en disciplinas tales como la agricultura, la investigación se realizaba en principio en organizaciones híbridas, en las que los científicos eran bastante libres de seguir las normas de la ciencia académica dentro de un marco formalmente burocrático.

Con todo, a pesar de la transformación radical que las relaciones sociales de la ciencia y la tecnología han sufrido en los últimos decenios, la distinción entre ciencia “pura” y ciencia “aplicada” se resiste a desaparecer. Esta distinción no es en modo alguno la misma que hay entre el componentes de “investigación” y el de “desarrollo” en “investigación y desarrollo”, toda vez que el trabajo de un “científico aplicado” en un laboratorio industrial podría estar tan dirigido a la explicación de fenómenos generales, o a la determinación de datos básicos, como a probar y perfeccionar determinado producto o diseño. Tampoco es posible equiparar sencillamente la ciencia aplicada a la “tecnología”, que casi siempre contiene un importante ingrediente de conocimiento tácito y de “oficio” tradicional. Aunque los ingenieros utilizan mucho conocimiento científico, no son sólo “científicos aplicados” en su labor profesional.

Tal como sugiere el epíteto “pura”, esta distinción es en esencia ideológica. Afirma la independencia de la ciencia académica de toda consideración material o social y proclama la virtud de investigar “por investigar”. Repudia el concepto instrumental de la ciencia y de este modo protege el ethos académico. El argumento implícito es que, si bien el valor social último de la ciencia nace de sus aplicaciones, éstas son imprevisibles y de ninguna manera deben influir en el proceso de descubrimiento científico, el cual sigue sus propias leyes peculiares. Dicho de otro modo, según esta ideología, la sociología interna de la comunidad científica y la sociología externa de la “ciencia y tecnología” deben ser considerados como temas de estudio metacientífico del todo independientes.

Sociológicamente hablando, no obstante, resulta difícil sostener el concepto de una diferencia esencial entre ciencia “pura y ciencia “aplicada”. Es muy posible que este concepto estuviera justificado hace medio siglo más o menos, cuando las instituciones académicas e industriales estaban muy separadas las unas de las otras, pero ya no es una distinción válida en el actual sistema colectivizado de investigación y desarrollo. Las formas institucionales, la sociología interna y las relaciones sociales de los elementos de este sistema ya no pueden clasificarse de acuerdo con la posición que ocupen a lo largo del eje tradicional que va de la ciencia pura a sus aplicaciones.

En todo caso, nunca fue convincente, ni filosófica ni psicológicamente, insistir en que el carácter fundamental de la investigación depende del supuesto propósito por el que se emprende. En la práctica la ciencia es mayormente resolución de problemas” y por lo general apenas tiene importancia que el problema que deba resolverse sea una pregunta que surja del programa de investigación paradigmático de una disciplina académica o que se elija porque casualmente tiene que ver con alguna necesidad humana, de índole práctica. Por ejemplo, suponiendo que preguntáramos de qué modo las raíces de las plantas absorben minerales del suelo, ¿representaría una diferencia significativa para el método de investigación, o para la validez de una reivindicación de descubrimiento, el que este problema concreto se estudiara por su posible importancia para el empleo de fertilizantes artificiales o para el crecimiento de cosechas en suelos salinos? En el nivel de la “vida de laboratorio”, consideraciones sencillas de carácter

metodológico y conceptual determinan la naturaleza del proceso de investigación y las actitudes de quienes participan en él, tanto si se trata de ciencia tan “pura” como la cosmología o tan “aplicada” como la búsqueda de una cura para el resfriado común.

Vale la pena señalar, sin embargo, que estas consideraciones metodológicas y conceptuales proceden casi invariablemente de la tradición académica de la ciencia, incluso cuando la investigación es en esencia “aplicada”, y el marco institucional es en esencia “industrial”. El propio desarrollo tecnológico se ha vuelto “científico”: ya no es satisfactorio, al diseñar, un nuevo automóvil, pongamos por caso, fiarse de la experiencia práctica o sencillamente del método de tanteo. Se recogen datos, se observan fenómenos, se proponen hipótesis y se comprueban teorías con el espíritu verdadero del método hipotético-deductivo. El proceso de investigación y desarrollo de la moderna ciencia y tecnología lo regulan exactamente los mismos principios de la labor científica que presidieron el crecimiento de las propias ciencias naturales. Epistemológicamente hablando, toda la ciencia y tecnología recibe sus indicaciones de la ciencia académica y, por consiguiente, está impregnada de sus modelos de cometido, de ethos y de sus tradiciones institucionales.

LA TECNOLOGÍA Y NUESTRAS RESPONSABILIDADES HACIA LAS GENERACIONES FUTURAS

John J. Snyder

La tecnología moderna es a la vez una fuerza creativa y destructora. Indudablemente, ha mejorado el nivel de vida de millones de personas. La producción en gran escala de aparatos que ahorran esfuerzo físico ha aliviado el trabajo en el hogar y en el mundo laboral. Nuevos medicamentos y la extraordinaria tecnología disponibles en los hospitales modernos han contribuido a mejorar la salud de muchas personas, así como a la prolongación de la esperanza de vida. Nuevos medios de transporte y comunicación han hecho posible el acceso a los lugares más remotos del mundo. La tecnología moderna, para quienes nos hemos beneficiado de ella, ha traído consigo un estilo de vida más cómodo y fácil.

Desgraciadamente, la misma tecnología que proporciona tantas ventajas ha producido materiales que amenazan la calidad de nuestra vida presente y futura. Las industrias de productos químicos entierran desperdicios tóxicos que con el tiempo penetran las vías fluviales. Las centrales eléctricas que usan carbón para producir electricidad, así como las fundiciones, producen la lluvia ácida que amenaza con destruir lagos, peces, bosques y edificios, afectando negativamente nuestra salud. Los clorofluorocarburos que se usan en acondicionadores de aire y atomizadores, una vez que penetran en la atmósfera, destruyen gradualmente la capa del ozono que nos protege de la radiación ultravioleta del sol. La emisión continua y de alto nivel de

bióxido de carbono, liberado en la atmósfera por automóviles y fábricas que queman combustibles fósiles, está produciendo un “efecto invernadero” que sin duda alguna cambiará las tendencias meteorológicas en el mundo y causará daño incalculable a los suelos agrícolas y los pueblos marítimos. Las plantas de energía nuclear producen desperdicios que permanecerán tóxicos por miles de años, sin que dispongamos aún de un método seguro para almacenarlos. Estos resultados de nuestra inventiva tecnológica, entre muchos otros amenazan seriamente el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

De todas las invenciones de la tecnología moderna, las armas nucleares constituyen sin duda la mayor amenaza. Si estos instrumentos destructivos llegarán a utilizarse en una guerra mundial, tanto la actual generación como las futuras sufrirán el efecto de la radiación. El “invierno nuclear” que la mayoría de los científicos pronostican como resultado, destruiría muchas de las especies de plantas y animales, y quizá la raza humana misma.

En ningún otro momento de la historia la humanidad ha tenido en sus manos la posibilidad de legar a la posteridad un ambiente envenenado por desperdicios radioactivos y tóxicos y despojado excesivamente de sus recursos naturales. El abuso del medio ambiente como resultado de intereses económicos, y la incapacidad de nuestros líderes políticos para reducir significativamente la amenaza de la destrucción nuclear, contribuyen diariamente a la posibilidad de que se disminuya enormemente la calidad de la vida de nuestros herederos, si es que no se termina en completo estado primitivo. Esto nos deja con el problema de ¿qué responsabilidades, si es que las hay, tenemos hacia estas generaciones futuras? ¿Podemos continuar empleando la tecnología en nuestro propio beneficio y provecho con poca o ninguna consideración de los efectos destructivos para las generaciones futuras?

A simple vista, las respuestas a estas preguntas parecen ser obvias. ¡Por supuesto que tenemos responsabilidades para con las generaciones futuras! ¡No es justo imponer los efectos destructivos de nuestra tecnología a personas que no han participado en su creación! El problema, sin embargo, no es tan simple. ¿Cómo podemos tener responsabilidades con respecto a personas que ni siquiera existen? ¿Qué pueden exigir personas que vivirán dentro de dos mil años? Si

estas personas tienen derecho a exigir de nosotros, ¿tienen igual valor sus exigencias que las de las generaciones actuales?

Para responder a estas preguntas, comencemos por analizar brevemente los dos tipos básicos de relaciones que tenemos con las personas que existen en el presente. Una vez discutidas estas actitudes fundamentales, podremos determinar su importancia en nuestras relaciones con las generaciones futuras. Finalmente, definiremos las responsabilidades, si es que las hay, y de qué tipo, que tenemos hacia esas generaciones.

Nuestras relaciones con personas que existen en el presente

En la actualidad, la mayoría de nuestras relaciones con los demás son funcionales. Nos relacionamos con otras personas principalmente porque en algo nos pueden servir. Nuestra relación con el tendero, el telefonista, el vendedor de gasolina, el cajero del banco y el conductor de autobuses es funcional. Es posible que incluso algo de nuestras relaciones con la familia y los amigos sea funcional. Decir que una relación es funcional no significa necesariamente que exista explotación. Puede que la haya o puede que no. Por ejemplo, cuando hago negocios con una tendera, me entiendo con ella funcionalmente. Yo quiero comprar mercancías a un buen precio; ella las quiere vender con ganancia. Sin embargo, podemos ser razonables y hacer un trato que sea satisfactorio para ambos y que no explote a ninguno de los dos.

Es en este mundo de mutualidad en el que entran en juego los derechos y las obligaciones. Aunque relaciones en las cuales nos usamos mutuamente no tienen por qué implicar explotación, somos conscientes de que alguien puede haberse aprovechado de nosotros en el pasado y de que es posible que esto ocurra nuevamente en el futuro. En cuanto a nuestro amor propio, queremos que se nos trate con dignidad y que se nos asegure que otros respetarán nuestro “derecho” a satisfacer nuestras necesidades básicas.

Un derecho es una exigencia o demanda que hacemos a otras personas para que se nos permita ser u obrar de tal manera que podemos realizarnos como seres humanos. Los derechos no existen en abstracto; existen únicamente en relación con otras personas. Son

exigencias que hacemos a personas vivas para poder satisfacer nuestras necesidades. Pese a que son los gobiernos y las personas con poder las que a menudo determinan arbitrariamente qué derechos tenemos, los derechos humanos básicos no son arbitrarios; están arraigados en las necesidades verdaderas de cada persona. Estas necesidades son auténticas y aunque sean despreciadas o atropelladas, aquellos que son desplazados o excluidos defenderán, tarde o temprano, su derecho a satisfacerlas.

De la misma manera en que queremos que nuestros derechos sean respetados, también estamos obligados a respetar los derechos de los demás. Si abusamos de otros, es posible que ellos abusen de nosotros. La historia ha demostrado esto muy claramente. La continua probabilidad de conflicto no tiene sentido, y a través de los años hemos visto que es en nuestro mutuo propio interés racional de respetarnos los unos a los otros. Como resultado, las sociedades más civilizadas tienen muy alto nivel de respeto por los derechos humanos. Esta parece ser la forma más razonable de actuar.

No siempre nos relacionamos con otros de manera funcional. Más profundas y satisfactorias son las relaciones de compromiso, o relaciones “tu y yo”, en las cuales respondemos a las personas tal como son, y no en términos de lo que pueden hacer por nosotros. Entramos en estas relaciones porque queremos participar en la vida de otras personas tal como son, y no en términos de lo que pueden hacer por nosotros. Entramos en estas relaciones porque queremos participar en su mundo, y queremos que ellos participen en el nuestro. Por lo general, nuestras relaciones con el marido o la mujer, con los hijos, padres, y amigos son de este tipo. Los amamos y queremos participar en su vida. Sin embargo, una relación “tu y yo” se puede tener con cualquier persona. Por ejemplo, mientras estoy negociando con la tendera puedo darme cuenta de que parece estar triste, y al hacerle una pregunta puedo descubrir que su marido está muy enfermo. Si conversamos más, puede que me entere de varios de sus sentimientos e inquietudes. Asuntos funcionales se tornan secundarios en la medida en que me entero de su vida personal. Puede ser un incidente pasajero, a través del cual logro más que un intercambio funcional: alcanzo su alma.

Cuando las personas se relacionan en un nivel de “tú y yo”, no se tratan en términos de propio interés racional. El enfoque no está en lo que pueden obtener de una relación o en proteger sus propios intereses. El enfoque ahora es el bienestar del otro. Para dar un ejemplo, cuando una madre cariñosa responde a los llantos de su niña hambrienta durante la noche, no lo hace por estar obligada por la ley. Más bien lo hace por amor a su hija —ella no quiere que su hija pase hambre— entonces a pesar de su cansancio se levanta de la cama para alimentarla. Su acción no es solamente un intercambio funcional: no alimenta a su bebé sólo para que deje de llorar, aunque seguramente este pensamiento cruzó su mente. Ayuda a su hija principalmente porque la ama y quiere verla crecer y desarrollar. El amor es su motivación básica y no el propio interés racional.

En relaciones de compromiso los derechos y obligaciones todavía existen pero en un sentido análogo. Otras personas continúan exigiéndonos que les permitamos ejecutar acciones que harán posible su realización como seres humanos. Sin embargo, esta exigencia no está basada en el propio interés racional y mutuo. No se trata de que yo respete tus exigencias si tú respetas las mías. Antes bien, la exigencia está arraigada en nuestro respeto por el valor fundamental de otras personas y el querer verlos satisfacer las necesidades que les permitan desarrollarse como seres humanos.

En relaciones de cariño mutuo, nuestras obligaciones hacia otras personas provienen del interés que tenemos hacia ellos. Nos sentimos obligados a ayudar a otros porque comprendemos sus necesidades y los queremos ayudar. Una madre cariñosa, por ejemplo, se siente obligada a cuidar de su niña porque la ve indefensa y quiere ayudarla.

Ninguna sociedad numerosa puede, en la práctica, estar universalmente basada en relaciones “tú y yo”. La mayoría de nuestras relaciones ocurren en el nivel funcional. No obstante la existencia de relaciones “tú y yo” eleva una sociedad a un nivel más humano. No nos vemos a nosotros mismos como simples objetos para usar, justa o injustamente, en busca de la felicidad, sino como personas hacia quienes tenemos sentimientos de convivencia. Trascendemos los límites de nuestras fronteras personales y experimentamos hasta cierto punto el mundo de otra persona.

Nuestras relaciones con personas futuras.

Las personas futuras son los individuos que todavía no existen pero que existirán. Son las personas que van a nacer dentro de una hora, así como las que nacerán dentro de mil años o incluso millones de años. Aunque no existen aún, es razonable esperar que existirán algún día, y cuando llegue ese día tendrán necesidades y derechos semejantes a las de los seres humanos de hoy.

Las personas futuras no bajarán del cielo ni aparecerán por arte de magia. Serán producto de la reproducción sexual de los seres humanos. Algunos de los niños serán “accidentes reproductivos”; otros serán engendrados por razones prácticas, por ejemplo para aumentar la mano de obra en la familia; y otros serán concebidos por amor. Cualquiera que sea la intención, nosotros seremos la fuente de estos nuevos seres humanos.

Cuando una pareja elige tener un niño, su unión sexual creará una nueva persona que será una mezcla única de la formación genética de cada miembro de la pareja. Los futuros padres no tienen conocimiento de lo que su unión sexual producirá. No es posible “ordenar” niños con determinadas características, como en el caso de los automóviles. Una pareja puede tener una niña en lugar de un niño, un artista en lugar de un atleta, o incluso un retardado mental en lugar de un niño normal. No se puede elegir. No se puede devolver el bebé para luego “sacar” otro más a su gusto. Por esta razón la pareja debe estar preparada de antemano para responder a este niño único y sus necesidades específicas. Ellos son responsables de este niño y sus necesidades específicas. Ellos son responsables de este niño, satisfaga o no las aspiraciones de sus padres.

Como los niños nacen como seres indefensos que no madurarán por muchos años, hay que alimentarlos y cuidarlos hasta que sean capaces de cuidarse a sí mismos. Sean los padres u otros miembros de la sociedad los encargados de la crianza de los niños, el hecho es que estos últimos necesitan que se les cuide y alguien tiene que hacerse responsable de que esto ocurra. En la mayoría de las sociedades los padres son los responsables de la crianza de sus niños. En vista de que ciertos padres maltratan o abandonan a sus niños, la mayoría de las sociedades han decidido que es por el bien de los niños y de la sociedad

misma el crear leyes que obliguen a los padres a proveer para sus hijos hasta que sean adultos. Los padres que maltratan o abandonan a sus niños pueden recibir multa e incluso ir a dar a la cárcel.

Desafortunadamente, el énfasis en los derechos y obligaciones legales es un proceder inadecuado y funcional en lo que se refiere a la crianza de los niños. Aunque los niños tienen necesidades físicas y psicológicas que hay que satisfacer, su necesidad más importante es recibir amor. Sin este amor, los niños no se desarrollarán completamente. Un niño puede comer la mejor comida, vivir en un ambiente de lujo, recibir continuamente de sus padres los regalos más caros y asistir a las escuelas más prestigiosas, pero el niño será infeliz si siente que sus padres no le aman. Legalmente se puede obligar a los padres a proveer comida, casa, seguridad y educación, pero no se les puede obligar a dar amor. Quizá ellos puedan aparentar ese amor, pero no se les puede exigir que lo sientan si en realidad no es así. El amor no se puede forzar, es una respuesta voluntaria que el niño mismo inspira. Así que, idealmente, la relación entre los padres y los niños debe ser una relación de cariño. De este amor debe nacer la responsabilidad de los padres por la crianza del niño.

Si amamos a nuestros niños, entonces vamos a querer crear un mundo que les permita desarrollarse y realizarse completamente. Nos preocupamos del buen alojamiento, de la calidad de la educación y de las condiciones generales del vecindario. También nos preocuparemos del efecto que la tecnología moderna tiene sobre el medio ambiente. Junto con otras personas que comparten nuestra preocupación trabajaremos para proveer para nuestros niños un mundo seguro y productivo.

La responsabilidad por el bienestar de nuestros niños se extiende necesariamente más allá de la presente generación, pues uno de los deseos básicos de nuestros hijos será querer tener sus propios hijos. Tenemos que respetar su derecho de propagarse. Esto quiere decir que nuestra responsabilidad de ayudar a crear un ambiente seguro y productivo se extiende más allá de nuestros hijos, se extiende a los hijos de ellos y por inferencia a todos nuestros descendientes. Si nuestros hijos nos importan, nos importarán también los hijos de ellos.

Por supuesto, no todas las personas futuras serán nuestros descendientes. Conoceremos a los hijos de nuestros parientes, amigos y

vecinos y nos será posible relacionarnos con ellos de una manera cariñosa. Sin embargo, la mayoría de las personas futuras serán hijos de personas que no conocemos. Puesto que no tendremos ningún vínculo de cariño con ellos, nuestras relaciones serán más de tipo funcional. Nos sentiremos obligados a respetar sus derechos principalmente por el interés racional propio que sentimos por nuestros hijos. Respetaremos sus derechos porque queremos que ellos respeten los derechos de nuestros descendientes. Esto no quiere decir que no nos podamos preocupar, hasta cierto punto, por estas personas. Basados en nuestra capacidad de formar relaciones “tú y yo” con las personas que conocemos podremos responder de manera compasiva a personas que no conocemos. Como los seres humanos del futuro serán semejantes a nosotros, podemos comprender hasta cierto punto sus preocupaciones, de la misma manera en que nos compadecemos de una familia hambrienta que vemos en la televisión.

Por lo tanto, nuestra responsabilidad hacia las generaciones futuras está profundamente arraigada en nuestra relación de amor con nuestros hijos. Los amamos y nos sentimos obligados a ayudarlos a desarrollarse lo más completamente posible. Porque podemos sentir empatía, en diferentes grados, con otros seres humanos futuros, el amor nos puede hacer reaccionar hacia ellos. Donde no hay vínculo de amor, nuestras obligaciones con seres humanos futuros nacerán de nuestro propio interés por nuestros hijos y otras personas queridas.

Los derechos y obligaciones de las generaciones futuras

Las generaciones futuras todavía no existen, pero algún día existirán. Cuando llegue ese día tendrán los mismos derechos básicos de cualquier otro ser humano. Como todo ser humano, las personas futuras tendrán no sólo el derecho a subsistir, sino también el derecho de satisfacer sus necesidades físicas, intelectuales, sociales y espirituales. Como sus engendrades, tenemos la obligación de respetar sus derechos. Lo mínimo que se debe esperar de nosotros es no poner en peligro la satisfacción de sus necesidades básicas; lo ideal sería que les aseguremos todo lo necesario para tener una vida segura y productiva.

Nuestras obligaciones para con las generaciones del futuro próximo son algo diferentes a las obligaciones que tenemos con las generaciones del futuro lejano. Es posible que las generaciones del futuro

lejano, digamos en unos mil años o más, vivan en un mundo muy diferente al nuestro. Aunque podemos suponer que tendrán necesidades semejantes, el largo período de tiempo nos hace casi imposible saber cuales son las medidas que podemos tomar para mejorar sus vidas. Por lo tanto, nuestras obligaciones hacia ellos serán las mínimas: no hacer nada que afecte seriamente su manera de vivir, por ejemplo, irradiar el medio ambiente o producir un daño ecológico permanente. En cambio, nuestras obligaciones con los que nos seguirán inmediatamente son diferentes. Ellos son nuestros hijos, y por el amor que les tenemos y el respeto que sentimos por sus contemporáneos, debemos hacer todo lo que esté a nuestro alcance para asegurar que ellos y sus hijos vivan en un mundo que tenga todo lo necesario para mantenerlos física y espiritualmente.

Pese a que tenemos la obligación de proveer a las generaciones del futuro próximo con lo necesario para tener una vida productiva, no les debemos una vida de lujo y abundancia. Lo único que les debemos es la posibilidad razonable de tener una vida productiva. Así que la generación presente no está obligada a hacer grandes sacrificios para que los que vienen después tengan un nivel de vida mucho mejor que el nuestro. Será responsabilidad de ellos de mejorar lo que hereden de nosotros.

Esto no significa que la generación presente no deba tratar de proveer a las generaciones futuras un mundo mejor. Hasta cierto punto esto es un proceso natural. En su esfuerzo de mejorar su mundo, cada generación lega a la siguiente un mundo que por lo general es mejor que el suyo. Al transmitir todo su conocimiento y riqueza, proporcionará a la posteridad un mejor comienzo que el suyo. Además, la generosidad humana puede inspirar a miembros de la generación presente a hacer grandes sacrificios por el bienestar de las generaciones futuras. Por amor por sus hijos, muchos padres hacen sacrificios personales y financieros importantes, para que ellos tengan una mejor vida que la que ellos tienen.

Es enteramente posible que las exigencias legítimas de la generación presente y de las generaciones futuras sean incompatibles. Supongamos, por ejemplo, que decidimos aliviar el hambre y la pobreza de los países subdesarrollados. El costo de una tal empresa, usando la tecnología moderna, sería terminar con muchas de nuestras

riquezas no renovables, contaminar el aire y el agua, y destruir los bosques para cultivar alimentos. ¿Tiene la gente viva prioridad sobre la gente que todavía ha de nacer?

Para resolver este problema, Daniel Callahan, hace una distinción entre derechos existentes y derechos condicionales. La generación presente tiene derechos existentes de vivir y sobrevivir. Estas personas ya están aquí. Las generaciones futuras tienen derechos condicionales. Sus derechos existirán sólo cuando ellos existan. Como estamos relativamente seguros de que generaciones futuras existirán, debemos respetar ahora sus derechos. Sin embargo, si hay un conflicto, los derechos presentes tienen prioridad sobre los derechos condicionales del futuro, porque la generación presente ya existe y tiene necesidades reales. No se deberían sacrificar los que tienen necesidades ahora por una generación que todavía no existe. Sin embargo, si la generación presente mantiene un estilo de vida de lujo y desperdicio que va más allá de lo que se requiere para una vida productiva, y si este estilo de vida pone en peligro los derechos básicos de las generaciones futuras, es apenas justo que la generación presente modifique su estilo de vida, lujoso y desenfrenado, para que sus herederos puedan tener una vida normal y productiva.

La tecnología y las generaciones futuras

En vista de que tenemos responsabilidades con las generaciones futuras, es evidente que no podemos continuar empleando la tecnología moderna en nuestro propio beneficio y provecho, sin considerar los efectos que ella tendrá sobre las nuevas generaciones. Tenemos que darnos cuenta de que abusar de los bosques, cubrir de pavimento tierras agrícolas, depositar desperdicios químicos en el mar, contaminar el aire de clorofluorocarburos, quemar ilimitadamente combustibles fósiles, y crear desperdicios nucleares, puede traer beneficios temporales, pero a largo plazo pueden tener efectos perjudiciales sobre el medio ambiente y la existencia humana. A pesar de que tenemos ahora la capacidad para controlar los efectos negativos de la tecnología, no va a ser fácil solucionar muchos de estos problemas, pues habrá que tener en cuenta aspectos científicos, económicos y políticos. Muchos de estos problemas ocurren localmente y pueden ser tratados localmente. Sin embargo, se hacen necesarios, cada vez

más, acuerdos bilaterales e internacionales. La tarea no será fácil, pero tenemos que trabajar desde ahora por el interés tanto de las generaciones de hoy, como las del futuro.

El horror de las armas nucleares es, sin duda, la mayor amenaza a los seres humanos presentes y futuros. Hemos creado una tecnología que nos defiende a través de la amenaza de una aniquilación mutua. Será necesario concertar esfuerzos a nivel mundial para eliminar estas armas, y para parar los gastos exagerados en investigaciones en armas. El nuevo tratado de control de fuerzas nucleares es un primer paso, pero tenemos que continuar el progreso hacia la paz y hacia un mejor entendimiento entre los poderes mundiales.

Si de verdad amamos a nuestros hijos y apreciamos la raza humana, tenemos que hacer un esfuerzo, desde ahora, para comenzar a solucionar estos y otros problemas que afectarán adversamente su futuro.

PARTE III

¿HAY UN MÉTODO DE LA CIENCIA?

EL MÉTODO CIENTÍFICO*

Mario Bunge

Un método es un procedimiento para tratar un conjunto de problemas. Cada clase de problemas requiere un conjunto de métodos o técnicas especiales. Los problemas del conocimiento a diferencia de los del lenguaje o los de la acción, requieren la invención o la aplicación de procedimientos especiales adecuados para los varios estudios del tratamiento de los problemas, desde el mero enunciado de éstos hasta el control de las soluciones propuestas. Ejemplos de tales métodos especiales (o técnicas especiales) de la ciencia son la triangulación (para la medición de grandes distancias) o el registro y análisis de radiaciones cerebrales (para la objetivación de estados del cerebro.)

Cada método especial de la ciencia es, pues, relevante para algún estudio particular de la investigación científica de problemas de cierto tipo. En cambio, el método general de la ciencia es un procedimiento que se aplica al ciclo entero de la investigación en el marco de cada problema de conocimiento. Lo mejor para darse cuenta de cómo funciona el método científico consiste en emprender, con actitud inquisitiva, alguna investigación científica lo suficientemente amplia como para que los métodos o las técnicas especiales no oscurezcan la estructura general. (El convertirse en especialista de algún estadio del trabajo científico, como la medición, por ejemplo, no basta, ni mucho menos, para conseguir una visión clara del método científico; aún más, eso puede sugerir la idea de que hay una pluralidad de métodos

(*) Fuente: Mario Bunge, "La investigación científica"

inconexos más que una sola estructura metódica subyacente a todas las técnicas). Otro buen camino, inmediatamente después del anterior, consiste en familiarizarse con algún sector o pieza de la investigación, no precisa y solamente con su resultado, más o menos caduco, sino con el proceso entero, a partir de las cuestiones que desencadenaron inicialmente la investigación.

Supongamos que nos planteamos la pregunta siguiente: “¿Por qué diversos grupos humanos utilizan lenguajes más o menos diferentes?” Una respuesta sencilla a esa pregunta —esto es, una explicación de la generalización empírica según la cual diversos grupos humanos tienden a hablar de modos diversos se encuentra en mitos como, por ejemplo, el de la diversidad originaria de lenguas ya cristalizadas desde el principio. Un investigador científico de ese problema no prestaría gran fe a explicaciones sencillas de ese tipo, y empezaría por examinar críticamente el problema mismo. De hecho, aquella pregunta presupone una generalización empírica que puede necesitar afinación: ¿Qué grupos son los que hablan de modos diversos? ¿Grupos étnicos, grupos sociales, grupos profesionales? Sólo una investigación preliminar de esta cuestión previa puede permitirnos una formulación más precisa de nuestro primer problema.

Una vez hallado ese enunciado más preciso del problema se ofrecerá una serie de conjeturas: algunas referentes a la determinación geográfica de las diferencias lingüísticas, otras a los factores biológicos, otras a los factores sociales, etc. Esos varios supuestos serán entonces contrastados examinando sus consecuencias observables. Así, por ejemplo, si el tipo de trabajo es efectivamente un determinante principal de las diferencias lingüísticas (hipótesis), entonces los grupos profesionales compuestos por individuos que en todo lo demás son semejantes deben hablar dialectos distintivos (consecuencia sometible a contrastación con la experiencia).

Entonces hay que reunir cierto número de datos para poder averiguar cuál de las conjeturas es verdadera —si es que alguna de ellas lo es. Y, si es posible, los datos tendrán que ser científicamente certificables, esto es, obtenidos, y controlados si es necesario por medios científicos. Por ejemplo: habrá que estudiar muestras casuales de grupos profesionales, con objeto de minimizar los efectos de una posible tendencia en la elección de los sujetos. Entonces se estimarán

los méritos de las varias hipótesis propuestas, y en ese proceso de estimación surgirán acaso nuevas conjeturas.

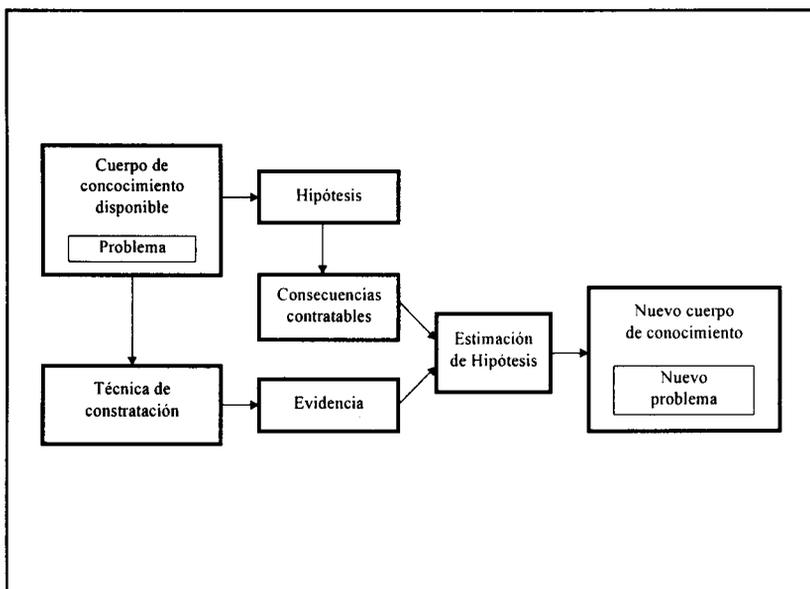
Por último, si la investigación ha sido cuidadosa e imaginativa, la solución del problema inicial hará surgir un nuevo conjunto de otros problemas. De hecho, las piezas de investigación más importantes, al igual que los mejores libros, son las más capaces de desencadenar nuevo pensamiento, y no precisamente las tendentes a llevar el pensamiento al reposo.

En el anterior ejemplo podemos distinguir los estadios principales del camino de la investigación científica, esto es, los pasos principales de la aplicación del método científico. Distinguimos, precisamente, la siguiente serie ordenada de operaciones:

1. Enunciar preguntas bien formuladas y verosímelmente fecundas.
2. Arbitrar conjeturas, fundadas y contrastables con la experiencia, para contestar a las preguntas.
3. Derivar consecuencias lógicas de las conjeturas.
4. Arbitrar técnicas para someter las conjeturas a contrastación.
5. Someter a su vez a contrastación esas técnicas para comprobar su relevancia y la fe que merecen.
6. Llevar a cabo la contrastación e interpretar sus resultados.
7. Estimar la pretensión de verdad de las conjeturas y de la fidelidad de las técnicas.
8. Determinar los dominios en los cuales valen las conjeturas y las técnicas, y formular los nuevos problemas originados por la investigación.

Este ciclo se representa esquemáticamente en el diagrama.

¿Existen reglas que guíen la ejecución adecuada de las operaciones que hemos indicado? O sea: ¿hay instrucciones concretas para tratar los problemas científicos? Seguramente hay algunas, aunque nadie ha establecido nunca una lista que las agote y aunque todo el mundo deba resistirse a hacerlo, escarmentado por el fracaso de los filósofos que, desde Bacon y Descartes, han pretendido conocer las reglas infalibles de la dirección de la investigación. Pero, a título de mera ilustración,



vamos a enunciar y ejemplificar algunas reglas muy obvias del método científico.

- R1 Formular el problema con precisión y, al principio, específicamente. Por ejemplo, no preguntar genéricamente “¿Qué es el aprendizaje?”, sino plantear una cuestión bien determinada, tal como: “Cómo aprenden los ratones albinos a solucionar problemas de laberintos? ¿Gradualmente o por pequeños saltos?”.
- R2 Proponer conjeturas bien definidas y fundadas de algún modo, y no suposiciones que no comprometen en concreto, ni tampoco ocurrencias sin fundamento visible: hay que arriesgar hipótesis que afirme la existencia de relaciones bien definidas y entre variables netamente determinadas, sin que esas hipótesis estén en conflicto con lo principal de nuestra herencia científica. Por ejemplo: no hay que contentarse con suponer que es posible el aprendizaje con sólo proponer al animal experimental un único ensayo o intento; mejor es suponer con precisión, por ejemplo, que el aprendizaje por un solo intento, tratándose de orientación en un laberinto en forma de T, tiene tal o cual determinada probabilidad.

- R3 Someter las hipótesis a contrastación dura, no poco estricta. Por ejemplo, al someter a contrastación la hipótesis sobre el aprendizaje con un solo intento, no se debe proponer al animal sujeto alguna tarea para la cual ya esté previamente preparado, ni tampoco se deben pasar por alto los resultados negativos: hay que proponer al sujeto experimental tareas completamente nuevas, y hay que aceptar toda la evidencia negativa.
- R4 No declarar verdadera una hipótesis satisfactoriamente confirmada; considerarla, en el mejor de los casos, como parcialmente verdadera. Por ejemplo, si se ha obtenido una generalización empírica relativa a las probabilidades de aprendizaje de una determinada tarea con un sólo intento, con otro intento, y así sucesivamente, hay que seguir considerándola afirmación como corregible por la investigación posterior.
- R5 Preguntarse por qué la respuesta es como es, y no de otra manera: no limitarse a hallar generalizaciones que se adecúen a los datos, sino intentar explicarlas a base de leyes más fuertes. Por ejemplo, plantearse el problema de hallar los mecanismos nerviosos que den razón del aprendizaje a la primera presentación de la tarea al sujeto: esto supondrá complementar la investigación conductista que se estaba realizando con una investigación biológica.

Esas y otras reglas del método científico están muy lejos de ser infalibles y de no necesitar perfeccionamiento: han ido cristalizando a lo largo de la investigación científica y son —esperémoslo— aún perfectibles. Además, no debemos esperar que las reglas del método científico puedan sustituir a la inteligencia por un mero paciente adiestramiento. La capacidad de formular preguntas sutiles y fecundas empíricas finas y originales no son actividades orientadas por reglas: si lo fueran, como han supuesto algunos filósofos, todo el mundo podría llevar a cabo con éxito investigaciones científicas, y las máquinas de calcular podrían convertirse en investigadores, en vez de limitarse a ser lo que son, instrumentos de la investigación. La metodología científica es capaz de dar indicaciones y suministra de hecho medios

para evitar errores, pero no puede suplantar a la creación original, ni siquiera ahorrarnos todos los errores.

Las reglas del correcto comportamiento en la mesa son más o menos convencionales y locales; consecuentemente, sería difícil confirmarlas o refutarlas de un modo objetivo, aunque sin duda son explicables por causas sociales e históricas. Pero, ¿qué decir del comportamiento investigador, esto es, de las reglas de la investigación científica? Esas reglas son claramente universales: no hay efectivamente nada tan universal como la ciencia, ni siquiera la filosofía. Pero ¿son además justificables? Sin duda tienen una justificación pragmática: aunque no son infalibles, no conocemos otras reglas que sean más adecuadas para conseguir la meta de la ciencia, la construcción de los métodos conceptuales de las estructuras de las cosas con la mayor verdad posible.

Pero ésa es sin duda una justificación bastante pobre. En primer lugar, porque la aplicación del método científico no da, en el mejor de los casos, sino aproximaciones a la verdad. En segundo lugar, porque una regla que está justificada así por su éxito, pero no está integrada en el cuerpo del conocimiento científico, queda como colgada en el aire, y no puede deshacer concluyentemente la pretensión de los procedimientos no-científicos —como la adivinación, por ejemplo— para el progreso del conocimiento. Dicho de otro modo: nos gustaría contar con una justificación teórica del método científico, además de con su justificación pragmática. Entenderemos por justificación teórica de una regla (o norma, prescripción o instrucción): (i) la convalidación de los presupuestos de la regla, o sea, la confirmación de que lo que la regla toma como dado es coherente con las leyes conocidas; y (ii) la comprobación de que la regla dada es compatible con los demás miembros del conjunto de reglas, en este caso, con el método científico. Dicho brevemente: consideraremos que una regla está justificada teóricamente si y sólo si es a la vez fundada y sistemática (como miembro de un sistema consistente de reglas).

En el caso de las reglas del método científico deseamos que integren un sistema de normas basado en, o, al menos, compatible con, las leyes de la lógica y las leyes de la ciencia, no sólo con los desiderata de la investigación. Así, la regla que manda “formular el problema con precisión” presupone claramente que no hay que buscar más que

respuestas únicas (aunque puedan ser complejas, tener varios miembros): si fuera aceptable una pluralidad de supuestos recíprocamente incompatibles, no se habría estipulado la condición de precisión del problema. Por su parte, la aspiración de la solución única está exigida por el principio lógico de no contradicción. En este punto puede detenerse la tarea de justificación de esa regla, porque la investigación científica presupone los principios de la lógica, no los discute.

La justificación de otras reglas del método científico será más difícil y puede suponer complicados problemas filosóficos como el de si el análisis científico de un todo lo disuelve sin aclararlo pero de un modo u otro, hay que suministrar esa justificación, y el trabajo al respecto promete ser de interés. Desgraciadamente, no se ha intentado aún dar una justificación teórica de las reglas del método científico. La metodología científica sigue encontrándose en un estadio descriptivo, preteórico. Muy responsable de este descuido parece ser el tácito supuesto de que todo lo que da resultado es bueno, curiosa suposición en el caso del método científico, del que empieza por admitirse que no da resultados perfectos. En cualquier caso, éste es un problema interesantísimo para los filósofos que se preocupan por la ciencia viva.

Los científicos no se han preocupado mucho por la fundamentación ni por la sistematicidad de las reglas del procedimiento científico: ni siquiera se preocupan por enunciar explícitamente todas las reglas que usan. De hecho, las discusiones de metodología científica no parecen ser animadas más que en los comienzos de cada ciencia: por lo menos, tal fue el caso de la astronomía en tiempos de Ptolomeo, de la física en los de Galileo, y hoy de la psicología y la sociología. En la mayoría de los casos los científicos adoptan una actitud de ensayo y error respecto de las reglas de la investigación, y las que les resultan eficaces se incluyen sin más en la rutina cotidiana de la investigación, tan implícitamente que la mayoría de los científicos ni las registran conscientemente. Nadie, por lo visto, llega a ser consciente en cuestiones metodológicas hasta que el método dominante en el momento resulta fracasar.

El método científico y la finalidad a la cual se aplica (conocimiento objetivo del mundo) constituyen la entera diferencia que existe entre la ciencia y la no-ciencia. Además, tanto el método como el objetivo

son de interés filosófico: por tanto, resulta injustificable el pasarlos por alto. Con esto no se trata de ignorar que una metodología tácita, pero sana, es mejor que una metodología explícita y mala. Hay que subrayar esto en unos tiempos como los nuestros, en los que las revistas de psicología y de sociología dedican muchísimo espacio a discusiones metodológicas que en el fondo se proponen hallar el mejor procedimiento para paralizar la investigación prohibiendo el uso de conceptos que no se apliquen directamente a rasgos observables. Frente a prescripciones metodológicas tan dogmáticas y estériles y teoréticamente injustificadas, lo mejor es tener presente la que acaso sea la única regla de otro del trabajo científico: audacia en el conjeturar, rigurosa prudencia en el someter a contrastación las conjeturas.

El método científico es un rasgo característico de la ciencia, tanto de la pura como de la aplicada: donde no hay método científico no hay ciencia. Pero no es ni infalible ni autosuficiente. El método científico es falible: puede perfeccionarse mediante la estimación de los resultados a los que lleva y mediante el análisis directo. Tampoco es autosuficiente: no puede operar en un vacío de conocimiento, sino que requiere algún conocimiento previo que pueda luego reajustarse y elaborarse; y tiene que complementarse mediante métodos especiales adaptados a las peculiaridades de cada tema.

LAS HIPOTESIS Y EL METODO CIENTIFICO*

Cohen-Nagel

El motivo y la función de la investigación

En el segundo libro de su fascinante Historia, Herodoto describe el panorama que encontró durante sus viajes por Egipto. El río Nilo llamó su atención [veamos lo que escribe al respecto]:

“Ahora bien, el Nilo, cuando está crecido, no sólo inunda el Delta sino también parte de los territorios situados a ambos lados de la corriente y que se consideran pertenecientes a Libia y Arabia; en algunos lugares la inundación se extiende hasta dos jornadas de camino de una a otra orilla; en ciertos lugares más aún, en otros menos.”

“Sobre la naturaleza del río, no pude obtener información alguna de los sacerdotes ni de otros individuos. Yo deseaba averiguar por qué el Nilo crece a comienzos del solsticio de verano y continúa creciendo durante cien días, y por qué, tan pronto como pasa este número de días, se retira y baja su corriente, y continúa bajo el invierno entero, hasta el nuevo solsticio de verano. Acerca de estos puntos no pude obtener información alguna de los habitantes, aunque hice todo género de indagaciones, con el deseo de saber lo que se decía comúnmente; nadie podía decirme qué virtud especial tiene el Nilo que lo hace de naturaleza tan contraria a todo los demás ríos, ni por qué, a diferencia de todo otro río, no se producen brisas en su superficie.”

“Algunos griegos, sin embargo, deseando adquirir reputación de sabios, han ofrecido explicaciones de los fenómenos del río, los cuales

(*) Fuente: Morris Cohen y Ernest Nagel, “Introducción a la lógica y el método científico”

han explicado de tres maneras diferentes. Dos de ellas no me parecen dignas de ser consideradas, aparte de una breve mención. Una afirma que los vientos etesios [vientos mediterráneos del noroeste] provocan la crecida del río, al impedir que sus aguas corran hacia el mar. Pero ha sucedido a menudo que no soplaban los vientos etesios, no obstante lo cual el Nilo crecía en su forma habitual; además, si los vientos etesios produjeran tal efecto, los demás ríos que fluyen en dirección opuesta a esos vientos deberían presentar los mismos fenómenos que el Nilo, y más aún cuanto son todos ríos pequeños y tienen menor corriente. Sin embargo, estos ríos, de los cuales hay muchos en Siria y en Libia, no son en nada semejantes al Nilo respecto a este punto”. “La segunda opinión es aún menos científica que la primera, y también más maravillosa, por decir así. Afirma que el Nilo actúa tan extrañamente porque procede del océano, y que el océano corre alrededor de toda la Tierra”.

“La tercera explicación, mucho más plausible que cualquiera de las otras, es también la más alejada de la verdad, pues realmente no hay nada de cierto en lo que afirma (como no lo hay en las otras): que la inundación del Nilo se debe a la fundición de las nieves. Ahora bien, puesto que el Nilo fluye desde Libia [Africa central], a través de Etiopía, hasta Egipto, ¿cómo es posible que pudiera formarse de la nieve derretida, si corre de las regiones más cálidas del mundo a regiones más frías? Muchas son las pruebas por las cuales toda persona capaz de razonar sobre estas cuestiones puede convencerse de que es inverosímil que esto suceda. El primer y más fuerte argumento lo suministran los vientos calientes que soplan desde esas regiones. El segundo es que la lluvia y la escarcha son allí desconocidas. Ahora bien, donde cae nieve necesariamente llueve a los cinco días, de modo que si nevase, también llovería en esos parajes. En tercer lugar, los nativos del país son negros por el calor, los milanos y las golondrinas permanecen allí todo el año y las grullas que huyen de los rigores del invierno escita acuden a invernar a esas regiones. Por ende, si en el país donde nace el Nilo o por el que fluye cayera nieve, sería absolutamente imposible que tuviera lugar cualquiera de estas circunstancias”.

“En cuanto al autor que atribuye el fenómeno al océano, su explicación está rodeada de tal oscuridad que es imposible refutarla por medio del razonamiento. Por mi parte, no conozco ningún río llamado Océano, y creo que Homero o alguno de los poetas anteriores inventó el

nombre y lo introdujo en su poesía”.

Luego Herodoto da su propia explicación de la conducta del Nilo.

¿Ha incurrido alguna vez el lector en el error de creer o decir que la manera de descubrir la verdad es “estudiar los hechos” o “dejar que los hechos hablen por sí mismos”? Si es así, examine esta cita teniendo presente la luz que puede arrojar sobre las circunstancias en las que se realizan las contribuciones al conocimiento. Ha sido sugerido que si las modificaciones de nuestro medio familiar, o nuestra mera curiosidad, no conmueven y arrojan dudas sobre nuestras creencias habituales, existen dos posibilidades: o no pensamos en absoluto o bien nuestro pensamiento tiene un carácter rutinario. Deseamos ahora destacar esta idea e indicar su importancia para la comprensión de la naturaleza del método reflexivo o científico.

Este extracto de Herodoto ilustra claramente el deleite que sentían los griegos por el conocimiento científico y la especulación. Pero también ilustra la gran diferencia entre el hábito de aceptar simplemente informes en apariencia erróneos e inconexos, y la búsqueda de un orden entre hechos que solo resultan aislados desde una perspectiva superficial. La inundación observable del Nilo era para muchos un mero hecho, desconectado de otros hechos conocidos. Para Herodoto, en cambio, la conducta del Nilo no era un mero hecho. Presentaba un problema que sólo podía ser resuelto hallando alguna conexión general entre la inundación periódica del Nilo y otros hechos.

La idea de que debe buscarse la verdad “estudiando los hechos”, es, pues, totalmente superficial; porque no puede iniciarse ninguna investigación hasta no haber experimentado alguna dificultad en una situación práctica o teórica. Es esa dificultad, o problema, la que guía nuestra búsqueda de un orden en los hechos, en términos del cual pueda superarse. No podríamos descubrir las razones de la inundación del Nilo si no reconociéramos primero en la inundación un problema que exige ser resuelto.

Si el motivo de la investigación es un problema determinado, su solución es el objetivo y la función de aquella. ¿Qué significa una solución satisfactoria de un problema? En particular, ¿qué significa solucionar el problema relativo a las inundaciones del Nilo? Herodoto

buscaba descubrir una conexión entre el hecho de la conducta del Nilo y otros hechos, en virtud de la cual se comprendería que hechos aparentemente aislados son en realidad hechos ordenados. En general, las investigaciones científicas deben comenzar por algún problema y tender hacia un orden que vincule hechos a primera vista inconexos. Pero la capacidad de discernir en una mera experiencia la fuente de un problema, en especial de un problema cuya solución tiene influencia sobre la solución de otros problemas, no es un talento común entre los hombres, pues no puede establecerse ninguna regla por cuyo intermedio aprendan a plantear cuestiones significativas. Ser sensible a las dificultades allí donde personas menos dotadas pasan de largo sin sentirse acuciados por la duda es un signo de genio científico.

La formulación de hipótesis relevantes

¿Cómo se procede en la búsqueda de tal orden en los hechos? Debe observarse, en primer lugar, que no es posible enunciar un problema si no estamos familiarizados de algún modo con el tema en cuestión. Los griegos vieron un problema en la conducta del Nilo porque, entre otras razones, conocían la conducta de otros ríos, y porque sabían que esta conducta se hallaba vinculada a hechos tales como los vientos, las nevadas y la evaporación.

Para enunciar como problema una dificultad oscuramente experimentada debemos destacar, sobre la base de un conocimiento anterior, ciertos elementos del objeto de estudio como significativos. Así, Herodoto observó la distancia cubierta por las aguas desbordadas, la época en la cual comienza la inundación, la época en la que ésta llegaba a su punto máximo, y la ausencia de brisas en la superficie del río. Herodoto enunció la dificultad que lo intrigaba en términos de tales elementos distinguibles y repetidos de la situación total llamada "la inundación del Nilo". Pero si dirigió su atención a esos elementos y no a otros, fue porque estaba familiarizado con ciertas teorías relativas a la conducta de los ríos. Esta familiaridad con tales teorías lo indujo a observar hechos como los vientos, las nevadas o la evaporación, y no otros, con el fin de hallar su conexión con la conducta del Nilo.

No es posible avanzar un solo paso en una investigación si no se comienza por sugerir una explicación o solución de la dificultad que

la originó. Tales explicaciones tentativas nos son sugeridas por los elementos del objeto de estudio y nuestro conocimiento anterior. Cuando se las formula en forma de proposiciones, reciben el nombre de hipótesis.

La función de una hipótesis es orientar nuestra búsqueda de orden en los hechos. Las sugerencias formuladas en la hipótesis pueden ser soluciones del problema. Determinar si en realidad lo son es la tarea de la investigación. No es imprescindible que una en particular nos conduzca hasta nuestro objetivo y frecuentemente algunas de ellas son incompatibles entre sí, de modo que no pueden ser todas soluciones del mismo problema.

Más adelante examinaremos las condiciones formales que debe satisfacer una hipótesis para ser adecuada. Por ahora bástenos destacar que Herodoto examinó tres hipótesis (además de la suya) para resolver el problema que le interesaba, y aceptó la suya propia después de rechazar las otras tres. En verdad, las cuatro explicaciones son falsas, pero el procedimiento seguido por él es todavía un modelo de método científico.

Comprenderemos más claramente la importancia de las hipótesis para orientar la investigación, si volvemos a analizar el consejo común: "Dejad que los hechos hablen por sí mismos". ¿Qué son los hechos y cuáles debemos estudiar? Herodoto podría haber observado las crecidas y retiradas del Nilo hasta el fin de los tiempos sin hallar en este hecho repetido particular el tipo de conexiones que buscaba, por ejemplo, la relación de la inundación con las lluvias en el Africa Central. Su problema sólo tendría solución si descubría una conexión invariable entre el desbordamiento del Nilo y algún otro hecho. Pero ¿cuál otro? El número de los otros hechos es infinito, y la observación no orientada del Nilo tal vez no le revelara nunca los otros hechos o su modo de conexión. Los hechos deben ser elegidos para su estudio sobre la base de una hipótesis.

Al orientar una investigación, una hipótesis debe necesariamente considerar algunos hechos como significativos, y otros no. Hubiera sido humanamente imposible que Herodoto examinara las relaciones del Nilo con toda otra clase de sucesos. Pero el habría considerado absurda esa tarea pues juzgaba irrelevantes a la mayoría de estos otros hechos, tales como el número de plegarias ofrecidas diariamente por

los egipcios o la cantidad de viajeros que visitaban Naucratis en cada estación.

¿Qué significa decir que algunas hipótesis expresan conexiones “relevantes” entre hechos y otros no? Herodoto podría haber sostenido que la fusión de las nieves es un hecho relevante para la comprensión de la conducta del Nilo porque, sobre la base del conocimiento anterior, puede considerarse que la fusión de la nieve está relacionada de manera más o menos constante y de un modo determinado con el volumen de los ríos. Pero el número de visitantes de Naucratis en cada estación no es relevante para conocer la conducta del Nilo, porque no se conoce ninguna relación semejante entre los cambios en la cantidad de visitantes de una ciudad y las variaciones del volumen de los ríos. Una hipótesis es relevante para un problema si expresa determinados modos de conexión entre un conjunto de hechos que incluye el hecho investigado; en caso contrario, es irrelevante. No es posible formular reglas para hallar tales hipótesis relevantes. A menudo se cree que una hipótesis presenta tal relevancia pero la investigación ulterior demuestra que no es así. O bien se cree que ciertos hechos son ajenos a un problema y la investigación revela lo contrario. En ausencia de conocimiento sobre un tema, no podemos formular juicios de relevancia bien fundados.

Se desprende de lo anterior que las sugerencias valiosas para resolver un problema solo pueden provenir de quienes están familiarizados con los tipos de conexiones capaces de presentarse en el tema investigado. Así, a una persona que no conociera la relación entre las lluvias y el aumento del caudal de los ríos, no se le ocurriría atribuir a aquéllas la inundación periódica del Nilo. Las hipótesis que se le ocurren a un investigador son función, al menos en parte, de su conocimiento anterior.

El desarrollo deductivo de las hipótesis

Volvamos a examinar el procedimiento de Herodoto en términos de las distinciones que ya conocemos.

La búsqueda de una explicación de la conducta del Nilo era la búsqueda de una regla general que afirmara una conexión universal entre los hechos de esa especie y otros hechos de especies diferentes. La tarea que se propuso Herodoto fue mostrar que la regla general

sugerida bajo la forma de una hipótesis se aplicaba verdaderamente y de hecho al problema específico en estudio. ¿Cómo la llevó a cabo? El argumento que utilizó para rechazar la primera teoría puede formularse del siguiente modo.

Los defensores de la teoría discurren así:

- Si los vientos etesios soplan, el Nilo crece (regla general).
- El Nilo crece durante cien días al comenzar el solsticio de verano (hecho observado).
- Luego, los vientos etesios soplan al comenzar el solsticio de verano (suceso inferido).

La inferencia, por supuesto, no es válida como prueba concluyente. Pero sus defensores pueden sostener que dicho razonamiento es una presunta inferencia probable, de modo que la conclusión es probable sobre la base de los elementos de juicio. Pero Herodoto muestra que no es así. Señala que hay ocasiones en las que el Nilo crece (hecho observado) y los vientos etesios no soplan. Obviamente, nuestra regla general no explica este caso. Concluye, pues, que la hipótesis de los vientos no siempre explica la inundación del río. Pero no se contenta con esto, pues, quizás el defensor de la teoría se considere satisfecho con una explicación de la inundación que no sea invariable. Herodoto mostró, además, que las consecuencias lógicas de la teoría de los vientos etesios eran contrarias a los hechos conocidos. Para ello, tuvo que señalar algunas de las otras consecuencias de esta teoría descubriendo lo que ésta implicaba.

Su razonamiento sigue así.

- Si los vientos etesios provocaran inundaciones, otros ríos se comportarían como el Nilo (regla elaborada).
- Estos otros ríos no se desbordan (hecho observado).
- Luego, los vientos etesios no provocan invariablemente inundaciones.

Esta inferencia es un silogismo hipotético mixto. Herodoto demuestra, pues, que la teoría de los vientos etesios no puede considerarse una explicación satisfactoria del problema.

En su rechazo de la primera teoría, Herodoto se vio obligado a elaborarla deductivamente. Puede verse con mayor nitidez aún la importancia de ese paso si examinamos su rechazo de la tercera teoría. Enunciémosla del siguiente modo: Si hay fusiones periódicas de las nieves en el interior de Africa, entonces el Nilo se inundará periódicamente. Herodoto rechaza esta explicación, no porque pueda observar realmente la ausencia de nieve en Africa Central, sino porque puede observar ciertos hechos que, según él, son consecuencia de que el Africa central sea una región cálida. Y puesto que rechaza la posibilidad de las nevadas en lugares cálidos, también rechaza la teoría de la fusión de las nieves como causa de la conducta del Nilo. Reformulemos parte de su razonamiento:

- Si soplan vientos cálidos desde una región, entonces esta región es en sí misma cálida (regla general).
- Los vientos provenientes del interior de Africa son cálidos (hecho observado).
- Luego, el interior de Africa es cálido (hecho inferido)
- Si en una región hay nevadas, entonces esta región no puede tener un clima cálido (regla).
- El interior de Africa es cálido (hecho inferido de la inferencia anterior)
- Luego, no hay nevadas en el interior de Africa (hecho inferido).

Se concluye del análisis que la elaboración deductiva de una hipótesis debe seguir a su formulación, pues sólo podemos descubrir todo el significado de una hipótesis (es decir, si es relevante para el problema y si brinda una solución satisfactoria) descubriendo lo que implica. Vale la pena destacar que Herodoto rechaza la segunda teoría basándose simplemente, en que su formulación es oscura, por lo que resulta imposible descubrir lo que implica.

El estudio de Galileo sobre la caída de los cuerpos es uno de los que tuvo mayor influencia en los tiempos modernos. Demostró que, si

dejamos de lado la resistencia del aire, la velocidad con que los cuerpos caen al suelo no depende de su peso. Se sabía que los cuerpos aumentan de velocidad a medida que se aproximan al suelo, pero no se conocía la relación entre la velocidad, el espacio recorrido y el tiempo necesario para la caída. ¿Qué ley general ejemplificaba la caída de un cuerpo?

Galileo consideró dos hipótesis. Supuso, en primer lugar, que el aumento de la velocidad de un cuerpo en caída libre es proporcional a la distancia recorrida, pero afirmó (erróneamente, como sabemos ahora) que una de las consecuencias de tal suposición es que el cuerpo debe atravesar instantáneamente una parte de su trayecto. Creyendo que esto era imposible, rechazó la ley propuesta.

Analizó luego la hipótesis de que el cambio de velocidad de un cuerpo en caída libre durante un intervalo determinado es proporcional a éste. En la notación moderna puede expresarse esta suposición así: $v = at$, donde v representa la velocidad, a el aumento de velocidad por segundo, y t el número de segundos durante los cuales el cuerpo ha caído. También puede expresarse esto diciendo que la aceleración (definida como el cambio de velocidad en la unidad de tiempo) de un cuerpo en caída libre es constante.

Pero no era posible someter esta hipótesis a prueba directa. Galileo se vio obligado a reforzar su argumentación deduciendo otras consecuencias de la hipótesis de la aceleración, y mostrando que ellas sí podían ser verificadas en forma directa. Su argumentación se reforzaba porque con anterioridad se ignoraba que estas consecuencias fueran verdaderas. Por ejemplo, de la hipótesis $v = at$ dedujo la proposición siguiente: Las distancias que atraviesan los cuerpos en caída libre son proporcionales al cuadrado del tiempo de caída.

Es posible obtener ejemplos de esta regla por vía experimental. Así, un cuerpo que cae durante dos segundos recorre una distancia cuatro veces mayor que un cuerpo que cae solo durante un segundo; y un cuerpo que cae durante tres segundos recorre una distancia nueve veces mayor que este último. Esto refuerza los elementos de juicio en favor de la hipótesis de que los cuerpos caen con aceleración constante. De manera similar, Galileo dedujo otras proposiciones verificándolas todas con gran precisión: los elementos de juicio en favor de su

hipótesis, fueron en aumento. Pero ello solo fue posible después de explotar las implicaciones directamente verificables de la hipótesis.

Tales elementos de juicio, sin embargo, siguen siendo sólo probables. La hipótesis basada en ellos sólo es probable porque siempre existe la posibilidad lógica de hallar alguna otra hipótesis, tal que todas las proposiciones verificadas sean consecuencia de ella. Pero es la mejor hipótesis disponible, mientras nos permita inferir y descubrir una gran variedad de proposiciones verdaderas. Una teoría comprensiva queda establecida como verdadera con una alta probabilidad cuando se comprueba que diversas muestras de sus consecuencias lógicas son empíricamente verdaderas.

Resumamos ahora las características generales del procedimiento de Galileo. Vimos que eligió una parte de sus experiencias para someterlas a estudio. Sus experimentos resolvieron algunas de sus dudas. Pero la solución de estas dudas no hizo más que plantear otras nuevas. Si la conducta de los cuerpos en caída libre no depende de su peso, ¿de qué depende? Tanto los antiguos como sus contemporáneos habían establecido que ciertas propiedades de los cuerpos *no son relevantes* en lo que respecta a su conducta en la caída. Se suponía tácitamente que la temperatura, el olor, el color y las formas de los cuerpos son cualidades que no están relacionadas con esta cuestión. Los antiguos creían también que la distancia y la duración de la caída carecen de importancia, pero Galileo se negó a aceptar tal suposición, y se aventuró a formular hipótesis donde estas propiedades de los cuerpos eran los factores determinantes de su conducta.

Esta selección de los factores importantes se basó, en parte en su saber anterior. Si al igual que los antiguos, dejó de lado el color y el olor, fue porque la experiencia general parecía indicar que éstos pueden variar sin que se produzcan cambios concomitantes en la conducta del cuerpo al caer. Pero en parte, su selección se basó asimismo en la conjetura de que propiedades consideradas hasta entonces sin importancia en realidad la tenían. Galileo ya había realizado exitosas investigaciones en física, donde desempeñaban un papel fundamental las relaciones cuantitativas estudiadas exclusivamente por la matemática de su tiempo. También tenía cabal dominio de la filosofía antigua, y una confianza ilimitada en que el “Libro de la naturaleza” está escrito en caracteres geométricos. Por ende, no fue

con una mente no predispuesta, con una mente libre de fuertes convicciones e interesantes ideas, que trató de resolver para sí los problemas del movimiento. Tenía la certeza de que los únicos factores importantes en el estudio del movimiento son la velocidad, el tiempo, la distancia y ciertas proporciones constantes.

Podemos distinguir, pues, dos conjuntos de ideas utilizados por Galileo al estudiar el movimiento de los cuerpos. Uno de ellos, mucho mayor que el otro, consistía en sus convicciones matemáticas, físicas y filosóficas, que determinaron su elección de los problemas y de las propiedades relevantes. El otro conjunto constaba de las hipótesis especiales que elaboró para descubrir las relaciones entre los factores relevantes. El primero era una colección relativamente estable de creencias y prejuicios; es muy probable que se hubiera aferrado a ellos aunque la experimentación no hubiera confirmado ninguna de sus dos hipótesis. El segundo conjunto, en la etapa que atravesaba el desarrollo científico en su época estaba formado por una colección de ideas y creencias cuya verdad no estaba tan sólidamente determinada. Así, Galileo podía haber sacrificado las ecuaciones simples sobre la velocidad, tiempo, distancia y aceleración para elaborar otras más complejas, de haberlo exigido sus experimentos.

Fueron estas suposiciones especiales las que formuló conscientemente como hipótesis o teorías. Ahora debemos realizar un estudio más minucioso de las condiciones que deben satisfacer tales hipótesis.

Condiciones formales que deben satisfacer las hipótesis

1. En primer lugar, una hipótesis debe estar formulada de manera que puedan hacerse deducciones de ella y arribar a una decisión acerca de si explica o no los hechos considerados. Examinaremos esta condición desde dos puntos de vista.

a) A menudo resulta imposible verificar directamente una hipótesis; en verdad, ello sucede con las hipótesis más valiosas de la ciencia. Ninguna observación simple permite establecer que dos cuerpos se atraen en proporción inversa al cuadrado de sus distancias. Por lo tanto, la hipótesis debe anunciarse de tal modo que, por medio de las técnicas aceptadas de la lógica y la matemática, sea posible discernir con claridad sus implicaciones, para luego someterlas a verificaciones experimental.

Así, la hipótesis de que el Sol y el planeta Marte se atraen de manera proporcional a sus masas, pero inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias, no puede ser confirmada mediante la observación directa; pero es posible en cambio verificar una serie de consecuencias de esta hipótesis: que la órbita de Marte es una elipse, uno de cuyos focos lo ocupa el Sol, y que, por lo tanto, dadas ciertas condiciones iniciales, Marte debe ser observable en puntos diferentes de la elipse, en momentos determinados.

b) A menos que cada uno de los términos que constituyen una hipótesis denote un procedimiento experimental particular, es imposible someter la hipótesis a prueba experimental. La suposición de que el universo se contrae de modo tal que todas las longitudes se contraen en la misma proporción, carece de significado empírico si no tiene consecuencias verificables. De modo análogo, la hipótesis de que la fe en una Providencia promueve la vida virtuosa con mayor fuerza que la preocupación por el prójimo no tiene consecuencias verificables, a menos que concibamos un proceso experimental para medir la intensidad relativa de las “fuerzas” implicadas.

2. Una segunda condición, muy obvia, que debe satisfacer una hipótesis es la de ofrecer una respuesta al problema que originó la investigación. La teoría de que los cuerpos se desplazan en caída libre con aceleración constante explica la conducta conocida de los cuerpos en las cercanías de la superficie terrestre.

Sin embargo, sería un grave error suponer que las hipótesis falsas —es decir, aquellas cuyas consecuencias lógicas no concuerdan todas con la observación— son inútiles en todos los casos. Una hipótesis falsa puede dirigir nuestra atención hacia hechos o relaciones entre hechos antes insospechados, aumentando así los elementos de juicio en favor de otras teorías. La historia de la investigación humana está llena de hipótesis rechazadas falsas, pero que han cumplido un propósito útil. La teoría del flogisto en química, la teoría del calórico o sustancia específica del calor, la teoría corpuscular de la luz, la teoría del fluido eléctrico, la teoría contractual del Estado, la teoría asociacionista en psicología, etc. son algunos ejemplos de tales hipótesis útiles. Un ejemplo aún más evidente es el siguiente. Los antiguos babilonios

abrigaban muchas nociones falsas acerca de las propiedades mágicas del número siete. Sin embargo, su creencia en que los cuerpos celestes visibles a simple vista que se mueven entre las estrellas fijas debían ser siete, los llevó a buscar y hallar el planeta Mercurio, que rara vez resulta visible. El lógico inglés De Morgan observaba: “Las hipótesis erróneas, correctamente desarrolladas, han producido más resultados útiles que la observación carente de guía”.

3. Debe imponerse a las hipótesis otra condición fundamental. Como hemos visto, la teoría de la aceleración no sólo le permitió a Galileo explicar lo que ya sabía al formularla, sino también predecir la verdad de ciertas proposiciones, ignoradas y aun insospechadas en ese momento, y que serían reveladas por la observación. Pudo demostrar, por ejemplo, que si la aceleración de un cuerpo en caída libre es constante, la trayectoria de los proyectiles disparados con un cañón que formara un cierto ángulo con el horizonte debía ser una parábola. Las predicciones exitosas sirven para verificar una hipótesis, aunque, por supuesto, con ella no se la prueba más allá de toda duda.

Reviste suma importancia anunciar la hipótesis y sus consecuencias antes de todo intento de verificación. En primer lugar, porque hasta no enunciar la hipótesis no sabemos qué es lo que estamos tratando de verificar. Y en segundo lugar, porque si elegimos deliberadamente la hipótesis de modo que la confirme un conjunto de casos, no tenemos ninguna garantía de que será confirmada por otros casos. En tal circunstancia, no nos hemos precavido contra la falacia de la selección, y la “verificación” no constituirá una prueba de la hipótesis elegida. La función lógica de la predicción es permitir una genuina verificación de nuestras hipótesis, indicando, antes del proceso real de verificación, ejemplos que puedan verificarla.

Se hace evidente que una de las funciones de la verificación es suministrar elementos de juicios satisfactorios para eliminar algunas de las hipótesis que estamos considerando, o todas ellas. [...] Si una hipótesis expresa una conexión universal, debe resistir todo posible intento de verificación. Ahora bien: a menudo sucede que quede más de una hipótesis después de un número finito de verificaciones, como en nuestro caso, por lo cual no se puede afirmar una con exclusión de las otras. Pero repitiendo el proceso, podemos tratar de eliminar todas las alternativas relevantes para una hipótesis. Este es un ideal de toda

investigación, mas rara vez se lo puede concretar. Y debemos considerarnos en verdad afortunados si las hipótesis, que juzgamos en un comienzo relevantes no quedan eliminadas en su totalidad con el desarrollo de la indagación.

Formular una hipótesis de modo tal que sea posible descubrir sus consecuencias materiales significa, pues, que la hipótesis debe ser verificable. En el momento en que se la elabora quizá sea imposible verificarla realmente a causa de dificultades prácticas o técnicas. Sus consecuencias lógicas pueden ser tales que transcurra mucho tiempo entre el momento del hacer la inferencia y el momento de producirse la consecuencia predicha. Así, fue necesario un eclipse total de Sol para someter a prueba una de las consecuencias de la teoría de la relatividad. Pero si bien una hipótesis no puede con frecuencia ser comprobado de inmediato, y aunque nunca puede ser demostrada, si afirma una conexión verdaderamente universal, debe ser verificable. Como ya hemos observado, es menester, enunciar, sus consecuencias en términos de operaciones empíricas determinadas.

Se sigue de lo anterior que si una hipótesis no es explícita o implícitamente diferenciadora en el orden que especifica, no se la puede considerar satisfactoria. Una hipótesis debe ser refutable, si se especifica un orden de conexión y no otro. Consideremos la proposición *Todos los hombres son mortales*, que es una hipótesis para explicar la conducta de los hombres. ¿Es ésta una formulación satisfactoria? Si encontramos un hombre que tiene doscientos años, ¿nos haría dudar este caso de la universalidad de la teoría que afirma la mortalidad de los hombres? Un defensor de la teoría pensaría ciertamente que no. Pero, ¿qué sucede si encontramos un caballero tan viejo como uno de los Picapiedras? Quizás el defensor de la teoría aún sostenga que su hipótesis es perfectamente compatible con dicho caso. Estamos habilitados a creer entonces, que la hipótesis ha sido formulada de tal modo que, por grande que sea la edad de cualquier hombre que podamos imaginar no sería posible refutarla. En tal caso, para que sea satisfactoria, es menester modificarla de modo que se pueda efectuar una determinación experimental entre ella y cualquier alternativa contraria.

Si una hipótesis tiene consecuencias verificables, no puede pretender explicar cualquier cosa que suceda: las consecuencias que es posible observar si es verdadera no pueden ser todas iguales a las

consecuencias verificables de una hipótesis contraria. En nuestro ejemplo, la hipótesis se modificará de manera apropiada si se la formula del siguiente modo: *Todos los hombres mueren antes de llegar a los doscientos años*. En esta forma, un caballero de quinientos años refutaría definitivamente la hipótesis.

Muchas teorías que gozan del favor popular no satisfacen la condición mencionada. Así, las teorías según las cuales todo lo que sucede es obra de la Providencia o la voluntad del yo inconsciente son insatisfactorias, desde el punto de vista que estamos considerando. Pues interpretar un “suceso” como obra de la Providencia o del yo inconsciente después de ocurrido, no significa verificar la teoría. En realidad, están tan pobremente formuladas que no podemos decir cuales son sus consecuencias lógicas y, por lo tanto, cuál sería la naturaleza de algún suceso futuro. No nos permiten predecir. No son verificables. No determinan cuál es su diferencia con respecto a otras teorías manifiestamente contrarias, por ejemplo, la de que todo lo que sucede es fortuito.

4. ¿Qué sucede si tenemos dos hipótesis tales que todas sus consecuencias realmente verificables son iguales?

Debemos distinguir dos casos en los que pueda suceder esto. Supongamos, como primer caso, que dos investigadores desean determinar la índole de una curva cerrada trazada en el suelo. Uno de ellos afirma que las distancias de los puntos de la curva con respecto a un cierto punto fijo son todas iguales. El otro sostiene que el área encerrada por la curva es la mayor área que puede encerrar una curva de esa longitud. Puede demostrarse que las consecuencias lógicas de la primera hipótesis son las mismas que las de la segunda. Desde el punto de vista de la lógica, las hipótesis no difieren. Si los investigadores se pelean defendiendo sus respectivas teorías, estarán peleándose por palabras o por preferencias estéticas relativas a diferentes formulaciones de lo que es, en esencia, la misma teoría.

Pero puede suceder que las dos teorías no sean lógicamente equivalentes, aunque no sea posible someter a prueba experimental las consecuencias en las que difieren. Tal situación se presenta cuando nuestros métodos de observación no son suficientemente sensibles como para diferenciar las consecuencias lógicas distintas. Por ejemplo, la teoría newtoniana de la gravitación, afirma que dos cuerpos se

atraen en proporción inversa a la “segunda potencia” de sus distancias; una teoría alternativa podría afirmar que la atracción es inversamente proporcional a la potencia 2,0000008 de sus distancias. No estamos capacitados para detectar experimentalmente la diferencia entre ambas. ¿Qué condición adicional debemos imponer para decidir, en tales casos, entre hipótesis rivales?

Examinaremos la siguiente respuesta: la más simple de las dos hipótesis es la más satisfactoria. Un ejemplo conocido es la teoría heliocéntrica formulada por Copérnico para explicar los movimientos aparentes del Sol, la Luna y los planetas. La teoría geocéntrica de Ptolomeo había sido formulada con el mismo propósito. Ambas explican tales movimientos, y en el siglo XVI, aparte de la cuestión relativa a las fases de Venus, ninguna de ellas permitía efectuar una predicción que no pudiera hacerse también con la otra. En verdad, se ha demostrado que para muchas aplicaciones prácticas son matemáticamente equivalentes. Además, la de Ptolomeo tenía la ventaja de no contradecir el testimonio de los sentidos: los hombres podían “ver” la salida del Sol en el este y su puesta en el oeste; desde el punto de vista del “sentido común”, la teoría heliocéntrica es una explicación muy complicada; sin embargo, Copérnico y muchos de sus contemporáneos consideraron que era “más simple” que la antigua teoría de Ptolomeo, y que por ello debía preferírsela. ¿Qué debemos deducir de todo esto? Analicemos qué se entiende por “simplicidad”.

a) A menudo se confunde “simplicidad” con “familiaridad”. Las personas sin preparación en física y matemática consideran, sin duda, que una teoría geocéntrica de los cielos es más simple que una teoría heliocéntrica, ya que en el último caso debemos modificar la interpretación habitual de lo que se supone que vemos con nuestros ojos. La teoría de que la Tierra es plana es más simple que la teoría de que es redonda para el hombre inculto, pues le resulta difícil concebir que en las antípodas las personas caminen sobre la superficie terrestre sin caerse. Pero la “simplicidad” entendida de este modo no puede servirnos de guía para elegir entre hipótesis rivales. Una hipótesis nueva y, por lo tanto, no familiar para nosotros, nunca sería elegida por su simplicidad. Lo que es simple para una persona no lo es para otra. Decir que la teoría de la relatividad de Einstein es más simple (en este sentido) que la física de Newton es manifiestamente absurdo.

b) Se dice que una hipótesis es más simple que otra si el número de tipos independientes de elementos de la primera es menor que el de la segunda. Puede decirse que la geometría plana es más simple que la geometría del espacio, no solamente porque a la mayoría de las personas le resulta más fácil de estudiar, sino también porque en esta última se estudian configuraciones en tres dimensiones independientes, mientras que en la primera solo hay dos. Por el mismo motivo las teorías de la física son más simples que las de la biología, y estas últimas más simples que las de las ciencias sociales.

Suele creerse que una teoría de la conducta humana que postule un único impulso innato, por ejemplo, el deseo sexual o la tendencia a la autoconversación, es más simple, en este sentido, que una teoría en la cual se postulen varios impulsos innatos independientes. Pero esta creencia es errónea, porque en el primer caso es necesario introducir suposiciones o consideraciones especiales relativas al impulso único a fin de explicar la variedad observada de tipos de conducta. Por lo tanto, a menos que se enuncien explícitamente todas las suposiciones de una hipótesis, junto con las relaciones entre ellas, resulta imposible saber si es, de hecho, más simple que otra.

c) Nos vemos precisados, pues, a distinguir otro sentido de la palabra "simplicidad". Dos hipótesis pueden ser ambas capaces de introducir orden en un dominio determinado. Pero supongamos que una de ellas sea capaz de mostrar que existe relación entre hechos diversos del dominio sobre la base de las implicaciones sistemáticas de sus suposiciones, mientras que la otra solo puede postular un orden sobre la base de suposiciones especiales formuladas ad hoc [artificialmente] y no vinculadas entre sí de una manera sistemática. Se dice entonces que la primera teoría es más simple que la segunda. La simplicidad en este sentido es una simplicidad de sistema. Una hipótesis simple, en tal sentido de la expresión, se caracteriza por su generalidad. Se dirá entonces que una teoría es más simple o general que otra si puede presentar las conexiones que investiga como casos especiales de las relaciones que considera fundamentales, mientras que la otra no lo logra.

La teoría heliocéntrica, en especial tal como la desarrolló Newton, es más simple, desde el punto de vista sistemático, que la de Ptolomeo. Podemos explicar la sucesión del día y la noche y de las estaciones, los

eclipses solares y lunares, las fases de la Luna y los planetas interiores, la conducta de los giróscopos, el aplastamiento de la Tierra en los polos, la precisión de los equinoccios y muchos otros hechos en función de las ideas fundamentales de la teoría heliocéntrica. Si bien la astronomía ptolemaica también puede explicar estos hechos, debe establecer suposiciones especiales en algunos casos, y tales suposiciones no se hallan vinculadas sistemáticamente con el tipo de relación considerada fundamental.

La simplicidad sistemática es el tipo de simplicidad que se persigue en las etapas superiores de la investigación científica. Si no tenemos presente esta noción, los cambios que se producen en la ciencia pueden parecernos arbitrarios. Pues con frecuencia se introducen cambios teóricos con el único propósito de hallar alguna teoría más general que explique lo que hasta ese momento explicaban dos teorías diferentes e inconexas. Y cuando se dice que debemos preferir la más simple de dos teorías, debe entenderse que se alude a la simplicidad sistemática. Pronto veremos que no es fácil, en una etapa avanzada de una ciencia, encontrar una hipótesis satisfactoria para explicar cierta dificultad. Pues no toda hipótesis resulta apropiada. La explicación que se busca debe concebirse en términos de una teoría análoga, en ciertos aspectos, a teorías ya reconocidas en otros dominios, exigencia evidentemente razonable, porque nos acerca al ideal de un sistema coherente de explicaciones que abarque un extenso dominio de hechos. En ese sentido, la teoría general de la relatividad de Einstein, aunque más compleja desde el punto de vista matemático que la teoría newtoniana de la gravitación, es más simple que ésta. A diferencia de la teoría newtoniana, la de Einstein no introduce fuerzas ad hoc.

En un estadio avanzado de una ciencia es, empero, difícil apreciar la simplicidad sistemática relativa de dos teorías. Aquí debemos dar cabida a un elemento estético imponderable en la elección entre teorías rivales. Pero aunque cuando se trata de teorías muy generales, hay un elemento de arbitrariedad, dicha arbitrariedad está limitada, pues la teoría elegida debe someterse a las otras condiciones formales que examinamos

Hechos, hipótesis y experimentos decisivos

La observación

Dijimos que una hipótesis debe ser verificable; la verificación se efectúa mediante la experimentación u observación sensorial. Pero observar no es tan sencillo como se cree a veces. El análisis de lo que ello supone nos permitirá echar a un lado a la errónea concepción de que puede promoverse el conocimiento mediante la mera recolección de hechos.

1.- Aún la observación aparentemente fortuita exige el uso de hipótesis para interpretar lo que se percibe. Podemos afirmar, en efecto, que “vemos” las estrellas fijas, el eclipse de la Luna por la Tierra, la recolección de néctar por parte de las abejas para elaborar miel o una inminente tormenta. Pero si recordarnos cuán relativamente recientes son, en la historia humana estas explicaciones de lo que vemos, nos sentiremos menos dispuestos a sostener que vemos, sencilla y literalmente, esas cosas sin ayuda de ninguna teoría. A menos que identifiquemos la observación con una experiencia inmediata e inefable, incluso en ella debemos emplear hipótesis. Pues los objetos que vemos, oímos, etc., sólo adquieren significado para nosotros cuando vinculamos lo que está dado directamente en la experiencia con lo que no lo está. Esa mancha brillante de luz blanca contra el azul oscuro del cielo tiene una calidad incomunicable; pero también significa una estrella situada a muchos años luz de distancia. En la observación significativa, interpretamos lo que se da inmediatamente en los sentidos. Clasificamos los objetos de la percepción (llamamos a esto un “árbol”, a aquella una “estrella”, etc.) en virtud de semejanzas que consideramos significativas a causa de las teorías que sostenemos. Así, una ballena será clasificada como mamífero, y no como pez, a pesar de ciertos parecidos superficiales entre las ballenas y los peces.

2.- La observación puede ser errónea. El testimonio contradictorio de testigos que pretenden haber “visto” el mismo suceso es un tema conocido de psicología aplicada. En nuestros tribunales de justicia, todos los días los hombres juran con buena fe haber visto cosas que, luego, en un interrogatorio minucioso, admiten no haber estado en condiciones de observar. Anatole France, en *La isla de los pingüinos*,

incluye un trozo satírico sobre este tema. Cuando a los aldeanos de Alca se les pregunta por el color del dragón que, amparado en la oscuridad de la noche, había provocado una gran destrucción en el pueblo el día anterior, responden:

- Rojo
- Verde
- Azul
- Amarillo

- Su cabeza es un verde brillante, sus alas son de anaranjado brillante con matices rosados, sus patas son gris perla, sus cuartos traseros y su cola tiene rayas marrones y rosadas, y su panza es de un amarillo claro con manchas negras.

- ¿Su color? No tiene ningún color.
- Su color es el de los dragones.

No cabe asombrarse de que después de oír estos testimonios los Ancianos no supieran qué decisión tomar. Pero si toda experiencia sensorial no interpretada fuera observación, ¿cómo podría producirse el error?

3.- La hipótesis que orienta la observación determina también, en gran medida los factores del objeto de estudio que habrán de destacarse. Por esta razón, cuando no se conocen las condiciones en las cuales se realiza una observación, ésta es muy poco confiable, si no inútil. Los cambios pueden estudiarse mejor variando un solo factor cada vez. ¿De qué sirve observar que cierto líquido hierve a 80°C, si no observamos también su densidad y la presión atmosférica? Evidentemente, sólo una teoría nos llevará a observar todos los factores importantes; sólo una teoría nos indicará si la presión atmosférica es un factor único o si en él pueden diferenciarse varios, como en la fuerza se distinguen la magnitud y la dirección.

4.- Todas las observaciones (excepto la más rudimentarias) se realizan con el auxilio de instrumentos especialmente elaborados. Es preciso conocer la naturaleza y las limitaciones de tales instrumentos. Sus lecturas deben ser “corregidas” e interpretadas a la luz de sistemas teóricos comprensivos. Pierre Duhem, físico francés, señala estos puntos de manera notable. “Entrad a un laboratorio; acercaos a la mesa llena de toda suerte de aparatos, una pila eléctrica, un trozo de alambre de cobre recubierto de seda, pequeñas tazas con mercurio, carreteles

de alambre, una barra de hierro que sostiene un espejo, etc. Un experimentador está introduciendo en pequeñas aberturas el extremo metálico de un alfiler cuya cabeza es de ébano; la barra de hierro oscila y el espejo que sostiene arroja un haz luminoso sobre una lámina de celuloide; el movimiento de esta mancha luminosa hacia uno y otro lado permite al físico observar minuciosamente las oscilaciones de la barra de hierro. Pero preguntadle qué está haciendo. ¿Responderá “estoy estudiando las oscilaciones de una barra de hierro que sostiene un espejo”? No, responderá que está midiendo la resistencia eléctrica de los carreteles. Si os asombráis, si le preguntáis qué significan sus palabras, qué relación tienen con los fenómenos que ha estado observando y que vosotros habéis observado al mismo tiempo que él, os responderá que vuestra pregunta exige una larga explicación, y que sigáis un curso de electricidad”.

¿No se impone, pues, revisar la tajante distinción que se establece con frecuencia entre hechos e hipótesis? Como hemos visto, no se llega a los hechos simplemente por medio de los órganos de los sentidos. ¿Qué son, pues los hechos? ¿Son, como se afirma a veces, hipótesis que tienen considerables elementos de juicio a su favor? Pero en tal caso, ¿consisten estos elementos de juicio solamente en otras hipótesis en favor de las cuales hay considerables elementos de juicio, y así al infinito?

Los hechos

Obviamente, debemos distinguir entre diferentes sentidos de la palabra “hecho”, que denota al menos cuatro cosas distintas.

1.- A veces entendemos por “hechos” ciertos elementos que discernimos en la percepción sensorial. En este sentido, son hechos lo denotado por las expresiones “esta banda de color se encuentra entre esas dos bandas”, “el extremo de esta aguja coincide con esa marca de la escala”, etc. Pero debemos observar que ninguna investigación comienza con hechos definidos de este modo. Buscamos analíticamente tales elementos sensoriales, con el propósito de hallar signos contables que nos permitan someter a prueba nuestras inferencias. Toda observación apela en última instancia a ciertos elementos aislables en la experiencia sensorial. Nos lanzamos en pos de tales

elementos porque es posible lograr el acuerdo de todas las personas sobre ellos.

2.- A veces “hecho” denota la proposición que interpreta lo dado en la experiencia sensorial. Esto es un espejo, ese sonido es la campanilla del comedor, este trozo de oro es maleable, son, en este sentido, hechos. Toda investigación debe presuponer una cantidad de proposiciones de esta especie, aunque a medida que progresa podamos rechazar algunas de ellas por considerarlas falsas.

3.- “Hecho” también denota una proposición que afirma una sucesión o conjunción invariable de caracteres: “El oro es maleable”; “El agua se solidifica a cero grado centígrado”; “El opio es un soporífero”. “La mujer es inconstante”, en cambio, no sería, en este sentido, un hecho, o al menos es un hecho discutido. Lo que se considere un hecho en este sentido (o aún en el anterior) depende evidentemente de los elementos de juicio que hayamos logrado acumular; es decir, que depende, en última instancia, de los hechos en el primero de los sentidos indicados, junto con ciertas presuntas conexiones universales entre ellos. Luego, que una proposición sea considerada un hecho o una hipótesis depende del estado de nuestros elementos de juicio. La proposición *La Tierra es redonda* en una época no contaba con elementos de juicio conocidos en su favor; más tarde, se la utilizó como hipótesis para ordenar una cantidad de fenómenos menos directamente observables; hoy se la considera un hecho porque dudar de ella significaría introducir confusión en otros sectores de nuestro conocimiento.

4.- Finalmente, “hecho” denota esas cosas que existen en el espacio o el tiempo (así como las relaciones entre ellas) en virtud de las cuales una proposición es verdadera. En este sentido, los hechos no son verdaderos ni falsos, simplemente son: los podemos aprehender en parte mediante los sentidos; pueden tener un desarrollo en el tiempo, pueden empujarse unos a otros, destruirse unos a otros, crecer, desaparecer; o bien pueden no ser afectados por los cambios. Los hechos en este cuarto sentido, son distintos de las hipótesis que formulamos acerca de ellos. Una hipótesis es verdadera, y es un hecho en el segundo o el tercer sentido cuando enuncia cuál es el hecho en este cuarto sentido.

Por consiguiente, la distinción entre hecho e hipótesis nunca es tajante cuando por “hecho” se entiende una proposición que puede ser verdadera, pero con respecto a la cual los elementos de juicio jamás serán completos. La función de una hipótesis es llegar a los “hechos” en el cuarto sentido. Pero esta función solo se cumple parcialmente en cualquier etapa de nuestro saber. Sin embargo, como observó Joseph Priestley: “Bastan teorías muy defectuosas e imperfectas para sugerir experimentos útiles que sirven para corregirlas y dar origen a otras más perfectas. Estas, luego, motivan nuevos experimentos que nos llevan aún más cerca de la verdad; y debemos contentarnos con este método de aproximación; debemos considerarnos felices si hacemos algún progreso real mediante este lento procedimiento”.

Los experimentos decisivos

A la luz de estas observaciones sobre la distinción entre hecho e hipótesis, debemos reconsiderar y aclarar lo que dijimos más arriba sobre la verificación de hipótesis. Se cree comúnmente que un solo experimento decisivo permite a menudo decidir entre dos teorías rivales. Si una de las teorías —se arguye— implica una proposición experimentalmente verificable que contradice a la implicada por una segunda teoría, el experimento nos habilitará para eliminar definitivamente una de las teorías.

Consideremos dos hipótesis: H_1 , la luz consiste en partículas muy pequeñas que se mueven a enormes velocidades; y H_2 , la luz es una forma de movimiento ondulatorio. Ambas hipótesis explican una clase de sucesos E , por ejemplo, la propagación rectilínea de la luz, su reflexión y su refracción. Pero H_1 implica la proposición P_1 , según la cual la velocidad de la luz en el agua es mayor que en el aire; mientras que H_2 implica la proposición P_2 , según la cual sucede lo contrario. Ahora bien, P_1 y P_2 no pueden ser ambas verdaderas. Aparentemente, tenemos aquí un caso ideal para realizar un experimento decisivo. Si se confirma P_2 entonces P_1 quedará refutada y podremos afirmar válidamente que la hipótesis H_1 no puede ser verdadera. En 1850, la técnica experimental de la óptica física había alcanzado un alto grado de refinamiento, y Foucault pudo demostrar que la luz se desplaza con mayor rapidez en el aire que en el agua. Según la doctrina de los

experimentos decisivos, la hipótesis corpuscular debía ser desterrada para siempre. [Y así ocurrió por algún tiempo].

Por desgracia las cosas no son tan simples: la física contemporánea ha vuelto a la hipótesis corpuscular de Newton para explicar ciertos fenómenos ópticos. ¿Cómo puede ser esto? ¿Dónde está el error en la lógica aparentemente impecable de la doctrina de los experimentos decisivos? La respuesta es simple, pero dirige una vez más nuestra atención hacia la íntima relación existente entre la observación y la teoría. A fin de deducir la proposición P_1 de H_1 y poder realizar el experimento de Foucault, es necesario formular muchas otras suposiciones, K , acerca de la naturaleza de la luz y de los instrumentos que empleamos en la medición de su velocidad. Por consiguiente, el experimento no somete a prueba solamente a H_1 , sino también a K . La lógica del experimento decisivo es, pues, la siguiente: si H_1 y K , entonces P_1 ; pero P_1 es falsa; por lo tanto, o H_1 es falsa o K es (total o parcialmente) falsa. Si tenemos buenas razones para creer que K no es falsa, entonces H_1 queda refutada por el experimento. Pero en realidad, este pone a prueba a H_1 y K . Si en bien de la coherencia de nuestro conocimiento consideramos necesario revisar las suposiciones contenidas en K , el experimento decisivo debe ser reinterpretado, y en tal caso no refuta necesariamente a H_1 . Por ende, ningún experimento pone a prueba una hipótesis aislada, sino *todo* el conocimiento relevante para la cuestión que esté lógicamente implicado en ésta. Si se sostiene que refuta una hipótesis aislada, se debe a la creencia de que el resto de las suposiciones se halla bien fundado. Pero esta creencia puede ser errónea.

Este punto tiene suficiente importancia como para merecer que lo aclaremos mejor. Supongamos que queremos saber si nuestro "espacio" es euclidiano, esto es, si la suma de los ángulos de un triángulo físico es igual a dos rectos. Elegimos como vértices de dicho triángulo tres estrellas fijas, y como lados las trayectorias luminosas que unen los vértices. Mediante una serie de mediciones podemos calcular la magnitud de los ángulos y obtener luego su suma; supongamos que ésta resulta menor que dos ángulos rectos. ¿Debemos concluir que la geometría euclidiana no es verdadera? En absoluto. Hay por lo menos tres alternativas:

1.- La diferencia entre los valores teóricos y los “observados” de la suma angular podría explicarse con la hipótesis de que hubo errores en la medición.

2.- Podemos concluir que la geometría euclidiana no es físicamente verdadera.

3.- Podemos concluir que las “rectas” que unen los vértices del triángulo entre sí y con nuestros instrumentos de medición no son “realmente” líneas rectas; esto es, que la geometría euclidiana es físicamente verdadera, pero la luz no se propaga a lo largo de rectas euclidianas en el espacio interestelar.

Si aceptarnos la segunda alternativa, lo hacemos en la suposición de que la luz se propaga en línea recta, suposición que, si bien cuenta con el apoyo de muchos elementos de juicio, no es indudable. La aceptación de la tercera puede ser consecuencia, o bien de tener elementos de juicio independientes para negar la propagación rectilínea de la luz, o bien de que con ella se introduce en el cuerpo de nuestro conocimiento físico mayor coherencia o sistema.

En definitiva: los “experimentos decisivos” sólo son decisivos en la refutación de una hipótesis si existe un conjunto relativamente estable de suposiciones a las que no deseamos renunciar. Pero nada garantiza, por las razones enunciadas, que nunca se abandonarán algunas de ellas.

El papel de la analogía en la formación de hipótesis.

[¿Hay algún modo de descubrir hipótesis satisfactorias? ¿Existen reglas que permitan al investigador proveerse de hipótesis “buenas”? Veamos la respuesta de De Morgan al respecto:] “Una hipótesis no se obtiene por medio de reglas, sino gracias a esa sagacidad imposible de describir, precisamente porque quienes la poseen no siguen, al actuar, leyes perceptibles para ellos mismos” [...].

[La creación de hipótesis se asocia a] la observación de analogías o semejanzas entre los hechos que tratamos de explicar y aquellos cuya explicación ya conocemos. Nos sentimos tentados a preguntar: ¿qué clase de analogías? Siempre hallaremos algunas, pero no todas ellas son significativas. Sin embargo, no deja de ser cierto que si podemos usar

el conocimiento adquirido en nuevos encuadres, es necesario destacar y sacar provecho de las analogías.

Ahora bien: es un error suponer que siempre observamos explícitamente analogías precisas y luego desarrollamos de manera racional sus consecuencias. Por lo general, partimos de una sensación no analizada de vaga analogía, que permite descubrir una analogía explícita en la estructura o la función sólo mediante una cuidadosa investigación. No empezamos observando la identidad estructural de la curvatura de un brazo humano y de la curvatura de una pipa, para luego caracterizarla como un “codo”. Tampoco observamos primero la oblicuidad de los ojos y la delgadez de los labios de los orientales, para luego concluir que todos ellos se parecen entre sí. Por lo común, sucede al revés.

Además, no siempre se nos ocurren consideraciones analógicas, cuando deseamos formular una hipótesis satisfactoria. Pues si bien una hipótesis suele ser satisfactoria, si presenta ciertas analogías estructurales con otras teorías bien establecidas, no es fácil formular hipótesis que cumplan con esta condición. Al estudiar la conducta de los gases, nuestra meta es hallar una teoría análoga a la ya establecida con respecto a la materia en movimiento, tarea nada fácil, como lo demuestra la historia de la teoría cinética de los gases. La analogía de una hipótesis con otras es, pues, una condición que le imponemos, en beneficio de la simplicidad sistemática de nuestro conocimiento, antes de que tal analogía contribuya a realizar algún descubrimiento. Formular una hipótesis análoga a otras es toda una conquista y constituye el punto de partida de nuevas investigaciones.

MISERIA DE LA METODOLOGÍA*

Andrés Molina

I

Las crisis suelen ser consideradas como fenómenos extraordinarios a la vez que indeseables. Sin embargo, son más próximas a nosotros de lo que estamos dispuestos a admitir. Toda caracterización de las crisis o de su enunciación, pone a la incertidumbre como nota central de las mismas. Y es que en los momentos de crisis, las creencias normales no parecen sostenerse en pie, se tambalean y se derrumban. Toda visión de la crisis, vista como gran acontecimiento, como hecho raro, tiene que ser cuestionada, toda vez que se acumulan evidencias que confirman que las crisis son elementos de presencia permanente en todo cuanto ocurre a nuestro alrededor, incluso en nuestra propia forma de pensar en la realidad que nos rodea. La diferencia entre las “grandes” y “pequeñas” crisis, no pueden ser sino de grado. En este orden, las ideas de Kuhn se ajustan a un modelo de la crisis en donde se las ve como singularidades o rupturas sobre un fondo de certeza y trabajo apacibles.

Aquí sostenemos una concepción diferente. Lo raro no es la crisis, que siempre y en todo lado nos ha acompañado, sino la estabilidad de las ideas, la creencia en los logros ciertos, la fe en un desarrollo desde lo incierto hasta lo autoevidente que constituye la norma de la racionalización invocada desde el siglo XVII. Conforme a estas ideas, al presentar una concepción del saber científico y su práctica como un

(*) Trabajo presentado en los “Encuentros INTEC-Bonó de filosofía”, 1991

espacio de modelos en competencia, los conceptos de verdad científica, como aproximación certera de lo real y de método, como instrumento cristalino que garantizaría esa aproximación, aparecerán no sólo como innecesarios o simples subproductos de la actividad cognoscitiva y transformadora de la ciencia sino, ¡incluso!, opuestos a la historia real del conocimiento científico. Verdad y método constituyen una pesada carga impuesta por el iluminismo al quehacer científico.

La historia del conocimiento científico, ese escenario complejo que constituye el marco en donde se producen y se difunden las teorías sobre lo real, pone en entredicho el modelo de desarrollo fundado en el concepto de verdad como aproximación asintótica a la realidad. Cada día me parece más seductora la idea de abandonar las pretensiones de la verdad científica objetiva, y junto a ella al método, como conjunto de reglas, estándares o patrones para el descubrimiento científico. El sueño dogmático de la ciencia, conforme al cual, cuantos más conocimientos acumulados tanto más próximos estamos a una supuesta verdad objetiva, me luce, día tras día, una caricatura, una imagen deformada, opaca, de todo cuanto constituye la riqueza del recurso real del descubrimiento científico.

No hay verdades objetivas, por cuanto la verdad es una construcción, una “cosa trabajada” por, y desde, las comunidades científicas y no un ente intemporal, trascendente, que espera ser tomado por quienes lo buscan afanosamente. La verdad científica no es una presa felizmente alcanzada por un cazador confiado en sus artes inequívocas. El encuentro invocado de la verdad y el mundo es un imposible.

En la construcción de los modelos interpretativos de lo real, unos mejores que otros, no más ciertos, valen las más variadas estrategias, las más sinuosas heurísticas, incluso las ideas más locas. La ciencia aparece como más pragmática que metódica, más próxima a una sabiduría, viva, fabuladora u oportunista, que a un proceder ordenado, en observancia de reglas o principios metodológicos preexistentes. Bachelard una vez observó que la insistencia en todo momento en lo razonable, a menudo se convierte en un obstáculo para el avance del saber. La observancia exigente de lo razonable se torna en incapacidad para comprender de otra manera. “Se confunde casi siempre la acción decisiva de la razón con el recurso monótono a las certidumbres de la memoria” (Bachelard).

No se trata de un rechazo de la razón, sino de entenderla desde el punto de vista de la invención, de su extraordinaria capacidad creadora, en vez de reconocer en ella un estéril y aburrido conjunto de algoritmos. Hay que contar con esa razón “acrobática y sin red” de que nos habla Atlan. Una razón que no está de pie sobre lo seguro e inambiguo, sobre el suelo de los absolutos. Una razón que no tema a las crisis, que viva en las crisis, por ellas o contra ellas.

El desarrollo de la ciencia no es el proceso unitario y sin fisuras de una gran lógica que funda y articula verdades irrefutables y que va exorcizando, unos tras otros, a los demonios del error o lo confuso — nada asegura que la verdad de hoy no va a ser la falsedad o el absurdo de mañana. No existe un juez imparcial capaz de juzgar a las teorías de acuerdo a su grado de acercamiento a lo real. No es posible tal comparación porque está ausente, en todo caso, el término con el cual se comparan. Abandonar el límite de la verdad objetiva no debe conducirnos al otro extremo, el del relativismo, tanto o más pernicioso. Una y otra posición son caras de una misma moneda— la metafísica de la verdad absoluta confía ciegamente en la capacidad logística de la razón; el relativismo se abandona a la anarquía en cuanto comprueba la inexistencia de reglas formales para la obtención de la verdad o para comparar modelos o interpretaciones diferentes en términos de su grado de veracidad.

La historia de la ciencia permite comprobar allí la presencia de un falso dilema: Ni salvar la razón universalista, juez impoluto del conocimiento, ni renunciar a la razón y no ver diferencias entre una explicación científica y una necesidad. Alguien una vez me señaló no ver las ventajas interpretativas que ofrecía la física de Newton para explicar la atracción de los cuerpos mejor que la existencia de un espíritu que habita la materia. La explicación mecánica y animista son ambas legítimas; ambas nacen de una misma actitud de conocer el mundo. Daría lo mismo, si nos quedásemos en el plano de la simple lectura del fenómeno, apelar a un espíritu —idea incluso más próxima a nosotros— que a una extraña propiedad atractiva de la materia. Pero el animismo no es capaz de predecir con éxito el tipo de movimiento que cabe esperar cuando una masa se pone en presencia de otra; ni es capaz de relacionar esta fuerza gravitatoria medible con otros fenómenos del entorno como las mareas; ni nos puede conducir a la

utilización técnica como lo hace la teoría de Newton cuando sirve de soporte a la puesta en órbita de satélites artificiales. De inmediato se reconoce que la superioridad de la teoría científica frente al animismo está en su poder predictivo y en la eficacia práctica de sus aserciones. Hay algún tipo de relación con lo real en la interpretación científica que está ausente en la visión mágico-animista.

Se hace pues inevitable convenir en que las teorías científicas de algún modo expresan a lo real, aunque no lo reproduzcan. Pienso que esa es la idea que hay que desarrollar de aquí en adelante. En términos históricos, la ciencia nace con el horizonte del dominio técnico de la naturaleza frente a sí. Problemas prácticos de ingeniería, minería y del arte de la guerra sugirieron multitud de problemas de los cuales surgieron soluciones teóricas que, en mentes como las de Leonardo De Vinci, Tartaglia, Galileo y Descartes —en todo momento cercanos a las artes y las prácticas artesanales— se convirtieron en interesantes de por sí, recuperándose parcialmente el ideal griego de lo teórico como visión de las esencias. Pero la ciencia, no obstante procurar una visión teórica del mundo, nunca perdió sus lazos con éste, se mantuvo próxima a los problemas prácticos hasta convertirse, ya en el siglo XIX, en la inseparable compañera de la tecnología. La superioridad de las interpretaciones científicas comparadas con las interpretaciones mágicas o míticas, radica en que nunca han perdido ese contacto con la realidad puesto de manifiesto en la práctica eficaz y en su capacidad de predecir y organizar experiencias.

A partir de esos orígenes terrenales, el conocimiento científico no puede ser entendido como una aproximación más fiel a la realidad. Hay predicciones mejores que otras; explicaciones más satisfactorias que otras; prácticas más eficaces que otras, pero no predicciones, explicaciones o prácticas más verdaderas que otras. Las teorías deben ser comparadas entre sí, no con un horizonte metafísico que constituiría el límite de todo conocimiento.

Si no hay metas extracientíficas que alcanzar a través del conocimiento científico, ¿cómo continuar sosteniendo la existencia de patrones o reglas que nos aproximen a eso que no es sino una imagen onírica del racionalismo de los siglos XVII y XVIII?. Y si entendemos el culminar del saber científico como una visión racionalista de la Revelación, ¿no es tentador ver en el método al sustituto secularizado

de las vías hacia esa Revelación?. La ciencia, ¿una versión profana del monoteísmo?

II

En una ocasión dejé sin desarrollar la hipótesis de que tal vez el método científico tuviera antecedentes en el conjunto de reglas prácticas observadas en los talleres artesanales de fines de la Edad Media. Prescripciones propias de los oficios, aplicables no más allá de los propósitos de gentes prácticas ocupadas en sus lugares de trabajo. El método vendría a ser, en sus orígenes, desde ese punto de vista, un conjunto de reglas de juego que no trataban de competir fuera de los límites impuestos por las prácticas respectivas de los diferentes oficios.

Visto así, el método se asimila a un conjunto de procedimientos para resolver problemas, a una serie de “recomendaciones tecnológicas”. Radnitzky quien, creo, introduce esta terminología, muestra la forma general de dichas “recomendaciones”:

“Si mi meta es M y mi situación actual es E; mi mejor camino es C”.

Obsérvese que no se habla aquí de un único camino, sino del que estimo y considero más apropiado para los fines de resolver el problema que me planteo. Y puedo equivocarme, nada garantiza a priori, no hay reglas lógicas formales o formalizables que prescriban la trayectoria que debo tomar, las estrategias a usar.

La ciencia es un tipo particular de resolución de problemas, también particulares. Sólo una racionalidad móvil, no formal, iluminada a veces, oportunista otras tantas, es capaz de ofrecernos recomendaciones para avanzar en el difícil camino de la creación científica. La metodología, si todavía usáramos el término tan desacreditado, no puede suministrarnos algoritmos para acceder a la verdad, como creyeron el filósofo Descartes y los positivistas hasta muy entrado nuestro siglo. La investigación científica involucra tomas de decisiones, situaciones ambiguas, como cualquier actividad que implique esencial e inevitablemente riesgos. La aplicación de la teoría de decisiones a una situación típica de investigación científica al tiempo de ser interesante y prometedora es sumamente compleja por cuanto virtualmente hay una infinidad de estrategias o juegos posibles para la

resolución de un problema. Henri Atlan utiliza la imagen de Metis, divinidad de lo aleatorio y lo confuso, de la inteligencia práctica y creadora, para referirse a la racionalidad del investigador científico. Metis en oposición a la inteligencia pautaada, fijada, respetuosa de reglas únicas y del orden, Themis. Muy a propósito de la oposición Metis-Themis, Atlan ve en la razón práctica la guía y el resultado de la investigación, dado que *“todas las tentativas de racionalizar la historia de los descubrimientos y de las creaciones científicas en una teoría (metacientífica) racional y unitaria del conocimiento científico han fracasado”*.

Toda creación intelectual se remonta hasta una praxis, incluso la filosofía que aspira a lo universal, a captar la unidad racional del mundo. Praxis entendida como conjunto de propósitos conscientes, de anticipaciones y de acciones derivadas, encaminadas a la resolución de los variados problemas de la vida del hombre. Yendo más lejos, hasta el elemento poético, si seguimos a Eliade, se asocia a una práctica, a un hacer colectivo. Conocer, conocimiento: eco remoto de agitación, sacudida, movimiento rítmico.

El método científico en tanto que próximo a una tecnología (o como tecnología) se asocia a un auténtico proceso de producción de saber, está lejos de ser una articulación lógica. No es el cálculo soñado tempranamente por Raimundo Lull, que, correctamente manejado, nos llevaría a un saber seguro. La ciencia requiere de imaginación, inteligencia o talento, vivos. El método invocado por Descartes y Bacon, que haría innecesarias las facultades individuales del investigador y convertiría el proceso de creación científica en un sencillo problema operacional, terminó con los sueños positivistas de “logicizar” a las ciencias.

Nunca un método formal ha constituido estímulo y apoyo a la investigación comparables con los que recibe de la imaginación y la originalidad o audacia del pensamiento. Galileo no respetó las prescripciones metodológicas del aristotelismo triunfante de su tiempo, que prohibía la inconsistencia entre hechos y teoría y la asunción de propiedades en principio no observables. El Galileo real no es el de las leyendas inventadas por sus propagandistas, ni por los opositores a Newton, a quien procuraron oponer un empirismo galileano. El verdadero Galileo, si nos atuviéramos al requisito metodológico de

que un verdadero conocimiento no puede entrar en conflicto con las observaciones, estaba en tremenda desventaja con respecto a sus opositores. La experiencia, a decir verdad, no estaba de su parte, sino a favor de los aristotélicos. Galileo les opuso argumentos sobre todo racionales. Sus experimentos no están diseñados con la materia pura y simple de los sentidos. Contenían razonamientos en el límite, en el ámbito de lo imposible y llegó a anticipar el experimento mental einsteiniano. Hablar de un movimiento sin fuerzas no sólo era inconcebible y absurdo porque la evidencia sensorial no daba ejemplos de algo semejante, sino porque Galileo no pedía dar pruebas experimentales de la existencia real de una cosa como tal. Se trató del difícil reto de explicar lo que es desde lo que no es, como atinadamente escribe Koyré.

Los propagandistas de las ideas galileanas, conforme el modelo del mundo del físico italiano pugnaba por prender en la consciencia científica de la época, se encargaron más tarde de falsear la historia de la revolución galileana. Se llegó a escribir toda una colección de leyendas acerca de los experimentos de Galileo cuando ningún registro de la época en que éste vivió reconstruye dichos acontecimientos.

Koyré, quien se ha ocupado como pocos de los orígenes de la ciencia moderna, y de manera especial del pensamiento galileano, afirma que la caída simultánea, desde una misma altura, de cuerpos de distintos pesos no descansa en la prueba experimental, sino en razonamientos y experimentos imaginarios. Incluso llega a afirmar que en sus escritos, Galileo no usa el término experimento.

Se han acumulado datos históricos que desmienten la existencia de un Galileo padre una metodología científica experimental moderna, que no es sino una reconstrucción posterior de divulgadores, propagandistas, filósofos de la ciencia y "fans". El tantas veces mencionado experimento del péndulo en la Catedral de Pisa nunca fue realizado, ya que las lámparas de dicha catedral fueron colocadas después de que Galileo había abandonado esa ciudad.

Feyerabend relata, fundado en documentos incontrovertibles, el tremendo chasco que significó la puesta a prueba del poder óptico del telescopio de Galileo, que a su juicio habíale permitido el descubrimiento de las lunas de Júpiter, de astros alrededor de Saturno, etc.; el telescopio, que funcionaba en la Tierra muy bien, resultaba en-

gañoso al dirigirse a los cielos. Los veinticuatro profesores universitarios que estuvieron en abril de 1610 en casa de Magini, opositor de Galileo, no pudieron ponerse de acuerdo acerca del poder del telescopio, ni de lo que habían visto tras sus cristales. Galileo, “se fue muy entristecido” (sic!) de aquella reunión en que muy pocos apenas se convencieron de cuanto defendía.

Parece como si la inteligencia pragmática de Galileo, la confianza en que sus ideas lograban construir un modelo ordenado y racional del mundo y los éxitos que había cosechado en este propósito, conformaron un cinturón de protección que inmunizaba a su nueva ciencia de los contraejemplos presentados por sus oponentes, las impresiones de que adolecían sus cálculos y los resultados desastrosos como el relatado por Feyerabend. Sólo una inteligencia como la de Galileo, próxima a la de los artesanos y fabricantes, puede pasar por alto las refutaciones y dificultades opuestas a sus ideas. Un respetuoso del método, uno que hiciera de éste una superstición, no hubiera podido oponerse a las evidencias presentadas por sus contrarios. La ciencia trabaja, se hace, de esa manera —tal vez no existe un solo descubrimiento de importancia que no haya sido realizado, de una forma u otra, irrespetando principios metodológicos.

Es que la ciencia no encuentra sus objetos o sus leyes ya hechos en la naturaleza. El hecho científico es una construcción, para recordar a Fleck. La ciencia es una verdadera fábrica de hechos, razonados, articulados en un retículo teórico. No hay mejores palabras para destacar esta capacidad genésica del saber científico que éstas de Bachelard: La ciencia “rompe con la naturaleza para constituir una técnica. Construye una realidad, talla la materia, da finalidad a las cosas dispersas. Construcción, purificación, concentración dinámica, he ahí el trabajo humano, he allí el trabajo científico”. Desde un principio Vico, para quien una “ciencia de la naturaleza” era una imposibilidad o una fatua pretensión, comprendió el carácter ontogenético de la ciencia nueva de Galileo. El investigador debía volver a crear la naturaleza para conocerla, ¿y qué cosa hacemos en el laboratorio, sino poner objetos en condiciones artificiales, en ocasiones imposibles, para así extraer conclusiones sobre lo real?. Allí donde hechos y expectativas teóricas entran en conflicto se origina un verdad foco de interés para el conocimiento científico, no su parálisis o su frustración.

En ese punto de crisis, se pone a prueba la imaginación artesanal del científico. Surgen diferentes soluciones, nacen distintos modelos. Crisis, conflictos, resultados inesperados, que en vez de detener al investigador lo estimulan a que continúe.

Nadie ha producido verdaderos conocimientos científicos haciendo uso de la lógica formal o de reglas metodológicas, unívocas. Se recurre a una lógica móvil, de carácter informal. Cada problema o conjunto de problemas podrá sugerirnos caminos a seguir, las reglas del juego o las recomendaciones para su solución. “Ninguna ciencia ha comenzado nunca con un tractatus de método, ni ha progresado nunca gracias a la aplicación de un método elaborado de un modo puramente abstracto, a pesar del “discurso del método” de Descartes”, escribió Koyré antes de Feyerabend.

Si Bohr hubiera respetado las recomendaciones de la metodología no hubiera creado su modelo atómico aún a sabiendas que estaba en contradicción flagrante con la electrodinámica de Maxwell, de tradición exitosa, teórica y experimentalmente. La tercera ley de Kepler, un resultado bellísimo de la astronomía matemática, es inconsistente con la teoría de la gravitación de Newton y la física no ha prescindido de aquella. El mismo Newton publicó sus “Principia” sabiendo que la aplicación de su teoría de la gravitación al movimiento de la Luna arrojaba una grandísima diferencia en el cálculo de las velocidades. Ante esta contradicción entre su teoría y los datos, su reacción se limitó a señalar que esa discrepancia habría de ser resuelta más tarde. La dificultad se superó veinte años después de la muerte de Newton. Newton publicó sus ideas, con plena conciencia de que las mismas no funcionaban todo lo bien que esperaba.

En la historia de las ideas científicas y de los descubrimientos abundan los casos de refutaciones que no impidieron el triunfo de las teorías refutadas. La historia de los descubrimientos es un panorama diferente al de la ciencia como algo logrado, organizado ya. Esta historia es un espacio de conflicto, donde los factores “internos” se mezclan con factores “externos” variadísimos, prejuicios metafísicos diversos, modas incluso. La esfera de la producción en la ciencia difiere de la de su consumo. La primera es una verdadera fábrica del saber, con sus prácticas audaces, irrespetuosas, a veces anárquicas; la segunda da la impresión de orden, claridad, todo racionalidad. Es aquí, en el

terreno del consumo, en donde se originan las vocaciones metodológicas. La metodología es una creación del ocaso del descubrimiento. Ha sido el oficio de los que no hacen ciencia. Una racionalización de un espíritu que quiere orden a toda costa, que busca clarificar, colocar cada cosa en su sitio. El edificio de la lógica de la ciencia está construido sobre teorías higienizadas, sin la memoria de sus orígenes difíciles. El “contexto del descubrimiento” no interesa a los metodólogos por lo que tiene de aleatorio, es arrojado al zafacón de la sicología o de las pequeñas historias personales del investigador. Pero en esas pequeñas historias privadas, en esa cotidianidad experimental es donde se cuece la ciencia. Estudiar el entorno ecológico de las teorías es un procedimiento más fructífero, para entender el valor y el alcance de las mismas que repasar los requisitos formales que los harían o no aceptables. No es silenciando a los forjadores de la ciencia y a su entorno en un océano de reglas o fórmulas lógicas como se construirá una teoría de la racionalidad del mundo. Comprender a la ciencia no está separado del escuchar su historia real.

Generalmente suele ocurrir que los investigadores científicos, interesados en la resolución de los problemas que ocupan su tiempo, no se detienen a pensar acerca de los fundamentos y la justificación de su propia práctica. Pensar el problema no se acompaña de pensar acerca del propio tipo de pensamiento que constituye la ciencia. Esta despreocupación del científico conlleva a que sea visto, e incluso a que se vea a sí mismo, como filosóficamente no comprometido, al margen de reflexiones metacientíficas. El silencio del que hace ciencia es roto por quienes no la hacen. El resultado ha sido que éstos últimos, la mayor parte de las veces, nos devuelven una imagen de ficción, ¡una verdadera ciencia ficción!, en donde los descubrimientos y las teorías se suceden ordenada y lógicamente. El investigador y su arduo trabajo genésico, difícilmente pueden reconocerse en la reconstrucción racional de los metodólogos. Lo paradójico es que estos esquemas son los que se difunden, se enseñan y se creen. Incluso el propio científico, puede llegar a creer que todo cuanto hizo fue producto de un método. La historia de Descartes es ilustrativa. El famoso método por el que pasa a ocupar un lugar en la historia de la filosofía moderna, no parece que haya guiado ninguna de sus investigaciones científicas. No están claras las relaciones entre el método de Descartes y sus descubrimien-

tos. Todo parece indicar que la metodología es una elaboración a posteriori. Descartes es víctima de la ilusión de creer que sus descubrimientos se debieron al uso de la metodología que lo inmortaliza. Desmond Clarke discute en un interesante trabajo sobre la filosofía científica de Descartes, hasta dónde la práctica real de la ciencia en el pensador francés entraña una metodología como la que expone en su Discurso —que dicho sea ¡no es sino la introducción a unos ensayos científicos!

Uno comprueba cómo ha llegado a falsificarse la historia de la práctica científica y de los descubrimientos. Ejemplos sobran para restarle créditos a ciertas reconstrucciones racionales del hecho científico. Reconozco que la fábula no es obra única de la metodología y de quienes a ella se consagran. El científico a la hora de redactar sus informes finales, sus artículos o de dictar conferencias acerca de su trabajo, regularmente no se refiere a las “partes oscuras” del mismo. Estas pueden ser leídas en sus comunicaciones personales, en sus notas de laboratorio o en sus conversaciones de aliento o desaliento con sus allegados. En todas esas minucias cotidianas, que no se publican o se difunden con grandes titulares, se oculta un rico filón desde donde se extraen valiosas conclusiones sobre el trabajo investigador.

Me voy a permitir aquí, citar una líneas de Feyerabend:

Los científicos mantienen ciertas ideas preconcebidas acerca de la ciencia; ideas que ellos mismos violan durante sus trabajos de investigación, pero en las que confían cuando comunican sus resultados. Sus publicaciones, los ensayos en los que sintetizan lo que han conseguido, las alabanzas que reciben de historiadores y filósofos están llenos de afirmaciones perfectamente ordenadas y “razonables”, pero en realidad se hayan en conflicto con lo que sucedió durante la investigación misma.

Se trata, en fin, de una verdadera estructura esquizoide del pensamiento y la práctica de la ciencia. Por doquier leyendas o ficciones lógicas. Es como si la ciencia se avergonzara de sus orígenes terrenales, de ser la creación de una razón informal, multiforme, reptante y reclamase un origen diáfano, ordenado, logístico. Se trata de ver en la ciencia un largo camino hacia la verdad, hacia lo autotransparente. En todo esto hay un temor extraño a lo inesperado,

al albur, a lo que no puede ser encerrado en una fórmula. Pero la ciencia no es una criatura del Olimpo. Incluso en las mismas matemáticas las pretensiones de autoevidencia o autofundación han debido ser abandonadas. La razón deviene trágica en vez de buscadora de certidumbre.

III

Una visión más realista de la ciencia, no debe rehuir ese reto que constituye su propio hacer. Ciencia y práctica de la ciencia se fecundan mutuamente, se conciernen una a la otra en beneficio de una mejor comprensión del mundo y el hombre. El modelo de la ciencia como un itinerario ordenado hacia la verdad está en franca oposición con la práctica constitutiva de la propia ciencia, además de ser inviable por cuanto carecemos de criterios para juzgar cuán cercanos estamos a lo real. ¿Cómo no forjar un nuevo modelo de ciencia que prescindiera de ideas como verdad, conocimiento cierto o de la tradicional coincidencia verdad/realidad? El propio discurso de la ciencia nos pone ante el reto ineludible de revisar una a una dichas ideas, figuras claves, paradigmáticas, del racionalismo clásico. No es cierto que el abandono de un conocimiento verdadero como meta de la ciencia, implique una renuncia a comprender el mundo que nos rodea. Todo lo contrario. Creo que el requisito fuerte de un conocimiento como aproximación continua a lo real es hoy un obstáculo para construir una nueva racionalidad. Razón, lógica, verdad, han estado confundidas durante siglos. No se advierte que la razón puede actuar, forjar una comprensión del mundo sin que deba ajustarse a lo formal, sin que busque afanosamente una verdad.

La verdad, como lugar de encuentro de imagen y mundo, es una herencia pesada de la filosofía clásica de la cual hay que deshacerse. Ninguna teoría es verdadera, ni tampoco falsa. Más aún, tampoco probable. El científico, todo cuanto hace es pintarnos una especie de cuadro del trozo de realidad que le interesa. Un cuadro no es más verdadero, ni más falso que el paisaje, es una representación de algunos rasgos que interesan al pintor y que éste trata conforme a sus preferencias, inclinaciones, creencias, etc. Claro, no se puede abusar de la analogía, el artista no busca un tipo de comprensión del mundo como el que persigue el científico.

Las teorías científicas son modelos de lo real. Hay modelos mejores o peores que otros. Un modelo es mejor que otro cuando predice hechos nuevos, integra hechos dispersos hasta ese momento y se inscribe en perspectivas prácticas, tecnológicas más eficaces. Y es todo. La física aristotélica logró ordenar en un esquema explicativo la infinidad de movimientos empíricos existentes. La dinámica aristotélica forma parte de una constelación de ideas que en su tiempo constituían la matriz, el marco general de las creencias aceptadas de la gente. Este consenso, esta dimensión de lo sobreentendido, permitió una larga vida a las ideas físicas de Aristóteles. No es que faltaron hechos inconsistentes con el pensamiento aristotélico, los había, pero estos contraejemplos simplemente se pasaron por alto, hasta que veinte siglos después se produjeron nuevas condiciones socio-culturales que posibilitaron una nueva experiencia, un nuevo consenso, en donde dejaron de percibirse las diferencias entre los movimientos forzados y naturales, las físicas del cielo y de la tierra.

Existen criterios —no formales, ni lógico matemáticos para escoger, entre dos modelos de la realidad, el mejor de ellos. Siempre será posible, en base a una discriminación racional/práctica, elegir una teoría como mejor que otra. Que los criterios usados no puedan ser expresados por medio de un cálculo seguro es ya otra cosa. El juez inductivo de Carnap, su máquina evaluadora de las funciones de correlación $C(h, e)$, creo que ha pasado a la historia de la filosofía de la ciencia como un intento ingenuo de dar al conocimiento científico un estatuto de certidumbre que nunca tuvo en realidad. La escolástica lógico-simbólica que ridiculiza Lakatos ha fracasado en sus propósitos.

La imagen de la ciencia como hacedora de metáforas, unas mejores que otras, en ningún modo lesiona a la necesidad del pensamiento racional. Las teorías, en tanto que metáforas, de alguna manera se refieren a la realidad. No son simples fábulas, pero tampoco enseñan al mundo tal cual es. No puedo dejar de citar aquí unas líneas de C. S. Lewis:

Ningún modelo es un catálogo de realidades esenciales ni tampoco mera fantasía. Todos son intentos serios de abarcar todos los fenómenos conocidos en una época determinada y todos consiguen abarcar gran cantidad de ellos.

Una teoría habita un mundo que no es el de la mera fantasía, pero tampoco el de la verdad. Está, en cierto modo, en tensión entre uno y otro. Son “invenciones libres de la mente humana” que en algunos puntos entran en relación con lo concreto.

Un problema es más interesante, cuantos más modelos creados para explicarlo entran en competencia. Cuanto más imaginación ponga en juego. Contrariamente a una visión unitarista, hay muchas formas de entender lo que se identifica como un problema de interés. Ese solo problema interesante es la ocasión para desdoblamientos, para una cascada de nuevos problemas y no darán abasto dos, tres, cuatro modelos distintos. Esa es la dinámica real de la ciencia, cualquier otro panorama no hace sino simplificar la cuestión.

El discurso científico, afortunadamente se aleja de los esquemas simplificadores, de las verdades inmóviles, de los grilletes de una visión reductora. Un gusto por lo múltiple, por lo ambiguo, por las analogías más inverosímiles nos muestra que la razón está dejando de identificarse con la verdad, con el conocimiento cierto, con la contemplación de esencias puras e inmortales y en cambio, se acerca a un mundo inestable, en donde los casos de equilibrio son los menos interesantes. No hay una razón que unívocamente conduzca a la solución de los problemas—la razón se hace múltiple, proteica—. Si tuvo éxito allí, en un momento puede fracasar aquí, algo más tarde. El éxito no está asegurado, peor aún, lo que sí parece estarlo es su contrario. Es como si en el ámbito de las realizaciones humanas, incluyendo el pensamiento, operara una ley similar a la de la entropía: en todo movimiento del saber hay pérdidas, disipaciones. La máquina de la razón deberá siempre fracasar en su intento de lograr su máxima eficiencia. No creo que esto haya de angustiarnos. A todo acto fallido le sigue un nuevo intento. Es la condición de Sísifo que puede parecernos insoportable, pero es la única que refleja al mundo que vivimos.

REVOLUCIONES CIENTIFICAS Y CAMBIOS CONCEPTUALES*

H. Brown

Los acontecimientos más interesantes en la historia de la ciencia son las revoluciones: episodios, que a veces duran décadas y que ocasionan la reestructuración de los modos de pensamiento de una o más disciplinas y, en algunos casos, de las relaciones entre disciplinas. En el nivel más profundo tienen lugar dos clases de cambios: tanto las presuposiciones de una ciencia como los conceptos usados en ella se transforman y, como resultado de estas transformaciones, el mundo o estructura significativa, dentro del cual trabaja el científico, así como sus problemas de investigación, también se modifican. Vamos a proceder analizando en detalle [una revolución] en física: la iniciada por Copérnico y culminada por Newton [...].

La revolución copernicana

La revolución iniciada en física por el desarrollo que Copérnico hizo de la astronomía heliostática o heliocéntrica es una de las revoluciones más ricas y acabadas de la historia del pensamiento humano. Limitando nuestra atención a cuestiones científicas, el intento de Copérnico de habérselas con un problema astronómico tuvo el efecto de minar los fundamentos de la física aceptada de modo que la nueva astronomía requirió la construcción de una nueva física.

(*) Fuente: Harold Brown, "La nueva filosofía de la ciencia"

Para los medievales el Universo físico estaba centrado en la Tierra y dividido en dos partes, la esfera terrestre, formada por la Tierra y todo lo sublunar, y la esfera celeste, que contenía la Luna, el Sol, los planetas y las estrellas. Cada parte estaba hecha de un tipo distinto de material y tenía su propio conjunto de leyes físicas. De este modo, había distintos sistemas de física, la física terrestre y la física celeste.

La esfera terrestre estaba formada de cuatro elementos: fuego, aire, agua y tierra. Cada uno de los objetos físicos que normalmente nos encontramos se consideraba como una mezcla particular de estos elementos. Cada elemento tenía su lugar natural, en el cual tendía a permanecer y al cual volvía si le era permitido moverse sin restricción: la tierra hacia abajo, hacia el centro del Universo; el fuego hacia arriba, lejos del centro del Universo hacia la esfera de la Luna; y el aire y el agua en posiciones intermedias, estando el primero generalmente más alto que la segunda. El centro del Universo no se define como el centro de la Tierra; los dos coinciden porque el centro del Universo es el lugar natural hacia el cual la tierra tiende a moverse aunque es posible en principio, para una fuerza lo suficientemente grande, quitar la tierra del centro del Universo.

El concepto de movimiento hacia el lugar natural conduce directamente a una distinción entre movimiento natural y movimiento violento. Cualquier movimiento que se oponga a un movimiento natural de un objeto, como alzar un elemento terrestre, es violento o forzado y requiere una fuerza externa.

En cuanto cesa la fuerza externa, el movimiento natural actúa y el objeto vuelve a su lugar natural, pues, es siempre de duración finita. Este análisis del movimiento podía proporcionar una explicación de varios fenómenos "observados". Podía explicar por qué caen los cuerpos pesados y en cambio las llamas se alzan. Por qué los océanos descansan sobre la tierra y el aire se mantiene sobre los océanos, y por qué la Tierra está en el centro del Universo.

Sin embargo, también quedaba cierto número de fenómenos inexplicados y, por, tanto, cierto número de problemas de investigación. El más importante de ellos era el problema del movimiento de un proyectil, en el cual se trabajó desde los tiempos de Aristóteles. El problema es esencialmente éste: considérese un proyectil tal como una flecha disparada desde un arco. Después de abandonar la cuerda del

arco, la flecha sigue moviéndose hacia adelante durante algún tiempo, pero llega un momento en que aterriza y se para. Puesto que la flecha es un objeto terrestre, su movimiento natural es verticalmente hacia abajo y su movimiento horizontal es violento, pero todo movimiento violento requiere alguna fuerza externa para mantenerse y, en ausencia de tal fuerza, la flecha que deja la cuerda del arco debería caer directamente al suelo. El problema, entonces, es encontrar la fuerza que da cuenta del movimiento violento de la flecha. Entre las soluciones propuestas está la de Aristóteles de que el aire proporciona la fuerza que mantiene a la flecha en movimiento y la teoría medieval de que la cuerda del arco impartía una fuerza o “ímpetu” a la flecha. El punto a enfatizar aquí es que el intento de dar cuenta del movimiento de un proyectil era un problema genuino de investigación para la dinámica antigua y medieval.

En el segundo reino de la física antigua, los cielos, no se encuentran ninguno de los cuatro elementos terrestres. Las estrellas, los planetas, el Sol y la Luna están hechos de un elemento diferente y más perfecto llamado “quintaesencia” o “éter”. El movimiento natural es circular. Las razones para la elección de un movimiento circular parecen haber sido en parte observacionales y en parte teóricas (algunos dirían “religiosas”, pero está lejos de ser cierto que podamos hacer la distinción clara entre ideas científicas y religiosas en los griegos —o incluso en Newton— que hacemos hoy). Los movimientos diarios de los cielos y muchos de los movimientos anuales parecen circulares, y se creía que los cuerpos celestes eran objetos inmutables y perfectos. Pero el movimiento fue entendido como una forma de cambio; luego si los cuerpos celestes desarrollaban su propia forma de movimiento, debía ser aquella que se acerca más a lo inmutable, un movimiento circular eterno en una órbita permanente. En realidad, estrictamente hablando, no eran los cuerpos celestes los que se movían; estaban atados a las esferas que rodaban. Desafortunadamente, no todos los movimientos observables de los cuerpos celestes son circulares: los planetas, un grupo pequeño pero prominente de objetos observables, tienen movimientos anuales que consisten en extraños recorridos curvos. Esta excepción al movimiento circular proporcionó el principal problema de investigación de la astronomía de Platón y Kepler.

Requieren especial énfasis dos comparaciones entre el problema de los planetas y el del movimiento de un proyectil. Primero, nos las tenemos que ver con dos cuerpos diferentes de presuposiciones dinámicas; los tipos de hechos que requieren explicación difieren en los dos casos. En el caso del proyectil, la desviación del movimiento vertical requiere una explicación; para los planetas es preciso, explicar la desviación del movimiento circular. Como veremos después de que Newton introdujo los movimientos celestes y terrestres dentro de la perspectiva de una sola teoría, los mismos tipos de movimiento requerían explicaciones en todos los casos. Segundo, los tipos de explicación que las presuposiciones operativas permiten en los casos terrestres y astronómico son diferentes. El concepto de movimiento violento se aplica sólo dentro de la esfera terrestre. Mientras que es posible admitir una desviación del movimiento natural y, así buscar una fuerza para dar cuenta de la desviación, no se permite ninguna violación del movimiento natural en astronomía. Se mantenía que, desde luego, los planetas se movían sólo en círculos; a pesar del hecho de que parecían moverse de forma no circular, y el problema de investigación de los astrónomos era encontrar un sistema de movimiento circular que “salvara las apariencias”; esto es, explicar por qué los planetas se nos aparecen moviéndose de forma no circular.

La recepción, reconocimiento o recibimiento de las hipótesis copernicanas debe ser entendida en este contexto intelectual. Se nos ha dicho con frecuencia que el sistema copernicano es más simple y preciso que la vieja astronomía que ponía a la Tierra en el centro con los círculos y epiciclos, y desde un punto de vista formal esta pretensión tiene alguna sustancia. Al tomar el Sol como estacionario, Copérnico eliminó las complejas trayectorias del modelo geocéntrico y la necesidad de hipótesis “ad hoc” para explicar el hecho de que Mercurio y Venus nunca se alejan del Sol, y era capaz de determinar cuál de los dos planetas estaba más cerca del Sol. Por otro lado, su sistema no era más exacto que la vieja teoría y también conservaba el principio de movimiento circular para los cuerpos celestes y, de este modo, requería epiciclos. En realidad, incluso conservó la noción de que los cuerpos celestes son transportados por esferas cristalinas.

Afirmar, por tanto, que la visión de Copérnico era más simple, es contemplar la cuestión a-históricamente desde el punto de vista de la

ciencia contemporánea más que en el contexto intelectual dentro del cual surgió. Dejando a un lado cuestiones sobre la interrelación de la ciencia y la teología y limitándonos a las cuestiones científicas en el sentido moderno, el precio a pagar por las mínimas ganancias formales de la nueva teoría fue minar la física aceptada, mientras que, al menos inicialmente, los copernicanos no disponían de ninguna nueva física para reemplazara la antigua. Al situar la Tierra en órbita alrededor del Sol, Copérnico destruyó la distinción aceptada entre las esferas sublunar y supralunar y, en efecto, hizo de la Tierra un cuerpo celeste. En el sistema de Copérnico aún es posible considerar los movimientos circulares como la forma natural de movimientos de los cuerpos celestes, pero el concepto de cuerpo celeste fue alterado y se socavó todo el sistema de la mecánica terrestre. Una vez que la Tierra, el caso paradigmático de cuerpo "terreo", ya no descansa en el centro del Universo, ¿cómo podríamos dar cuenta del hecho de que otros cuerpos terrestres tiendan a caer a la Tierra? Además, se suscitaban problemas, tales como el de por qué la Tierra no deja atrás a su atmósfera y por qué una piedra arrojada hacia arriba cae derecha hacia abajo. Si el aire y una piedra tuvieran un movimiento natural vertical y la Tierra se estuviera moviendo alrededor del Sol, haría falta un movimiento violento adicional para mantenerlos moviéndose con la Tierra; pero no parece que exista ningún agente violento. La nueva astronomía necesitaría una forma totalmente nueva de dinámica que hiciera caso omiso de la idea de que se aplican diferentes leyes dinámicas a los cielos y a la Tierra. Copérnico no proporcionaba esa nueva dinámica y, sólo después que se hubo constituido una, se completó la revolución iniciada por él.

Galileo dio el primer gran paso hacia una nueva física con la introducción del concepto de movimiento inercial: si un cuerpo terrestre estuviera en movimiento sin que ninguna fuerza actuara sobre él, continuaría en movimiento indefinidamente. Esta tesis, una vez aceptada, elimina el viejo problema del movimiento del proyectil. La idea de que los objetos tienen un movimiento natural se mantiene, pero, en el caso de los objetos terrestres, el movimiento natural ya no es finito, sino infinito, y se vuelve necesario explicar por qué cesa más que por qué continúa. En el caso del movimiento del proyectil, el viejo problema de por qué la flecha continúa moviéndose después de

abandonar el arco se disuelve: esto es lo que debe hacer naturalmente; no hace falta ninguna explicación. De este modo Galileo propuso mucho más que una nueva teoría. Ofreció lo que Toulmin ha llamado un nuevo “ideal de orden natural”, una nueva concepción fundamental de como actúa la naturaleza y, en consecuencia, cambió nuestra comprensión de qué fenómenos requieren explicación y de qué cuestiones pueden preguntarse legítimamente.

Pero Galileo no completó el trabajo de formular la nueva dinámica porque, si bien introdujo una parte importante del moderno concepto de inercia, consideró el movimiento inercial como circular. Si un proyectil fuera disparado desde la Tierra, por ejemplo, y no interfirieran otras fuerzas, continuaría moviéndose eternamente alrededor de la Tierra con un recorrido circular. Galileo fue contemporáneo de Kepler, pero parece que simplemente ignoró el descubrimiento de éste de que los planetas se mueven en elipses, no en círculos. Por otro lado, al mantener que el movimiento circular es la forma natural de movimiento para los cuerpos terrestres, Galileo dio un gran paso en el proceso de destrucción de la distinción tradicional entre los cuerpos terrestres y celestes. Faltaba, sin embargo, que Descartes y Newton dieran el paso final y propusieran que el movimiento inercial, tanto para los cuerpos celestes como para los terrestres, es un movimiento lineal. Como resultado de este nuevo concepto de inercia, la concepción física de la naturaleza cambió una vez más, y con ella cambiaron también su comprensión de qué clase de fenómenos requieren explicación y los modelos de explicación. El movimiento en línea recta a velocidad constante no requiere más explicación que decir que “no hay fuerza actuando”, lo que, en el contexto de la mecánica newtoniana, no es una explicación en absoluto, sino una negación de la necesidad de que haya explicación, considerando que el movimiento circular o cualquier otro movimiento no lineal se convierte en desviación que requiere explicación. Lo más importante es que se suscitaban los mismos tipos de problemas y se necesitaban los mismos tipos de soluciones tanto para los cuerpos celestes como para los terrestres.

De este modo, esta revolución científica entrañó cambios fundamentales en las presuposiciones de la física, junto con cambios de algunos conceptos básicos en términos de los cuales los científicos

pensaban sobre el mundo físico. Nos hemos concentrado hasta aquí en los cambios en las presuposiciones; ahora nos volvemos a algunos de los cambios conceptuales.

El cambio conceptual

Tanto antes como después de Copérnico, los astrónomos fueron desafiados por los extraños movimientos de los planetas, y hemos visto que los explicaban de diferente manera antes de Copérnico y después de Newton. Pero a medida que iba avanzando este cambio en las presuposiciones científicas, el mismo concepto de planeta se modificaba, de manera que, en un sentido importante, los nuevos astrónomos no estaban tratando de explicar lo mismo que los antiguos. La mejor manera de aclarar este punto es examinar los cambios que tuvieron lugar en términos de la distinción entre el sentido y la referencia de un concepto, los cuales fueron modificados en el caso presente.

Tomando el sentido del concepto primero, antes de Copérnico las características definitorias de un planeta incluían como requisitos que se moviera alrededor de la Tierra y en relación con las estrellas fijas. Para Kepler y Newton, el movimiento alrededor del Sol se había convertido en una característica definitorio. De manera semejante, los desarrollos posteriores de la astronomía condujeron a otros cambios ulteriores en el concepto de planeta, de modo que ahora tiene sentido perfectamente sugerir que hay planetas que describen órbitas alrededor de las estrellas, una afirmación que no hubiera tenido sentido para un precoperniano e, incluso, para el mismo Copérnico.

La tesis de que el significado de los conceptos cambia como resultado de una revolución científica ha sido considerada por muchos empiristas lógicos como una de las afirmaciones más radicales de la nueva filosofía de la ciencia. Una doctrina central del pensamiento empirista ha sido durante largo tiempo que los significados de los términos son completamente independientes de las proposiciones en las que aparecen, y que podemos aceptar o rechazar proposiciones sin que esto tenga efecto alguno en lo que significamos mediante los términos que aparecen en ellas. Esto es, el significado de un término (semántica) es independiente del lenguaje en que se usa dicho término. Una de las consecuencias de nuestra opinión, sin embargo, es que hay

una íntima relación entre el contenido de los conceptos y las proposiciones en las que aparecen. Defendiéndose contra esta concepción, un empirista lógico, Israel Scheffler, concede que el sentido de los conceptos cambia en el curso del desarrollo de la ciencia, pero mantiene que esto carece de importancia, puesto que “para los propósitos de las matemáticas y la ciencia interesa más la mismidad de referencia que la sinonimia[...], esto es, no tiene lugar ningún cambio conceptual significativo a menos que haya cambiado la extensión del concepto. Pero, si volvemos al concepto de planeta, está claro que la extensión del concepto también ha cambiado. Antes de Copérnico, la Tierra no estaba incluida en la clase de los planetas; para astrónomos posteriores la Tierra se ha convertido en un planeta. De manera semejante, la Luna y el Sol eran planetas para los precopernicanos, puesto que se movían alrededor de la Tierra y con relación a las estrellas fijas, pero ya no fueron planetas después de Copérnico. De hecho, se tuvo que introducir un nuevo concepto para ajustar los satélites de los planetas.

Tomemos un segundo ejemplo, más complejo. Ya se ha indicado en nuestra discusión del concepto de planeta que no podemos entender totalmente el modo en que funciona un concepto examinándolo aisladamente de otros conceptos. Un análisis completo de la transformación del concepto de planeta desde la astronomía medieval hasta nuestros días requiere un análisis de los cambios en conceptos como los de Sol y estrella. De nuevo han cambiado tanto el sentido como la referencia. Para los medievales, el Sol era un objeto único y no hubiera tenido sentido llamar al Sol estrella o a una estrella Sol; para los astrónomos modernos, los términos “estrella” y “sol” son sinónimos. (No son sinónimos en el lenguaje cotidiano, pero lo que nos importa es el vocabulario técnico del astrónomo). En cuanto a la referencia de estos términos, para nosotros existe una estrella más y miles de millones más de soles de los que los precopernicanos hubieran podido admitir en principio.

Considérese ahora otro par de conceptos estrechamente relacionados, caída y pesantez o peso. Tanto los antiguos y los medievales como los contemporáneos afirman que los cuerpos pesados caen, y ofrecen explicaciones de este fenómeno, pero no sólo difieren las explicaciones; la frase “Los cuerpos pesados caen” tiene diferentes

significados en los contextos de la ciencia aristotélica y moderna debido a las diferencias en los significados “peso” y “caer”. Para Aristóteles no hay sólo una distinción relativa entre “ligero” y “pesado”, sino una distinción absoluta: la ligereza es una propiedad real tanto como el peso; los objetos pesados se mueven hacia abajo a su lugar natural; los objetos ligeros hacia arriba, al suyo. El concepto que Aristóteles tiene de un cuerpo pesado difiere del nuestro. De modo similar, su concepto de caída es distinto del nuestro, puesto que no sólo tiene un sentido diferente, movimiento hacia un lugar natural para Aristóteles, movimiento hacia un cuerpo gravitatorio para nosotros, sino que también lo es su extensión. Para Aristóteles tanto la piedra que se mueve hacia el suelo como el movimiento ascendente de una chispa o de un globo de helio son ejemplos del mismo tipo de movimiento. [Son movimientos “hacia lugares naturales”].

El concepto aristotélico de caída como movimiento hacia un lugar natural no dejaba lugar a la vez al concepto newtoniano de caída como movimiento bajo la influencia de la gravitación. Los conceptos fructíferos se desarrollan al ser incorporados a nuevas teorías, sufriendo a veces muchos cambios en el proceso. Por ejemplo, Galileo, al que se ha reconocido como descubridor de la forma moderna de la ley de caída de los cuerpos, introdujo un cambio crucial en el concepto aristotélico de caída y, así, produjo un concepto bastante diferente tanto del aristotélico como del newtoniano, pero mucho más cercano al primero. Galileo aceptó el concepto de caída como movimiento hacia un lugar natural, pero rechazó el análisis aristotélico de los lugares naturales. Para Aristóteles, como hemos visto, el espacio está estructurado independientemente de la materia, y el arriba y el abajo son propiedades inherentes del espacio. Para Galileo, por otro lado, el lugar natural de un cuerpo material está determinado por su fuente. El lugar natural de un trozo de tierra, por ejemplo, es la Tierra, y, por ende una piedra vuelve a la Tierra cuando cae: un trozo de Luna, si se deja libremente, caería de nuevo a la Luna.

Ahora bien, como todas las partes de la tierra cooperan a formar su conjunto, de lo que se sigue que tienen iguales tendencias a juntarse para unirse del mejor modo posible y de adaptarse tomando una forma esférica, ¿por qué no podemos creer que el Sol,

la Luna y otros cuerpos del mundo son también de forma redonda simplemente por un instinto concorde y una tendencia natural de todas sus partes componentes? Si alguna vez de estas partes fuera separada por la fuerza del todo, ¿no es razonable creer que volvería espontáneamente y por tendencia natural? [Galileo].

Este cambio en la noción de lugar natural elimina uno de los problemas clásicos planteados por los aristotélicos contra la visión copernicana, el problema de por qué los objetos térreos caen hacia su lugar en el centro del Universo si la Tierra misma no cae allí. Al redefinir el lugar natural de un objeto térreo como la Tierra misma, cualquiera que sea el lugar del espacio en el que eso pueda suceder. Galileo puede concebir la caída de una piedra como un retorno a su lugar natural eliminando cualquier inconsistencia entre esta afirmación y la copernicana de que la Tierra se mueve alrededor del Sol. Con Newton, los conceptos de lugar natural y la tendencia a volver al todo desaparecen y el concepto de caída experimenta otra transformación, en movimiento bajo el efecto de la fuerza gravitatoria. Más tarde, en el contexto de la relatividad general [de Einstein] con su destierro de las fuerzas y la introducción del movimiento a lo largo de curvas geodésicas en el espacio-tiempo, el concepto ha sufrido aún otra transformación, y no tenemos razón segura para creer que esta última sea la final. Además de los conceptos que cambian en el curso de una revolución científica, hay otros que caen. Esto ha sucedido con [los conceptos de] lugar natural, flogisto [y]éter, y es al menos lógicamente posible que algún desarrollo futuro de la teoría física elimine el concepto de caída. Pero las situaciones que nos interesan en este momento son aquellas en las que un concepto se transforma. En verdad, como muestra el destino de la ligereza absoluta y el lugar natural, el abandono de algunos conceptos puede dar lugar a la modificación de otros que se conservan.

Así después de una revolución científica encontramos modificaciones reconocibles de viejos conceptos. En el concepto de planeta, por ejemplo, tanto el sentido como la referencia cambiaron, pero se mantuvieron iguales muchos aspectos de ambos a través de este cambio. Por ejemplo, los planetas son todavía objetos celestes que se

mueven con respecto a las estrellas fijas y hay un considerable solapamiento entre la extensión del viejo concepto y la del nuevo.

De modo similar, a pesar de cambios fundamentales, el concepto de caída todavía se aplica al movimiento de una amplia clase de objetos dejados sin apoyo cerca de la superficie de la Tierra. Podemos esclarecer esta cuestión y avanzar en nuestro análisis de los conceptos y de su relación con las proposiciones en las teorías científicas considerando otro ejemplo, extraído esta vez de la mecánica de Newton.

¿Cómo hemos de definir el concepto newtoniano de masa? Newton da dos definiciones. En la primera definición define la “masa” como la cantidad de materia que se mide por el producto de densidad y volumen, pero también define “inercia” como la capacidad de un cuerpo para resistir los cambios en su estado de movimiento y hace notar que masa e inercia son dos formas diferentes de concebir la misma propiedad. Mientras que los libros de texto contemporáneos evitan tales definiciones verbales, los escritores difieren fundamentalmente en los modos en que introducen el concepto. Algunos, por ejemplo, toman “masa” como un concepto primitivo no-definido. Otros consideran “fuerza” como un término que comprendemos a partir de la experiencia cotidiana y usan la segunda ley de Newton para definir “masa” como la proporción de fuerza y aceleración. Pero ninguna de estas definiciones nos dice por sí misma cómo funciona el concepto de masa en la mecánica newtoniana, aunque la posibilidad de definiciones alternativas sí sugiere que hay una íntima relación entre los conceptos de masa, fuerza y aceleración, y que puede ser imposible entender cualquiera de estos conceptos sin entenderlos todos. Tenemos que examinar, por tanto, cómo funciona el concepto de masa en la estructura de la física newtoniana.

La masa aparece en las dos ecuaciones centrales de la física newtoniana: en la segunda ley, $F = ma$, y en la fórmula de la gravitación, $F = Gmm'/r^2$. El aprendizaje del uso de las ecuaciones para resolver problemas físicos y el aprendizaje del concepto newtoniano de masa son inseparables el uno del otro, así que no puede hacerse una distinción clara entre la comprensión del concepto de masa y la comprensión de las proporciones fundamentales en las que aparece. Además, la mecánica newtoniana se formula a menudo en

términos del cálculo vectorial. En dichos términos, fuerza, aceleración y posición son cantidades vectoriales y la masa es un escalar, de modo que una total comprensión del concepto de masa requiere la comprensión de la distinción entre un vector y un escalar y cómo manipular ecuaciones vectoriales. (Muchos de los estudiantes de física contemporáneos aprenden a manipular vectores en el curso del aprendizaje de la mecánica newtoniana). Por poner un ejemplo más, la mecánica newtoniana hace amplio uso del cálculo diferencial e integral. En estos términos, las [...] ecuaciones siguientes son equivalentes: $F = d(mv)/dt$ y $F = m dv/dt$. Aunque Newton no es responsable de la segunda de dichas ecuaciones que se atribuye a Euler. Entender por qué estas ecuaciones se toman equivalentes y por qué no podemos escribir también $F = v dm/dt$ es parte de lo implicado por la comprensión del concepto de masa (así como los conceptos newtonianos de fuerza, aceleración, velocidad, momento y tiempo). No podemos aprender los conceptos de la mecánica newtoniana aislados entre sí, ni aislados de las proposiciones y fórmulas en que aparecen, ni, puesto que la mecánica newtoniana es física matemática, aislados de las operaciones matemáticas que se aceptan como legítimas. Aprender física newtoniana no es aprender primero los conceptos y luego coordinarlos en proposiciones; es aprender simultáneamente una constelación de conceptos y las proposiciones y fórmulas en que aparecen.

Se puede adaptar aquí una metáfora usada por algunos empiristas lógicos para aclarar aún más la relación entre conceptos y proposiciones. En el curso de una crítica al operacionalismo, Hempel escribe:

“La sistematización científica requiere el establecimiento de diversas conexiones, mediante leyes o principios teóricos, entre diferentes aspectos del mundo empírico, que son caracterizados por conceptos científicos. De este modo, los conceptos de la ciencia son los nudos de una red de interrelaciones sistemáticas en la que las leyes y los principios teóricos forman los hilos”.

Desde que se escribió este pasaje, la opiniones de Hempel sobre este problema del significado han seguido desarrollándose. Como hemos visto, ahora reconoce plenamente que los significados de los términos teóricos no pueden ser especificados completamente por

referencia a un vocabulario previamente disponible, pero concluye de esto que el problema del significado de los términos teóricos “no existe”. La conclusión de Hempel debería ser que este problema como ha sido concebido por los empiristas lógicos no tiene solución, pero debido a que conserva su compromiso empirista, Hempel no logra darse cuenta de que ha sugerido un enfoque alternativo a la teoría del significado: un enfoque que proporcionaría mucha comprensión sobre el problema del cambio conceptual.

Un concepto científico es un nudo de una trama: los hilos de la trama son las proposiciones que forman una teoría; el significado de un concepto es su posición en la trama. Por tanto, el significado de un concepto está determinado por los hilos que llegan a este nudo, por los otros nudos a los que el nudo en cuestión está conectado y por las posteriores conexiones de estos otros nudos. En el caso del concepto de masa, la segunda ley y el principio de gravitación son dos de los hilos principales, y este nudo está, además, ligado a los nudos que constituyen los conceptos de fuerza, aceleración, etc. Pero las distinciones entre escalares y vectores y entre los cálculos diferencial e integral también aportan hilos a este nudo. En suma, un concepto no es algo simple que o se capta enteramente o no se capta en absoluto, sino más bien algo complejo que sólo puede aprenderse poco a poco. Es corriente que un alumno aprenda a usar conceptos tales como fuerza, masa y momento y una ley como la forma $F = ma$, antes de que haya estudiado cálculo. Cuando más tarde aprende cálculo y puede manejar la formulación del momento de la segunda ley de Newton, su comprensión de esta ley, así como de estos conceptos, se modifica. Poco a poco, y a medida que desarrolla su comprensión de una teoría, al aprender más de los hilos que forman la trama, desarrolla además una comprensión más cabal de los conceptos implicados.

[Sostuve] que Feigl estaba equivocado al mantener que una teoría es un constructo intelectual sin significado hasta que se lo conecta con las observaciones; yo indicaba que es más correcto mantener que las teorías dan significado a nuestras observaciones que mantener que son las observaciones las que dan significado a la teoría. Ahora puede aclararse más mi postura. La imagen de una teoría científica como un sistema de proposiciones y conceptos que existe independientemente de cualquier conexión con la observación no describe un estado en el

desarrollo histórico de ninguna teoría existente ni arroja luz sobre la estructura de las teorías científicas. Lo mismo que no puede haber observación significativa sin teorías, no puede haber ninguna teoría científica que no se use para organizar alguna área de la experiencia. Por tanto, hay un sentido en el que es verdad que la observación confiere significado a las teorías, pues una parte de la comprensión de una teoría es comprender a qué zonas de la experiencia se aplica, y las observaciones relevantes proporcionan un importante conjunto de hilos a la trama teórica, al mismo tiempo, la teoría proporciona el significado de las observaciones. Los conceptos, las proposiciones y las observaciones son los elementos a partir de los cuales se construyen las teorías científicas. Es imposible introducir cualquiera de estos elementos sin introducir los otros dos, y es imposible iniciar el aprendizaje de uno de estos aspectos de una teoría sin iniciar el aprendizaje de los otros.

Finalmente, podemos aplicar la metáfora de la trama a conceptos que se transforman como resultado de una revolución científica. Algunos de los hilos que entran en un nudo particular se eliminan, otros son reorientados, y se introducen algunos hilos nuevos. El concepto conserva algunas de sus antiguas características puesto que alguno de los antiguos hilos han quedado intactos, pero también pierde algunas de las antiguas relaciones y adquiere otras nuevas, y de este modo adquirimos una versión nueva de un viejo concepto.

PARTE IV

CRÍTICA DE LA RAZÓN CIENTÍFICA

PRESUPUESTOS Y LÍMITES DE LA CIENCIA *

Peter E. Hodgson

Los logros de la ciencia y tecnología modernas son tan impresionantes e influyentes que, a veces, existe la tendencia a pensar que todos los problemas pueden resolverse por el método científico, y que cualquier problema que no pueda ser resuelto por este método es un pseudo-problema carente de sentido.

Semejante confianza ingenua en el poder universal de la ciencia es menos notable en nuestros días, porque cada vez resulta más evidente que la sociedad se enfrente a una serie de problemas recalcitrantes que no pueden ser resueltos sólo con métodos científicos, y, además, porque existen problemas humanos reales que se encuentran por siempre jamás fuera del alcance de la indagación científica. Por ello, es conveniente intentar clarificar los límites de la ciencia para poder ver así qué problemas podemos esperar razonablemente que sean abordados por ella y cuáles deben ser encarados por otras vías, si es que hay que hacerlo por alguna.

Los límites de la ciencia vienen establecidos por su naturaleza intrínseca, que la hace ser lo que es, y por los presupuestos de la sociedad humana que influyen en su vitalidad y afectan incluso a su misma existencia. La actividad de la ciencia está limitada además por su objeto, por su punto de vista, sus técnicas y sus criterios de significación. Podemos definir también los límites de la ciencia

(*) Fuente: Feyerabend, Radnitzky, Stegmüller y otros, "Estructura y desarrollo de la ciencia"

considerando ciertas áreas de actividad que se encuentran más allá de la ciencia.

La naturaleza de la ciencia

La ciencia no puede definirse mediante una fórmula nítida y simple; constituye una grandiosa y heterogénea aventura de la mente humana que desborda continuamente y por todos los lados las definiciones de los filósofos.

Podemos intentar captar su naturaleza examinando la ciencia tal y como es ahora, y viendo qué se acepta como científico por los profesionales en activo. Esto, sin embargo, no puede aceptarse como una definición completamente satisfactoria porque no todos los científicos actúan necesariamente y en todo momento de manera científica, y por ello necesitamos disponer de un criterio objetivo para poder juzgar cualquier obra particular. Semejante criterio tal vez pueda obtenerse del examen del cuerpo total de la actividad científica, aunque no puede ser identificado con ella.

Otra dificultad radica en que el significado de cualquier definición depende de las palabras utilizadas, y éste necesita ser ejemplificado e interpretado para hacer justicia a la realidad viva.

Podría darse una definición amplia de ciencia diciendo que la ciencia es el cuerpo integrado de conocimiento principalmente cuantitativo, construido por los esfuerzos dinámicos del hombre para aprender su entorno y a sí mismo de manera sistemática y comunicable.

Vale la pena examinar y explorar esta definición considerando con más detalle el significado de los términos empleados. Por cuerpo integrado de conocimiento no sólo queremos decir que sus conceptos están relacionados entre sí de forma definida y coherente, que constituye una estructura, que en cierto sentido no podemos conocer el todo hasta que no conozcamos todas las partes y sus relaciones, y que no podemos conocer una parte cualquiera hasta que no conozcamos al menos cómo está relacionada con las partes vecinas. Queremos decir además que en las áreas más desarrolladas de la ciencia dichas relaciones son siempre cuantitativas y expresable en términos matemáticos precisos.

La ciencia es *conocimiento* en el sentido de que es algo objetivo y permanente, precisamente porque constituye la aprehensión intelectual de una realidad que existe independientemente del acto de conocer y del sujeto cognoscente. Por ello, una vez establecido, el conocimiento científico es válido para siempre, aun cuando ulteriores avances puedan refinarlo y profundizarlo inmensamente, sobre todo en sentido cuantitativo. Lo anterior no equivale a decir que sea fácil saber cuándo un fragmento particular de conocimiento está realmente establecido en sentido científico. La investigación científica es difícil, los científicos son seres humanos falibles, y cualquier cosa imaginable que pueda salir mal es muy probable que salga mal, de hecho, en algún momento. Pero la gran fuerza de la investigación científica estriba en ser una tarea autocorrectora, principalmente por estar sometida a contrastes cuantitativos. Un amplio proceso de examen y re-examen está en marcha en todo momento, favorecido por la estructura integrada del conocimiento científico, y tarde o temprano cualquier resultado falso o conclusión ilegítima es identificada como lo que es. Aunque propenso al error, el esfuerzo científico es en definitiva estable por lo que al eje de verdad se refiere, especialmente en la medida en que hay involucradas relaciones cuantitativas. El científico que tema equivocarse alguna vez difícilmente podría empezar, tan siquiera su trabajo, y revelaría una falta de confianza en la naturaleza finalmente auto-correctora de la ciencia.

La ciencia concierne al “entorno” del hombre, y con este término nos referimos a los objetos materiales, sólidos, líquidos y gaseosos, que experimentamos a través de nuestros sentidos. Aunque empieza con los sentidos desnudos, la curiosidad incansable del científico le ha llevado a ampliar sus sentidos mediante una enorme variedad de instrumentos, a menudo de gran potencia y precisión. Sirviéndose de ellos, el científico puede “ver” un vasto rango de fenómenos, desde las distantes galaxias hasta el mundo atómico y subatómico. Este entorno incluye a otros hombres así como al mismo científico; ¿pero qué ocurre con sus estados mentales, sus sueños, sus ideas, esperanzas y temores? Esta es una cuestión más difícil, porque estas cosas no son accesibles a la observación directa de la misma forma en que lo son los objetos naturales y difícilmente se prestan a medición y cuantificación.

La ciencia ha de ser “sistemática” porque de otro modo no constituiría un cuerpo coherente de conocimiento. Observaciones y mediciones fortuitas no podrían constituir nunca conocimiento científico, o derivar de él. La investigación científica debe ser intencionada y premeditada, interesada en contestar cuestiones específicas o en investigar un aspecto determinado del mundo. La ciencia es una estructura que ha de ser construida de forma ordenada, ajustando cada pieza a lo que ya ha sido establecido.

La ciencia ha de ser “comunicable”. De hecho, ha sido edificada por miles de hombres a lo largo de los siglos, continuando cada uno de ellos la obra de sus antecesores. Para que esto sea posible, cualquier cosa que haya sido establecida debe hacerse pública de tal forma que otros científicos puedan evaluarla y comprenderla. Cada parte de la ciencia se ha originado como una profundización esclarecedora (insight) de un solo hombre, pero semejante esclarecimiento sólo queda incorporado en el cuerpo de la ciencia cuando es comunicado a otros científicos, asimilado y contrastado por ellos. La ciencia, pues, existe esencialmente en la mente corporativa de la comunidad científica, y aunque la mayor parte de ella se encuentra impresa en libros y artículos, es esta mente corporativa lo que preserva su significado y garantiza su validez.

La ciencia es un esfuerzo dinámico en el sentido de que se afana continuamente por ampliar sus fronteras y profundizar en su conocimiento. El científico, ciertamente, no queda satisfecho simplemente con descubrir una explicación de los fenómenos con los que se encuentra cada día, sin esfuerzo especial por su parte, pues de lo contrario no se tomaría tantas molestias en diseñar elaborados experimentos que ponen la materia en condiciones y circunstancias muy especiales, condiciones y circunstancias que no se encuentran en ningún lugar de la naturaleza. El carácter dinámico de la investigación científica se revela en la necesidad que tiene el científico de hacer experimentos, no le es suficiente con hacer simples observaciones de los fenómenos ya disponibles en la naturaleza e intentar erigir su ciencia a partir sólo de ellos.

La ciencia está en *continua expansión*, tanto intensiva como extensivamente, en cuanto las ciencias ya existentes son objeto de continua profundización, y en cuanto el alcance de la ciencia se

extiende a nuevos campos. En ambos frentes, existe un área de incertidumbre donde los nuevos descubrimientos son criticados y contrastados antes de ser aceptados como parte de la ciencia. El primer frente se refiere a detalles de método científico, y rara vez es sometido a controversia, mientras que el segundo es mucho más polémico. La mejor forma de describir el alcance de la ciencia consiste en ofrecer una lista de materias que abarque desde lo indudablemente científico hasta lo dudosamente científico.

A la cabeza de la lista se encuentran las ciencias físicas, sin duda alguna la más y mejor desarrollada de todas las ciencias. Forman un cuerpo de conocimiento coherente, preciso, detallado, integrado y sistemático referente a la estructura y comportamiento de los cuerpos materiales. Así, con toda seguridad, ésta es la forma ideal de ciencia que otras disciplinas menos seguras a menudo parecen estar intentando legitimar para sí al adoptar los métodos y procedimientos de la física, métodos y procedimientos que resultan dudosamente apropiadas en esas disciplinas.

Después de las ciencias físicas vienen las biológicas, y luego las ciencias psicológicas; y es entre estas últimas donde resulta difícil identificar cualquier límite claro a lo que poder llamar ciencia con propiedad.

Los presupuestos de la ciencia

La ciencia existe en las mentes de los hombres que viven en una sociedad humana, y las ideas, creencias y conceptos de la época estampan inevitablemente sus límites sobre la ciencia. Estas ideas y creencias pueden ser tan afines a los presupuestos naturales de la ciencia que hagan florecer a ésta, o bien pueden ser tan contrarias a esos presupuestos que la ciencia resulte obstruida, sea acallada, o no pueda existir en absoluto. Puesto que la ciencia es, por lo general, tan robusta que puede sobrevivir e incluso florecer en sociedades dominadas por ideologías extrañas a ella, es más fácil estudiar sus presupuestos en el contexto de su nacimiento. El parto constituye siempre un proceso delicado y azaroso, y el nuevo organismo es más sensible a influencias adversas entonces que en cualquier otro momento.

Una vez nacida, la ciencia posee tal vitalidad intrínseca que puede continuar desarrollándose en una amplia variedad de culturas, pues

arrastra consigo necesariamente la concepción del mundo que le dio origen.

La cuestión de los presupuestos de la ciencia puede plantearse en su forma más aguda preguntándose por qué se desarrolló la ciencia en la Europa de siglo diecisiete y no en cualquier otra de las grandes civilizaciones de la antigüedad. Babilonia y Egipto, la India y China, Grecia y Roma, alcanzaron altos niveles de civilización y capacidad tecnológica, y existieron durante muchos cientos de años. Sin embargo en ninguna de estas civilizaciones se desarrolló la ciencia de forma reconocible, excepto tal vez en unos cuantos individuos geniales, particularmente en la antigua Grecia.

Podemos aproximarnos al problema resumiendo los presupuestos necesarios de la ciencia, y ello nos muestra que la ciencia no puede ni tan siquiera empezar a existir sin que el explorador científico sustente, firme e implícitamente, un conjunto de creencias bastante particular y entretrejado acerca del mundo y acerca de su propia actitud hacia él mismo. El científico ha de creer que el mundo es racional y ordenado, y que este orden y esta racionalidad son accesibles a la mente humana, pues de lo contrario su empresa estaría condenada de antemano al fracaso. Debe creer que es bueno estudiar el mundo, y que el conocimiento obtenido es algo muy valioso que, sin embargo, debe ser compartido libremente entre todos los hombres. Por último, ha de creer que el orden del mundo es contingente, que el mundo podía haber sido hecho de otra manera, de modo que no cabe esperar desentrañar sus secretos mediante la pura contemplación sino que hay que aventurarse por el arduo camino de la observación y el experimento. Puesto que la ciencia constituye la obra de muchas mentes, estas creencias deben ser sustentadas por la comunidad entera, y esta comunidad ha de ser lo suficientemente numerosa y bien desarrollada tecnológicamente como para suministrar los instrumentos básicos de la ciencia y sufragar las necesidades vitales básicas de los científicos, con el fin de que éstos puedan dedicarse por completo a su trabajo.

Es interesante preguntarse cuál sería el efecto de negar alguno, o todos, de estos presupuestos. ¿Cabe concebir una ciencia basada en la creencia de que el mundo es caótico e impredecible? Al parecer, no es posible imaginar qué forma asumiría una ciencia de este tipo. En el presente siglo, Eddington ha intentado desarrollar la física sobre bases

puramente a priori, pero al final no consiguió resultados satisfactorios. Si creyésemos que la ciencia es algo diabólico que debería mantenerse en secreto, seguramente sus días estarían contados. Así pues, los presupuestos de la ciencia parecen ser esenciales e inmutables.

El fracaso de las civilizaciones antiguas en lo que al desarrollo de la ciencia se refiere, puede examinarse rastreando las creencias sobre la naturaleza de la realidad que son inconsistentes con los mencionados presupuestos. Este punto lo tenemos muy claramente ilustrado en la antigua Grecia, donde a pesar de sus brillantes principios, la ciencia no consiguió nacer de modo viable. Aunque algunos griegos, como Demócrito y Anaxágoras, creían que todos los cuerpos poseen la misma naturaleza material, la mayor parte de los pensadores griegos, desde Platón a Ptolomeo, creían en la divinidad de los cielos y que los movimientos de los cuerpos celestes determinan todos los procesos que tienen lugar en la Tierra. En el contexto de este determinismo cíclico, era imposible imaginar partículas moviéndose como resultado de algún impulso o por propia inercia. En este aspecto vital, el genio griego no consiguió destruir uno de los presupuestos que impidieron la emergencia de la ciencia en todas las civilizaciones antiguas.

Los griegos fracasaron además a la hora de destruir el dilema entre mecanismo y propósito, [entre determinismo y libertad consciente]. Demócrito propuso una física mecanicista de átomos en el vacío, pero esto resultaba repugnante a un Sócrates que deseaba conservar un mundo de libre albedrío y propósitos. En consecuencia, Sócrates abogó por una nueva física en la que la investigación de las interacciones de las partículas era sustituida por una investigación de las posiciones cuya ocupación resultara más ventajosa a los cuerpos. Esta física organística fue desarrollada por Aristóteles, quien asignó a los cuerpos materiales un empeño por alcanzar sus lugares racionales. Mientras la física aristotélica preservaba la actividad teleológica [orientada hacia los fines], impidió durante casi dos mil años el desarrollo de la física.

Estas ideas, que se combinaron impidiendo el nacimiento de la ciencia en las civilizaciones antiguas, fueron decisivamente socavadas por las creencias cristianas que actuaron lenta pero firmemente a lo largo de toda la Edad Media y ello preparó el camino al nacimiento de la ciencia en el siglo diecisiete.

La creencia cristiana en un Creador racional y omnipotente del mundo implantó firmemente en las mentes medievales la convicción de que el universo es racional y contingente, dos de los presupuestos esenciales de la ciencia. La creencia en la importancia histórica central de Cristo, quien con su muerte y resurrección redimió al hombre del pecado, socavó decisivamente la idea de una repetición continua de los eventos siguiendo el movimiento de los cielos, y con ello se rompía el ciclo determinista que impidió la emergencia de la ciencia en la antigüedad. El cristianismo destruyó también el dilema entre mecanismo y propósito, puesto que ambos son productos de la sabiduría del Creador. La bondad del mundo está asegurada por su origen divino y por la encarnación de Cristo, y la obligación de compartir libremente nuestro conocimiento constituye una parte integral de la tradición cristiana.

Puede arrojarse más luz sobre los presupuestos de la ciencia considerando las fuerzas que tienden a oponerse a ella. Estas fuerzas son de dos tipos muy diferentes: en primer lugar tenemos las ideologías que niegan uno u otro de sus presupuestos necesarios o que intentan hacer servir en ciencia algún fundamento extraño como sustituto, y en segundo lugar nos encontramos con la oposición a los resultados de la ciencia. El primer tipo ataca las raíces de la ciencia, el segundo sus aplicaciones prácticas.

Es muy raro que una ideología niegue explícitamente uno u otro de los presupuestos de la ciencia, puesto que éstos normalmente se encuentran a un nivel más profundo de conciencia; en realidad, los presupuestos han de ser principalmente de esta índole para que resulten eficaces. Actualmente es más común que una ideología proponga a sus propias creencias como base necesaria de la ciencia, en lugar de la razón y la paciente investigación de la naturaleza.

En efecto, durante los primeros días de la revolución soviética se afirmó que la ciencia debía basarse en el marxismo-leninismo, [en China llegó a plantearse lo mismo respecto al pensamiento de Mao]. Mientras el resultado de esto sea simplemente un conjuro preliminar antes de que el científico se ponga a trabajar en la forma usual, no pasa de ser relativamente inofensivo, pero se convierte en una seria amenaza para la ciencia si áreas completas de la actividad científica son destruidas por razones ideológicas, como ocurrió en la Unión Soviética.

ca con la relatividad, la teoría del enlace molecular y la genética, en varias ocasiones.

La oposición a la ciencia debido a que algunas de sus conclusiones resultan molestas por una u otra razón, ha sido muy corriente en la historia humana y ciertamente puede ser muy perjudicial para la ciencia. En varias ocasiones, la ciencia ha sido combatida porque sus conclusiones fueron interpretadas como teológicamente inaceptables, o porque amenazaban la paz al poner nuevas armas en manos de los militares, o porque dañaban el medio ambiente, o porque sus modos de pensamiento hacían zozobrar patrones tradicionales de comportamiento. Ejemplos de estos y otros tipos de oposición a la ciencia pueden encontrarse muy frecuentemente en la historia de unos cuantos cientos de años atrás, y en la mayoría de los casos fueron resultado de malas interpretaciones de la naturaleza de la ciencia y de sus conclusiones, pues la verdad no puede estar en conflicto con la verdad. Así, nada de lo que podamos sostener correctamente como verdadero sobre otras bases puede estar en conflicto esencial con la ciencia, que aporta principalmente resultados cuantitativos, aun cuando temporalmente puedan aparecer diferencias debido al desarrollo incompleto de nuestra comprensión en uno u otro campo. Pueden surgir también oposiciones a la ciencia, como ocurre en algunos de los ejemplos mencionados antes, debido a que no se acierta a distinguir entre conocimiento científico en sí mismo, que es siempre algo bueno, y sus aplicaciones, que no siempre se llevan a cabo de acuerdo con los valores humanos más elevados.

Los límites de la ciencia según su objeto.

1. Regularidades.

El objeto de la ciencia ha sido mencionado ya brevemente en relación con la definición de ciencia, pero necesitamos ampliar su examen porque resulta crucial para fijar sus límites.

Los científicos buscan la comprensión del mundo, y esto significa, en la práctica, que intentamos descubrir regularidades en el comportamiento de las diferentes partes del mismo. El científico se interesa, pues, por los eventos sólo en la medida que estos descubren regulari-

dades, en contraste con el artista y en cierto sentido con el historiador, que están interesados en la particularidad de cada evento.

La ciencia se limita a aquellos aspectos de los eventos que exhiben regularidades que pueden coordinarse con regularidades similares de otros eventos. Dichas regularidades se perciben en primer término por observación y luego, a nivel más sofisticado por experimentación y medición controladas.

Cualquier fenómeno constituye potencialmente un objeto apto para la ciencia, pero sólo es aceptado como tal cuando las regularidades se hacen evidentes, preferentemente en forma mensurable, y que encajen en algún sistema teórico. Ello es evidentemente así en la investigación de los cuerpos inanimados y de los organismos vivos, y hasta cierto punto, también en los fenómenos psicológicos.

La historia de la ciencia proporciona muchas instancias de fenómenos que no consiguen ser aceptados como objeto adecuado de la ciencia hasta que sus regularidades no se hagan patentes. Los meteoritos fueron ignorados por la comunidad científica hasta que la evidencia se hizo irresistible. Las partículas elementales sólo fueron aceptadas como entidades físicas cuando ya habían sido descubiertos un número considerable de ejemplos similares y evidentes; un solo evento es casi siempre insuficiente en cuanto que resulta concebible explicarlo como una serie de coincidencias fortuitas.

Otros fenómenos exhiben un comportamiento errático tal que sólo entran a formar parte de la ciencia cuando el aparato de detectar o medir es tan refinado que hace aparecer las regularidades. Hubo que luchar durante mucho tiempo antes de que las mediciones eléctricas pudieran hacerse de modo fiable, y el efecto fotoeléctrico mostró su simplicidad sólo después de que Millikan mostrase cómo preparar una superficie metálica pura dentro de un envase en el que se ha practicado el vacío.

El refinamiento de los instrumentos que posibilitan al científico ver un enorme rango de fenómenos, desde los muy pequeños a los muy grandes, corre paralelo con el refinamiento de los conceptos que le posibilitan coordinar sus observaciones en una estructura teórica coherente. Todo el poder del análisis matemático es empleado en esta tarea, y ciertamente el trabajo del científico necesita a menudo del desarrollo de aquellas ramas de la matemática que él utiliza. Este

trabajo ha levantado el enorme y bien trabado edificio de la física teórica que, aun cuando todavía está lejos de ser completo, es capaz de proporcionar profundos esclarecimientos cuantitativos en el enorme rango de fenómenos que han sido investigados por los experimentalistas.

En este punto, es importante subrayar que los procesos de refinamiento hacen posible que el científico penetre más profundamente y vea más claro en la estructura del mundo real. La postura opuesta, que sostiene que la ciencia según se va desarrollando deviene cada vez más abstracta y consta sólo de sofisticados constructos mentales con los que clasificamos e interrelacionamos la evidencia empírica, es decisivamente rechazado por la práctica de los científicos, y en particular por el conocimiento masivamente objetivo y detallado del mundo atómico y nuclear, que constituye uno de los frutos más notables de la ciencia moderna.

Fuera de las ciencias físicas, los criterios de aceptación sobre qué constituye un objeto apto para la ciencia son mucho más difíciles de aplicar. Todavía se están librando batallas sobre telepatía, percepción extrasensorial y psicokinesis [...]. Es muy fácil que el científico convencional se mantenga aparte; probablemente su propia disciplina tenga principios inciertos.

Incluso en las ciencias físicas, constituye una experiencia familiar que en la investigación sólo se encuentren regularidades significativas cuando el científico sabe exactamente qué es lo que busca, cuando hay una teoría que guíe su investigación. Las dificultades encontradas cuando no existen tales teorías, como ocurre en las materias mencionadas en el párrafo anterior, no deberían producir sorpresa alguna.

2. Puntos de vista

Un objeto o fenómeno puede ser abordado desde muchos puntos de vista distintos, poseyendo cada uno su propia validez. La descripción de un objeto puede que sea completa en un sentido, no obstante omitir totalmente rasgos que desde otro punto de vista son igualmente importantes. Puesto que sólo uno de estos puntos de vista es el científico, hemos de concluir que por su misma naturaleza la ciencia sólo nos habla de un aspecto de la realidad. La importancia relativa de este aspecto es una cuestión que se encuentra más allá de la

ciencia. Hace falta ilustrar esto último con ejemplos a fin de mostrar con más detalle las características del punto de vista científico.

El científico aborda un objeto o fenómeno con el deseo de comprender su estructura y comportamiento físicos. Quiere ser capaz de definir sus propiedades de forma tal que queden determinadas con toda precisión, y, a ser posible, expresadas numéricamente. Quiere comprender su estructura tan profundamente que pueda hacer cálculos con los valores medidos de sus propiedades y expresarlos en términos de una teoría comprensiva. Le gustaría ser capaz, además, de predecir lo que ocurriría si el objeto fuera colocado en una multiplicidad de diferentes circunstancias.

Así, por ejemplo, cuando el científico estudia un cristal, mide su densidad, su color, su conductividad térmica y eléctrica, su dureza y elasticidad, los ángulos y reflexividades de sus caras, la atenuación y polarización de la luz al atravesarlo, su comportamiento en campos eléctricos y magnéticos, la forma en que dispersa la luz y los rayos-X, etc. Intentará comprender todo esto en términos de la teoría atómica de las estructuras cristalinas. El análisis químico le informará de los constituyentes atómicos del cristal, y postulará que esos átomos están dispuestos en un orden reticular definido. Esto le posibilitará calcular las propiedades observadas, y la comparación con los valores medidos le hará posible comprobar la corrección de su hipótesis. Cuando todas estas cosas encajen unas con otras, el científico sabe que posee algún conocimiento y comprensión, preliminar al menos, del cristal.

Nuestro científico probablemente encontrará ciertas discrepancias entre teoría y experimento, discrepancias que sugieren la incompletud de su conocimiento, y ello le estimulará a hacer mediciones más exactas y a desarrollar sus teorías. Tal vez encuentre alguna forma completamente nueva de examinar los cristales, por ejemplo mediante irradiación de neutrones, y esto le proporcionará un conocimiento más detallado. Su modelo sugerirá nuevas cuestiones: ¿La red cristalina es perfecta, o tiene algunas desviaciones o dislocaciones en relación al orden perfecto? ¿Cómo está formado el cristal? ¿Cómo se quiebra?, etc.

Este proceso es familiar al científico, y no tiene fin. Su objetivo es conseguir una descripción tan completa como sea posible.

Sin embargo, si entregamos nuestro cristal a alguien que no sea científico, que no se acerque a él desde el punto de vista científico, su reacción puede ser totalmente diferente y conllevar toda una serie nueva de actividades, cada una de ellas con su validez propia y su propio sistema conceptual.

Si además el cristal es una piedra preciosa, cualquier dama podría pensar cómo incorporarlo en joyería de modo que resalte su belleza lo más posible, y preguntarse qué vestidos combinarían con él.

Un comerciante calcularía su valor y a quién podría venderlo. Si se trata de un diamante en bruto, un tallador podría empezar intrincadas operaciones hasta decidir cómo cortarlo y pulirlo a fin de obtener el mayor número posible de piedras preciosas.

Esta lista está muy lejos de ser exhaustiva, pero es suficiente mostrar que el mismo objeto puede ser abordado desde muchos puntos de vista.

Si esto es cierto respecto de los objetos inanimados, es mucho más exquisitamente verdadero cuando lo aplicamos a los productos humanos y a los seres vivos. Si un científico encuentra un pedazo de papel con algunos signos en él, podría dar una descripción puramente científica del mismo hasta el grado de detalle requerido, cualquiera que éste sea. Pero puede que omita por completo el aspecto más importante del papel que encierra un mensaje en una lengua oriental. De hecho, es casi seguro que el científico reconocería este aspecto, pero por su capacidad en cuanto hombre, no en cuanto científico. No siempre es éste el caso, pues se discute a veces si determinados signos o señales de algunas piedras son entalladuras primitivas o tienen un origen puramente natural.

Complejas experiencias pueden percibirse de formas muy diferentes. Un paisaje puede ser percibido de modo muy distinto por un pintor, un botánico o un artillero, y sin embargo todos ellos perciben el paisaje integro. La configuración de las olas enfrente de un barco es percibido de modo diferente por el alerta timonel y por el relajado pasajero.

Lo anterior resulta mucho más apropiado cuando consideramos el caso del hombre. El punto de vista científico sólo, ya posee numerosos aspectos correspondientes al rango de las especialidades médicas y psicológicas. Cada especialista mide e informa de la manera

más detallada. Puede ampliar sus observaciones y mediciones hasta incluir el aspecto dinámico, cómo se comporta el hombre día a día, hasta finalmente llegar a abarcar su vida entera. Pero no se detendrá a considerar por qué ha nacido el hombre, y qué le ocurre después de la muerte, cuestiones éstas que el hombre mismo muy bien podría considerar más importantes que todos los detallados tests y análisis científicos a que ha sido sometido.

Cuando el científico ha terminado su trabajo, siempre le resulta posible afirmar que lo que ha realizado es una descripción tan completa como la que nos es posible obtener en el momento actual, y seguir rechazando cualesquiera otras cuestiones como carentes de significado. Esto está permitido, pero sólo al científico que habla como científico. Tan pronto como piense como hombre en la plenitud de su naturaleza humana, sabe que las otras cuestiones atraen insistentemente su atención.

3. Técnicas

Una parte esencial de la ciencia está formada por las técnicas empleadas para obtener los resultados incorporados en la concepción científica del mundo. Dichos resultados abarcan desde las cuidadosas observaciones del biólogo hasta las sofisticadas mediciones del físico. Aunque la medición precisa no constituye un componente esencial de la ciencia, es característica de su desarrollo más elevado, y la gran precisión conseguida en muchas ramas de las ciencias físicas constituye una condición esencial para la amplitud de su comprensión y de su detallado poder predictivo.

Es esencial que todas las técnicas del científico sean generalmente accesibles y repetibles, de modo que cualquiera, en cualquier lugar y con el equipo instrumental y la habilidad pertinentes, pueda repetir el experimento y verificar sus resultados. Esto es cierto dicho del rango total de las ciencias y no se ve afectado por las aparentes excepciones que nos proporcionan eventos naturales raros, tales como los eclipses y las supernovas.

No se acepta ningún resultado como parte de la ciencia a menos que haya sido comprobado independientemente por dos o más científicos y, hasta que dicha comprobación no se realice, el resultado queda como algo provisional. Ningún científico puede pretender que

alguna técnica particular sea solamente suya. Esto no quiere decir, desde luego, que todos los observadores son igualmente competentes; como es natural, unos son más capaces que otros y obtienen resultados cuya fiabilidad y precisión depende de su pericia.

Semejante requisito de universalidad es una de las razones por las que resulta tan difícil hacer un estudio científico de fenómenos tales como la psicokinesis y la percepción extrasensorial, que parecen ir asociados sólo con ciertos individuos en circunstancias particulares. Por la misma razón, una experiencia personal única, por muy impresionante que sea para quien la sufre, no puede considerarse como parte de la ciencia.

4. Criterios de significación

Es posible hacer observaciones y mediciones de forma plenamente científica sobre cosas o procesos que son objetos válidos para el estudio científico, y sin embargo obtener resultados que no poseen significación científica alguna. Así, por ejemplo, si cuento el número de cerillas apagadas que hay en la carretera mientras camino por ella, mi resultado puede que sea perfectamente preciso, pero no es un resultado científico, a no ser que posea alguna minúscula significación sociológica.

Tal es en esencia el error fundamental del método de Bacon: hacer simplemente gran número de observaciones y mediciones, y luego intentar unificarlas en una ciencia. De hecho, hemos de ser extremadamente selectivos en nuestras observaciones y mediciones, y a varios niveles distintos.

En el nivel más bajo, nuestro trabajo científico debe dirigirse a los objetos adecuados de estudio según el punto de vista científico. Luego, de entre el número infinito de mediciones que podrían hacerse, el científico ha de intentar seleccionar las más significativas. Esta es la parte más difícil de la investigación científica, porque la significación de un fragmento de investigación sólo resulta manifiesta, en todo caso cuando se ha consumado dicha investigación. No obstante, el científico ha de juzgar de algún modo, antes de empezarlo, si vale la pena realizar un fragmento determinado de su trabajo, y ello requiere experiencia, instinto y suerte: es un arte que no se adquiere con facilidad.

Para guiarse en esta selección, el científico cuenta con el estado del conocimiento en su tiempo tal y como ha tomado cuerpo en libros, artículos, conferencias y discusiones con otros científicos. Debe conocer la situación experimental del presente y el estado de desarrollo de las teorías, para poder juzgar así qué trabajo experimental falta por realizar todavía, y qué aspectos de las teorías deberían ser contrastados. Si el científico está completamente inmerso en todo esto, sabe qué cosas sería razonable hacer, sabe qué investigación sería aceptada para su publicación en una revista respetable. Si su trabajo no satisface esta condición, no es un trabajo científico serio. Cuando se trata de una rama de la ciencia en rápida expansión, esto significa que en un trabajo perfectamente respetable en un momento determinado resulta inadmisibles unos cuantos años después. Los científicos en activo lo pasarían por alto compasivamente, y considerarían que su autor ignora el estado de la cuestión.

El criterio anterior sirve para definir que es ciencia en un momento particular, pero deja abierto todavía un amplio rango de posibilidades, y en este punto es donde entra en juego el juicio del científico. Hasta aquí, sólo ha necesitado un conocimiento de la bibliografía y una comprensión del estado del desarrollo de su materia, ahora ha de ejercitar habilidades mucho más sutiles, y es principalmente en este nivel donde se manifiestan las habilidades reales del científico, distinguiendo al realmente capaz del simplemente competente. El objetivo estriba en identificar las líneas de investigación que conducirán a un descubrimiento nuevo, o al desarrollo de una teoría que arrojará nueva luz sobre la materia. Una vez hecha la elección, la prosecución efectiva de la investigación es un asunto mucho más directo que depende de la capacidad técnica, paciencia y otras habilidades afines.

Estos son los criterios de significación que se aplican en la etapa programática de la investigación. Hay otros criterios que entran en juego cuando empiezan a aparecer los resultados. Es raro que una pieza de investigación tenga un límite final bien definido. Los primeros resultados le pueden decir al científico si es probable que consiga muchos frutos; si son poco prometedores, pueden decidir hacer más corto su fracaso y empezar alguna otra cosa. Si son prometedores, tendrá que modificar continuamente sus planes a fin de mejorar la precisión y significación de sus resultados. Tendrá que compararlos tan pronto como pueda con las teorías existentes, para descubrir así

como habría que afinar las mediciones, a fin de obtener resultados todavía más significativos.

En esta etapa los criterios se encuentran también a varios niveles distintos, no siempre fáciles de discernir. La simple comparación entre teoría y experimento rara vez arroja un acuerdo perfecto, incluso aceptando los errores estadísticos. Si existe una discrepancia notoria, ello constituye un resultado altamente significativo que puede obligar a la modificación o incluso al abandono de la teoría. Es más frecuente que los desacuerdos sean pequeños, y constituye entonces una cuestión de juicio si habría que ignorarlos, como debidos a alguna interferencia inesperada, o seguirles la pista con más detalle, haciendo más mediciones de mayor precisión. Aquí de nuevo, hace falta una cantidad considerable de juicio y discernimiento. Es completamente imposible seguir la pista de todas y cada una de las discrepancias, y, sin embargo, efectos muy pequeños han sido muchas veces en la historia de la ciencia los primeros indicios de importantes descubrimientos y aun de nuevas ramas enteras de la ciencia.

Hasta aquí, los criterios de significación científica han sido considerados sólo dentro del sistema vigente o paradigma. La mayor parte de la ciencia es de esta índole pero ocasionalmente el paradigma reinante parece ser cada vez más inadecuado y es sustituido finalmente por otro mejor, como ocurre en tiempos de cambio revolucionario. El trabajo que desemboca en tales cambios es de la mayor importancia, y precisamente porque choca con los paradigmas contemporáneos puede que sea rechazado al principio por acientífico. En la historia de la ciencia se han dado muchos ejemplos de este tipo.

Los nuevos paradigmas no son aceptados fácilmente por quienes están inmersos en el antiguo, pero los criterios de significación son los mismos que los aplicados anteriormente, en particular el requisito de que los nuevos paradigmas den sentido a nuestras experiencias y hagan posible correlacionarlas y predecirlas de forma cuantitativa.

Es interesante observar que estos criterios de significación de muchos tipos y muchos niveles, nunca son codificados ni enseñados a los jóvenes científicos. A estos no se les proporciona una guía manual que les diga qué es científico y qué no lo es, o cómo deberían decidir en qué investigación embarcarse.

La razón de esta sorprendente omisión tal vez se encuentre en el carácter generalmente afilosófico de los científicos, o quizás en la

certera intuición de que semejante codificación probablemente resultaría más inhibitoria que inspiradora.

5. Más allá de la ciencia.

Hasta ahora, hemos definido los límites de la ciencia considerando la naturaleza intrínseca de la actividad científica, que por sí misma impone límites sobre los tipos de cuestiones que cabe plantear y resolver con el método científico.

Un planteamiento alternativo es considerar qué áreas de actividad se encuentran por su misma naturaleza más allá de los límites de la indagación científica. En la medida que estas áreas sean reconocidas como reales, nos informarán también sobre los límites de la ciencia. Lo que sigue no es, en absoluto, una lista exhaustiva; simplemente ofrece unas pocas ilustraciones que podrían multiplicarse con facilidad.

Lo primero que nos viene a la mente es todo el discurso filosófico sobre la ciencia misma. El presente ensayo, por ejemplo, ciertamente no es un escrito científico; por ello, si posee algún significado, éste debe avenirse a otro status distinto. La historia de la ciencia, y en realidad toda historia, es distinta de la ciencia porque se interesa de los eventos en su particularidad única, mientras que la ciencia está interesada en los eventos sólo en la medida en que estos ejemplifican principios generales.

Así mismo, el área total de los juicios morales cae fuera de la ciencia. Es posible observar y describir acciones humanas, pero no es posible decir desde dentro de la ciencia si esas acciones deberían o no deberían haber sido ejecutadas; semejante juicio sólo puede hacerse desde fuera de la ciencia. Se trata de la distinción familiar entre enunciados de “es” y enunciados de “debe”. Se ha intentado derivar una moralidad de la práctica científica afirmando que deberíamos comportarnos siempre de la forma más acorde con el desarrollo de la ciencia. Además de llevar a ciertas conclusiones inaceptables, tales como la legitimación de experimentos médicos sobre personas que no los aceptan libremente, esta línea de razonamiento sólo es válida si aceptamos primero el valor supremo de la ciencia, juicio éste que está fuera del alcance de la ciencia. Por tanto, concluimos que toda el área de los juicios morales cae fuera de la ciencia.

Lo anterior no equivale a decir que la moralidad no tiene nada que ver con la ciencia. Por el contrario, es esencial para que su vida sea sana. La revelación cristiana, que tanto hizo en preparar el camino al nacimiento y crecimiento de la ciencia, proporciona también la moralidad que hace posible su desarrollo. Virtudes como veracidad, paciencia, modestia, perseverancia, franqueza, coraje y optimismo son todas ellas virtudes necesarias para el trabajo del científico, si es que éste quiere hacerlo bien. Desde luego, estas virtudes no garantizan por sí mismas el éxito, y muchas de ellas son exaltadas también por otras grandes religiones de la humanidad.

Finalmente, existen apremiantes cuestiones del destino último del hombre, no menos persistentes a pesar de la dificultad de su respuesta. ¿Cómo es que en este pequeño planeta han surgido seres capaces de escudriñar y comprender parcialmente su mundo, llevados por una curiosidad infatigable de explorar los recovecos más profundos del átomo y la inmensidad de los espacios galácticos? ¿Cuál es el fin último al que deberíamos conformar nuestras vidas?

Estas cuestiones son cuestiones persistentes, y aunque nuestro trabajo científico puede ayudarnos de innumerables formas, deben encontrar su respuesta más allá de los límites de la ciencia.

LOS ARGUMENTOS EXTRAÍDOS DE LA METODOLOGÍA NO DEMUESTRAN LA SUPERIORIDAD DE LA CIENCIA*

Paul Feyerabend

[Se argumenta que], aunque la ciencia, como resultado del esfuerzo humano, tiene sus fallos, no obstante sigue siendo mejor que otras formas alternativas de conocimiento y es superior por dos razones: porque utiliza el método correcto y porque hay multitud de resultados que demuestran la corrección de dicho método. Veamos con más detenimiento estas dos razones. La respuesta a la primera es simple: no hay ningún “método científico”, no hay un procedimiento único o un conjunto de reglas que presidan todo trabajo de investigación y garanticen que un trabajo es “científico” y, por tanto, digno de confianza. Todo proyecto, toda teoría, todo procedimiento tiene que ser juzgado segura sus propios criterios y las normas que corresponden al objeto de que se trata. La idea de un método universal y estable que sea un patrón invariable de adecuación es tan poco realista como la idea de un instrumento de medición universal y estable que pueda medir cualquier magnitud independiente de las circunstancias externas. En el curso de sus investigaciones en ámbitos nuevos los científicos someten sus normas a revisión del mismo modo que revisan y quizá, incluso, llegan a reformar por completo sus teorías e instrumentos. Pero el argumento central para nuestra respuesta es de orden histórico: no hay una sola regla, por muy plausible que sea y por bien fundamen-

(*) Fuente: Paul Feyerabend, “¿Por qué no Platón?”

tada que esté en la lógica y en la filosofía general, que no haya sido vulnerada en una ocasión u otra. Estas violaciones no son acontecimientos fortuitos, no son tampoco consecuencias, que podrían evitarse, de la ignorancia o de la falta de atención. En las condiciones en que se dieron eran necesarias para el progreso o para cualquier otra cosa que a alguien le pareciera deseable. Uno de los aspectos sobresalientes de las nuevas discusiones acerca de la filosofía y la historia de la ciencia es precisamente el conocimiento de que algunos acontecimientos como el descubrimiento del átomo en la antigüedad, la revolución copernicana, el auge del atomismo moderno [...], la aparición progresiva de la teoría ondulatoria de la luz tuvieron lugar porque algunos pensadores o bien decidieron no someterse más a ciertas reglas consideradas obvias, o bien porque inconscientemente las contravinieron. Y, al revés, podemos demostrar que la mayor parte de las reglas que actualmente los científicos y filósofos defienden argumentando que constituyen un “método científico” unitario son inútiles—es decir, no conducen a los resultados que se esperan de ella—o son perjudiciales. Es posible que un día lleguemos a encontrar una regla que nos ayude a superar todas las dificultades, del mismo modo que puede ocurrir que un día encontremos una teoría que explique absolutamente todo en nuestro mundo. Un desarrollo así no es muy probable; uno estaría dispuesto a creer que es incluso lógicamente imposible; no obstante, prefiero no excluir del todo esta posibilidad. Lo decisivo es que este desarrollo todavía no ha empezado: hoy por hoy nosotros tenemos que hacer ciencia sin poder confiar en un “método científico” bien definido y estable.

Quede advertido el lector que todo esto no se encuentra en textos de historia de la ciencia; incluso muchas publicaciones originales están escritas de tal manera que ocultan el desarrollo real del descubrimiento de que se trata. Los científicos mantienen ciertas ideas preconcebidas acerca de la ciencia, ideas que ellos mismos violan durante sus trabajos de investigación, pero en las que confían cuando comunican sus resultados. Sus publicaciones, los ensayos en los que sintetizan lo que han conseguido, las alabanzas que reciben de historiadores y filósofos están llenas de afirmaciones perfectamente ordenadas y “razonables”, pero en realidad se hallan en conflicto con lo que sucedió durante la investigación misma. La esquizofrenia resultante de esta situación, que

prácticamente atraviesa toda la ciencia moderna, constituye un fascinante objeto de investigación. Entre otras cosas, pone en evidencia que las referencias al método, que aparecen en las publicaciones científicas, deben tomarse con cierta reserva y que no sirven como prueba de que la ciencia esté dirigida por conjuntos de reglas bien organizadas.

En mi libro *Tratado contra el Método* he ilustrado con ejemplos esta situación. Tales ejemplos muestran que con frecuencia, a lo largo del desarrollo de la ciencia, se han quebrantado reglas metodológicas ampliamente difundidas y que además, si se tiene en cuenta la situación histórica, tuvieron que ser quebrantadas. Es cierto que una argumentación de este tipo es en gran medida hipotética; presupone la existencia de tendencias históricas y la de un saber acerca de los medios con que estas tendencias se podían dominar. También está claro que en el intento de fijar estas tendencias no nos podemos dar por satisfechos con el material que puede extraerse de las mismas ciencias, sino que hay que ir más allá.

Sobre todo hay tres ejemplos que son significativos. El del movimiento molecular de Brown pone de manifiesto que el material, que ha apoyado ciertas concepciones que hoy considerarnos firmes, con frecuencia se descubrió con ayuda de teorías que contradecían lo que en aquel tiempo se consideraba un saber sólido: contradecir el paradigma central es posiblemente una condición necesaria del progreso (esto conduce a la crítica de ciertas consecuencias que se han extraído de las investigaciones de Kuhn). El ejemplo de la revolución copernicana muestra que las grandes transformaciones en la historia de la ciencia implican un cambio no sólo en la teorías, sino también en los hechos a que uno se refiere y en las normas utilizadas para su evaluación, así como para las teorías: se introducen nuevas normas, que se propagan e inmediatamente se quebrantan. Este es un resultado verdaderamente sorprendente. Durante la revolución científica no sólo se mencionaron nuevas normas y métodos, sino que se definieron expresamente frente a otros procedimientos alternativos. La batalla se libró alrededor tanto de las teorías como de los métodos y, sin embargo, en su investigación práctica los defensores de los métodos nuevos sólo muy raramente se atuvieron a ellos. ¿Cómo se puede explicar esta extraña situación?

En mi opinión, la explicación más plausible es que los métodos que se proponen, los métodos que se propagan y que filósofos y científicos (y también artesanos) aceptan y, por último, los métodos que se vulneran son tres cosas distintas. El apelar a la observación y al rechazo de las opiniones preconcebidas es común a la tradición aristotélica y a la tradición mágica, racionalizada por Agripa; se encuentra en Bacon y en Descartes, así como en los muchos artistas y artesanos que en aquel tiempo comenzaron a tomar parte en el debate. Pero, mientras que estos últimos hablan concretamente, para ellos la “experiencia” es el conocimiento práctico de su oficio y la “observación” una acción cuyos resultados están influidos por ese saber; la “experiencia” de los filósofos no es ningún proceso concreto, sino una entidad de la que se ha sustraído todo saber teórico [...]

De la misma manera, normalmente la “idea preconcebida” constituye para los artesanos una doctrina concreta y de la que puede demostrarse que es falsa, mientras que para los filósofos es aquella doctrina cuya elección no va unida a su fundamentación. La invitación a realizar observaciones y el precepto contra las ideas preconcebidas tienen pleno sentido cuando se las interpreta de una manera concreta. Son poderosas porque vienen apoyadas por grupos humanos a los que han conducido al éxito y al ascenso de categoría social. Así pues, estas consignas son tan fructíferas como influyentes, pero no siempre se seguirán interpretando como al principio. Pronto los mismos artesanos empujados por la necesidad de prestar a su actividad una cierta respetabilidad filosófica comenzarán a generalizar hasta que lleguen un momento en que el significado concreto desaparezca y se sustituya por la generalización filosófica. A su vez, esta generalización tropezará con dificultades, pues es teórica e imposible de aplicar. No obstante, se la sigue conservando, ya que el significado concreto aún se mantiene largo tiempo entremezclado con aquella. Y así llegamos a la situación antes descrita: se aconseja la nueva metodología, a la que se considera como el único procedimiento adecuado a pesar de que nunca se pone en práctica. Este modelo complejo hace que sea imposible hacer una síntesis puramente inmanente ni siquiera del episodio más sencillo de la “revolución científica”. [Casi olvidamos] que el racionalismo que se enseña en nuestras escuelas, subyace en la política y se alaba en las ciencias, es una doctrina específica que históricamente surgió en un

momento también específico y ocupó el lugar de otra concepción, igualmente específica, del mundo y de la naturaleza del saber. [El] ascenso del racionalismo planteó numerosos problemas, de los cuales no solucionó ninguno, a pesar de la febril actividad de las áreas que se crearon para ocuparse de estos problemas (entre ellas la teoría del conocimiento y la filosofía de la ciencia) y aunque esta actividad siempre dio la impresión y todavía sigue dando la impresión de que está realizando constantemente descubrimientos impresionantes. Cuando se enfrenta al racionalismo con otras concepciones más antiguas y humanas, todos sus caracteres monstruosos salen a la luz y, cuando se sigue su desarrollo con todo detalle, se pone de manifiesto la cantidad de disparates que tuvieron que admitirse para que la criatura se mantuviera.

[Es] conveniente distinguir [...] cuatro posiciones metodológicas:

- A) El racionalismo anacrónico [...]
- B) El racionalismo contextual [...]
- C) El anarquismo ingenuo.
- D) Mi propia posición que se remite a [...] Kierkegaard.

Según A), es razonable (conveniente, de acuerdo con la voluntad de los dioses) hacer determinadas cosas, cualquiera que sea el resultado (es razonable preferir las hipótesis más probables, evitar hipótesis ad hoc, o hipótesis contradictorias y programas de investigación dudosos, etc.). La razón, que es válida universalmente y no depende del contexto, formula reglas y normas igualmente universales. Algunos comentaristas me han catalogado como racionalista anacrónico con una salvedad: que yo intento sustituir las exigencias tradicionales del racionalismo por exigencias “revolucionarias”, como el principio de proliferación y la contrainducción. Y esto a pesar de que he sostenido que:

No tengo la intención de sustituir un conjunto de reglas generalmente por otro, mi intención es más bien convencer al lector de que todas las metodologías, incluso la más plausible, tiene limitaciones. La mejor manera de hacerlo es poniendo al descubierto los límites, e incluso la irracionalidad de muchas de las reglas que el lector considera fundamentales. En el caso de la

inducción (incluido el de la inducción por falsación) habría que mostrar la facilidad con que la contrainducción se puede apoyar con argumentos.

La contrainducción y el principio de proliferación no se introducen como métodos nuevos, que tuvieran que sustituir a la inducción o a la falsación, sino como medios para mostrar los límites de la inducción y la falsación.

Según B), la razón no es universal, pero sí hay afirmaciones universales condicionadas acerca de lo que es racional en un contexto determinado y hay las correspondientes reglas condicionadas. También de esto se ha dicho que constituye el núcleo de mi posición. Es cierto que he llamado constantemente la atención sobre la necesidad de tener en cuenta el contexto, pero no en la forma en que el racionalismo contextual aconseja. Para mí las reglas de este racionalismo son tan limitadas como los del racionalismo anacrónico.

La posición C) reconoce la limitación de toda regla. Afirma a) que tanto las reglas absolutas como las condicionadas tienen límites, de tal manera que también una razón relativizada puede impedirnos alcanzar nuestros objetivos si la seguimos al pie de la letra, y b) que todas las reglas carecen de valor y tienen que ser abandonadas. La mayoría de los comentaristas piensan que a) y b), conjuntamente, dan mi posición, pero con ello pasan por alto todos los pasajes en los que demuestro cómo determinados procedimientos ayudaron a los científicos en su investigación. Pues en mi análisis de Galileo, del movimiento de Brown y de los presocráticos no sólo expongo el fracaso de viejas metodologías, sino también los procedimientos que en aquellos casos tuvieron éxito. Así pues, suscribo a) pero no b). Trato de exponer que todas las reglas tienen sus limitaciones, pero no propongo que debamos proceder prescindiendo totalmente de reglas. Sostengo que se debe tener en cuenta el contexto, pero también que las reglas contextuales no deben sustituir a las reglas absolutas sino a las complementarias. Mi intención no es abolir las reglas ni demostrar que no tienen valor alguno. Mi intención es más bien ampliar el inventario de reglas y proponer un uso distinto de las mismas. Es este uso el que caracteriza mi posición y no cualquier contenido determinado de las reglas.

Absolutistas y relativistas del tipo B) extraen sus reglas en parte de la tradición, en parte de consideraciones abstractas acerca de la naturaleza del saber, y en parte, también, del análisis de condiciones concretas. Después presuponen que toda actividad concreta y todo trabajo de investigación tienen que ser sometidos a estas reglas descubiertas por ellos. Tales reglas (normas) predeterminan la estructura de la investigación, garantizan su objetividad, garantizan que tenemos entre manos una actividad racional. En contraposición a esta concepción, considero que toda actividad y toda investigación son tanto posible ámbito de aplicación de reglas como prueba o test de estas reglas: en una investigación o en un tipo determinado de actividad, en la que estamos interesados, nos podemos dejar guiar por una regla, podemos permitir que esta regla excluya algunas acciones y que modifique otras, pero también podemos permitir que nuestra investigación derogue regla o que la considere como inoperante, aún cuando todas las condiciones conocidas exijan su aplicación. En la adopción de esta última decisión no nos guía una idea clara de las limitaciones de la regla o del carácter incompleto de las condiciones que la implican, pues las condiciones son completas, exigen la aplicación de la regla y no hay razón para modificarla. A nosotros nos guía más bien la vaga esperanza de que, en la medida en que trabajamos sin esa regla o sobre la base de otras reglas probablemente desconocidas, encontraremos una nueva forma de vida o una nueva forma de razón que dé significado a todo el proceso. Cuando procedemos de este modo, naturalmente suponemos que podemos encontrar, que podemos imaginar, otros modelos de acción distintos a los determinados por aquellas reglas, y que podemos retener estos modelos durante largo tiempo sin necesidad de apelar a instrucciones y normas formuladas explícitamente. Admitimos que un investigador, a la vez que descubre teorías e instrumentos, elabora teorías de la vida y de la razón que pueden introducir en oposición a todo sentido común, pues sólo se descubre el sentido y la razón de algo cuando ya se ha recorrido con ello un largo trayecto. Es posible que un guerrero salvaje que cuida a su enemigo herido, en lugar de dejarlo morir, como lo exige de él cualquier regla social, obre de una manera del todo infundada que, sin embargo, queda justificada desde el momento en que descubre que establecer vínculos entre culturas rivales conduce con frecuencia a

mayores beneficios que la destrucción del enemigo. Es esto lo que se quiere decir con el eslogan "anything goes", ¡haz lo que quieras! No hay ninguna garantía de que las formas de vida conocidas nos den aquello que queremos y que las formas conocidas de lo irracional vayan a fracasar en ello. Ni siquiera tenemos la garantía de que nuestros objetivos se puedan alcanzar, de que merezca la pena ir tras ellos o de que sean más importantes que aquello que se pierde en el camino de su realización. Cualquier procedimiento, por ridículo que parezca, puede abrirnos mundos sorprendentes que nadie hubiera podido imaginar; todo procedimiento por sólido y racional que sea puede mantenernos en una prisión, sólo que nosotros no nos damos ni cuenta.

Un científico que reconozca tales posibilidades no abolirá todas las reglas (aunque en ocasiones intente salir adelante sin ellas). Más bien intentará aprender tantas reglas como pueda; intentará hacerlas más flexibles; en ocasiones hará uso de ellas, otras veces prescindirá de las mismas. Pero siempre considerará que son reglas empíricas que pueden conducirle tanto al fin que se propone como al error, y de las que no hará ningún caso cuando las circunstancias así lo aconsejen.

Esta sería una breve exposición de la posición D), que es la mía propia.

La investigación que adopte esta posición no puede separar la metodología del estudio de acontecimientos históricos concretos (o episodios concretos de la historia de la ciencia). Para él, los refinados ejercicios lógicos, que nuestros metodólogos prefieren, son tan embrollados como una discusión sobre los vuelos sin investigar las propiedades del aire. Por eso no es extraño en absoluto que los metodólogos se quedaran completamente desconcertados ante mis observaciones abstractas, que leían y evaluaban independientemente de los casos concretos que se estudiaban. Sencillamente, lo que ocurre es que no puede imaginarse ninguna investigación que no trabaje según reglas previamente establecidas. Una de las preguntas que he oído con más frecuencia es la siguiente: "Supongamos que dispone de una determinada cantidad de dinero y tiene que elegir entre diversos programas de investigación: ¿Cómo procedería?" Naturalmente la respuesta es que yo tendría que saber mucho más acerca de la cuestión de dónde procede el dinero: ¿de una institución que prescribe la

aplicación del libro primero de Moisés a todo ámbito del saber, o de una institución que esta interesada en el progreso de la ciencia? En este último caso, ¿son los científicos conservadores o progresistas?, ¿en qué están más interesados?, ¿en la aplicación o en la teoría?, etc. Según los casos, habrá que aplicar un modo distinto de distribución. La política de la National Science Foundation cambia casi cada año dependiendo de la presión política, de la disponibilidad de medios económicos y de la ideología dominante en el momento entre los científicos. Hay que tener en cuenta todos estos factores. “Pero supongamos que todas estas dificultades están superadas y que lo único que se pretendiera fuera el éxito: ¿como actuaría usted en este caso?” Depende de lo que se entienda por éxito. Por ejemplo, para Einstein la teoría cuántica que formula pronósticos correctos, pero no posee ninguna coherencia interna especial, representa sólo un éxito limitado, mientras que otros miran con desprecio a las teorías, como la teoría general de la relatividad (como sucedió, por ejemplo, en los años veinte), que son teóricamente coherentes pero tienen pocos resultados empíricos. Ni siquiera la pregunta por la verdad acaba con la cuestión de una manera unívoca, pues tal y como hemos visto hay distintos conceptos de verdad. Todo lo cual pone de manifiesto que el intento de solucionar problemas, como el planteado más arriba del reparto de dinero, de una manera abstracta [...] es tan poco realista como el intento de construir aviones sobre la base de un conocimiento, aunque fuera fundamentado, acerca de las propiedades del vacío. Para objetivos distintos y bajo condiciones de realización distintas, se precisan métodos diferentes. Y cuando el objetivo no está definido de una manera fija no es en absoluto evidente qué procedimiento se debe emplear. Un científico —y en esto es semejante a cualquiera que esté ocupado en la resolución de problemas— no es un niño que tuviera que esperar a que el papá metodólogo le ponga a su disposición algunas reglas. Con frecuencia un científico actúa sin regla explícita alguna, construyendo (mediante su acción) una forma de racionalidad nueva. Si no fuera así, la ciencia no habría surgido, ni habrían tenido lugar las revoluciones científicas. Una y otros introdujeron reglas nuevas y nuevos métodos prácticamente de la nada (aunque a menudo los describen con un aparato conceptual tradicional, con lo que provocan la confusión en sí mismos y en sus intérpretes). Tenemos que reconocer que la ciencia es mucho

más flexible y difícil de lo que los racionalistas suponen. Un científico no sólo inventa teorías, sino también hechos, normas, metodologías y dicho brevemente, *formas de vida completas*. Si no hay ningún método científico, si en la ciencia puede aparecer cualquier forma de razón, está claro que ya no se puede considerar por más tiempo que la ciencia implica una forma especial de racionalidad. El argumento según el cual hay que preferir a la ciencias por su metodología se derrumba. Y el argumento de que hay que preferir la ciencia porque puede absorber todo método y todo resultado tiene que rechazarse pues hay otras ideologías que consiguen lo mismo; las ciencias y estas ideologías podrían distinguirse por el nivel en que casualmente se encuentran en un determinado espacio de tiempo, pero nosotros hablamos de posibilidades en principio y no de posiciones actuales. Esto elimina la primera razón por la cual se suele adjudicar a la ciencia un papel especial en la sociedad.

**Esta primera reimpresión de 1,000 ejemplares de
CIENCIA, TECNOLOGIA & SOCIEDAD
se terminó de imprimir en enero del 2001
en los talleres gráficos de Editora BÚHO.
Santo Domingo, República Dominicana**

