

# LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

VLADIMIR KOURGANOFF

con la colaboración de Jean-Claude Kourganoff

**EUDEBA**

EDITORIAL UNIVERSITARIA DE BUENOS AIRES

## INTRODUCCIÓN

Vivimos en la era de la ciencia . . .

El mundo de hoy está modelado en todos sus dominios por innumerables técnicas surgidas de los descubrimientos científicos.

La ciencia es una de las manifestaciones más características y notables de nuestra época y de nuestra civilización.

Cada país hace un recuento ansioso de sus laboratorios, sus investigadores y sus premios Nobel científicos, pues las naciones han comprendido repentinamente que su suerte está vinculada a los descubrimientos y a las realizaciones de sus sabios y de sus técnicos. Pero el mecanismo de esta vinculación permanece, para muchos, bastante oscuro y misterioso.

Esto no tiene nada de extraño, pues el análisis del vínculo entre la ciencia y la sociedad hace intervenir nociones que aún no forman parte de la cultura general tradicional. La unidad de la ciencia, la reciprocidad del lazo que la une a la técnica, el progreso por aproximaciones sucesivas, la primacía de la investigación "gratuita", son otros tantos temas demasiado "filosóficos" para el programa científico, pero desgraciadamente demasiado "pedestres" para el programa de filosofía del colegio secundario.

El fraccionamiento de la enseñanza de la ciencia entre un profesor de matemáticas, un profesor de física y un profesor de ciencias naturales prepara mal para la idea de que existe un vínculo estrecho entre las investigaciones acerca del cáncer o las pilas atómicas y el estudio de las nebulosas espirales. ¿Quién informará a los alumnos del carácter aleatorio de la investigación o de la complejidad de la noción de "descubrimiento"?

Son estas las nociones esenciales que procuraremos presentar al público, en la forma más elemental posible.

La idea que uno se forma de la ciencia es más importante de lo que se cree generalmente. Si la ciencia no es más que un juego del genio y del azar, ¿por qué preocuparse por estudiantes medianamente capaces y por los elimi-

nados en exámenes que obran como un filtro destinado a seleccionar una minoría? Si el investigador no es sino una máquina de descubrimientos, un productor especializado en la fabricación de resultados científicos, ¿por qué no transformar nuestras universidades en “fábricas de descubrimientos”, bien planificadas y bien jerarquizadas? Si existen criterios seguros que permiten distinguir las investigaciones “importantes” de aquellas que no lo son, dejemos de malgastar los dineros públicos en investigaciones cuyo interés no se nos impone inmediatamente.

Para aclarar al público el valor de tales concepciones nos pareció oportuno ensayar una síntesis, tan objetiva como fuera posible, de lo que sabios como Pasteur, Pierre Curie, Rutherford, Pavlov, Oppenheimer y muchos otros dijeron más cabalmente sobre los principales aspectos de la ciencia.

Aunque nos hemos preocupado por preservar, mediante algunas citas, el vigor y el sabor de ciertas fórmulas particularmente felices con las que esos sabios expresaron su conocimiento íntimo de la investigación, al mismo tiempo nos hemos empeñado en clasificar las ideas, ilustrarlas con ejemplos accesibles al gran público, y ofrecer a los lectores una imagen lo más clara posible de las realidades de la ciencia.

Aquellos que meditaron sobre la formación de investigadores, la organización y la financiación de la investigación o el intercambio de las informaciones científicas, conocen la importancia de las ideas claras sobre las finalidades de la ciencia, la cooperación y la competencia entre investigadores, o el riesgo de fracaso inherente a cualquier investigación en el límite de lo conocido.

Los sabios no hablan sino raramente de la ciencia; sus preciados testimonios, dispersos, son inaccesibles al público por el tecnicismo de los textos o están perdidos entre detalles anecdóticos que atañen a sus vidas. Hemos querido inspirarnos en algunos de estos testimonios y en nuestra propia experiencia para *dar el estado de los conocimientos actuales* acerca de aquellos *caracteres generales de la ciencia* que mayor influencia tienen sobre la *organización de la investigación*.

## LOS GRANDES PROBLEMAS DE ORGANIZACIÓN

## CAPÍTULO I

## CRISIS DE DESARROLLO EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

La investigación científica atraviesa actualmente una profunda crisis de desarrollo en el mundo entero. Ningún país está libre de ella; ni los Estados Unidos ni la Unión Soviética, pero su aspecto es particularmente grave en los países científicamente subdesarrollados.

Ante los gritos de alarma que surgen por todas partes, hay que distinguir entre las dificultades de los sabios —que tienen inconvenientes en afrontar los problemas planteados por la organización de una actividad muy singular, cuya complejidad crece con ritmo acelerado— y los temores de aquellos que ven en los progresos espectaculares de la investigación soviética una amenaza para su expansión económica, su seguridad militar y su prestigio.

Dejaremos aparte, evidentemente, este segundo aspecto, puramente político, de la crisis de la investigación. Examinaremos cómo el mismo desarrollo de la ciencia, en el transcurso del último siglo, hizo cada vez más difícil el ejercicio de la investigación y la formación de investigadores, insistiendo particularmente sobre la forma en que esas dificultades afectan a Francia.

Los progresos de la investigación científica en la Unión Soviética y en los Estados Unidos no nos interesarán sino en la medida en

que la experiencia soviética o norteamericana puedan ofrecernos datos interesantes sobre el problema fundamental de los factores de productividad en la investigación.

a) El problema de la cristalización de ideas. Imaginemos a un Pierre Curie, en el silencio y la soledad de su laboratorio, en la hora decisiva en que cristalizan las conclusiones de una larga serie de experiencias y cálculos.

“Sería necesario —escribía él— que todo fuera inmóvil a mi alrededor o que, al impulsarme como un trompo que silba, el movimiento mismo me aislara de las cosas exteriores.

”Cuando me vuelvo sobre mí mismo, tratando de cobrar impulso, una nada, una palabra, una narración, un diario, una visita, me detienen, me impiden convertirme en un giróscopo o en un trompo y pueden retrasar o retardar para siempre el instante en que, provisto de la velocidad suficiente, podría, a pesar de lo que me rodea, concentrarme en mí mismo.

”Nos hace falta comer, beber, dormir, holgar, amar, es decir, participar de las cosas más dulces de esta vida, y, sin embargo, no sucumbir. Al hacer todo eso es indispensable que los pensamientos antinaturales, a los cua-

les uno se ha consagrado, predominen y continúen su curso impasible en nuestra pobre cabeza. Hay que hacer de la vida un sueño, y de un sueño una realidad”<sup>1</sup>.

Pero, ¿puede acaso el sabio de hoy hacer de su vida un sueño? ¿Goza siempre de la libertad de “contemplar las cosas” hasta captarles su hondo significado y tornar su sueño en realidad? Una fecunda meditación exigiría que nada turbase su recogimiento. Pero allí están el llamado estridente del teléfono, el correo, los colaboradores, los colegas, los estudiantes, los periodistas... ¿Qué sabio, ya sea norteamericano o soviético, puede jactarse de huirles bastante?

No hay refugio. En la biblioteca, demasiadas posibilidades de encuentros: ¿puede uno estar allí unos minutos sin ser interpe-lado? En el despacho (cuando se lo tiene) la exigüidad de los locales y el mal aislamiento sonoro imponen el golpeteo nervioso de la máquina de escribir o el ritmo a sacudidas de la máquina de calcular de la oficina próxima. En el laboratorio las ruidosas conversaciones alrededor de uno y en los pasillos. ¿Cómo concentrarse? ¿Cómo impedir que las ideas “nafraguen en el abismo”? Los institutos científicos que, según Pasteur, debieran ser los templos de la ciencia, son demasiado pobres, entre nosotros, para ofrecer a los sabios ese lujo supremo: silencio y paz.

Pero el silencio a nuestro *alrededor*, a pesar de su importancia, no es el único factor de productividad en la investigación científica. Más trágica aún, para todo sabio moderno de cierto renombre, es la falta de tranquilidad espiritual, el silencio *dentro* de sí mismo. Lo vasto de sus responsabilidades, la preocupación por sus próximas conferencias, la preparación de sus publicaciones, el control del trabajo de sus discípulos, turban continuamente el campo de su conciencia. Medita un instante en algún gran problema y, de repente, el recuerdo de una carta por escribir,

<sup>1</sup> EVE CURIE, *Madame Curie*, Hachette, 1944, pág. 141.

un informe por redactar, una orden por dar, embarullan todo e impiden la cristalización de las ideas.

**b) Crisis de reclutamiento: cuadros auxiliares y superiores.** Un sabio que tenga demasiadas responsabilidades técnicas, sociales y financieras, no puede alcanzar la serenidad indispensable para el trabajo creador. La carencia de *cuadros intermedios*, que puedan liberar a los espíritus más fecundos de una sobrecarga de preocupaciones, sólo puede perjudicar seriamente a la productividad en la investigación científica. El sabio francés, en este aspecto, está particularmente poco favorecido: demasiado a menudo, es a la vez organizador, ingeniero, obrero especializado o aun, como en los tiempos de Marie Curie, simple obrero.

El problema, por cierto, no es únicamente francés. ¿Acaso no decía un norteamericano que la ciencia ha estado arreglando, clasificando, metodizando, simplificándolo todo, excepto a sí misma?

En muchos de sus dominios la investigación científica conserva un carácter de *artesanía* que hace difícil una división del trabajo muy avanzada. Sin embargo, si un ayudante de laboratorio bastaba para un sabio del siglo XIX, hoy es *indispensable* un calificado personal auxiliar para el manejo de instrumentos cada vez más complejos, a veces más y más peligrosos, desde los radiotelescopios hasta los grandes aceleradores... y todo un “sistema” de enlace, desde la secretaria del despacho hasta el administrador científico, encargado de dar cuenta a la sociedad del buen empleo de los fondos públicos. Pero demasiado a menudo esos cuadros *indispensables* faltan.

Esta carencia tiene generalmente *dos causas*. Una, financiera, a todas luces evidente: la falta de partidas que, a pesar de los progresos indiscutibles, no permite aún entre nosotros una retribución suficiente para *estos auxiliares*. La otra, escolar en cierto *sentido*, es la ausencia en muchos países de una *en-*

señanza que forme técnicos directamente aprovechables. Nuestras escuelas profesionales ya no están a un nivel suficientemente elevado, y los obreros especializados de nuestra industria (cuando se dignan aceptar las remuneraciones irrisorias de la universidad) se muestran frecuentemente ineptos en el trabajo de artesanía, demasiado variado, del laboratorio.

¿Quién examinará la masa invasora de documentos en bruto, producida por los innumerables aparatos registradores, por todos esos "... grafos" cuyos "... grammas" inundan los laboratorios? ¿Quién clasificará las publicaciones que afluyen de todas partes del mundo? ¿Quién hará los cálculos numéricos? ¿Quién clasificará las facturas, recibirá a los visitantes y eliminará a los importunos? ¿Quién asegurará la escritura a máquina y la reproducción múltiple de las publicaciones del laboratorio?

El problema no tiene nada de insoluble, ya que ha sido brillantemente resuelto por la Unión Soviética y en grado bastante satisfactorio por los Estados Unidos. Los cuadros auxiliares, los técnicos de toda índole, no necesitan tener genio: basta entonces dar una formación *sólida* y desprovista de ambiciones excesivas a un número suficiente de jóvenes. Basta con realizar una democratización efectiva de la enseñanza secundaria. Todo consiste en dar prioridad suficiente a la educación nacional y principalmente a la enseñanza técnica concebida con amplitud tal que englobe, por ejemplo, las técnicas lingüísticas o psicológicas.

Pero en Francia la crisis de reclutamiento no afecta únicamente a los cuadros intermedios. También se hace sentir en el número de investigadores propiamente dichos. "La investigación busca investigadores..." Entre los jóvenes franceses egresados de la enseñanza secundaria sólo el 10 % recibe una formación científica en las facultades y en las escuelas de ingeniería. Esto significa, más o menos, 4.000 "científicos superiores" por año. Pero como la industria no puede prescindir

de tales técnicos, aun para sus procesos de *fabricación corriente*, acapara el 85 % de los licenciados, "agregados"<sup>1</sup>, ingenieros y doctores. El atractivo de salarios elevados y, a veces, condiciones de trabajo más agradables, pueden más que las alegrías de la aventura y del descubrimiento. De tal manera quedan únicamente 650 diplomados por año para el conjunto de la investigación, tanto en el orden universitario como en el industrial.

Sin embargo, un esfuerzo suficientemente vigoroso debería permitir, aquí también, encarrilar progresivamente la situación. Deberían incrementarse las partidas: para las becas (a fin de permitir a los estudiantes la prosecución normal de sus estudios); para aumentar los sueldos de los profesores, investigadores y técnicos; para el desarrollo de las bibliotecas universitarias, ... Pero, sobre todo, habría que evitar que la vida profesional acapara al técnico o al científico (fuese en la industria o en la universidad). Hay que permitir a cada científico perfeccionarse continuamente mediante los estudios teóricos y prácticos (cursos nocturnos, viajes de estudios, aprendizaje *in situ*, vacaciones prolongadas, años sabáticos<sup>2</sup>...) Hay que distribuir los horarios de tal manera que cada uno pueda contribuir a la formación "del que viene después" y meditar con provecho respecto de los problemas surgidos en el transcurso del trabajo.

Respecto de este último punto de vista, el trastorno provocado por el brusco descubrimiento de nuestro atraso corre el riesgo de llevarnos a deplorables consecuencias. No porque carezcamos de profesores de física en la enseñanza secundaria será necesario abrumar a nuestros jóvenes "agregados" con horas

<sup>1</sup> Profesionales que, luego de una prueba de suficiencia, son admitidos en los colegios secundarios o universidades para dictar clases sobre su especialidad. (N. del T.)

<sup>2</sup> Año sabático es el de licencia paga que gozan los profesores de ciertas universidades de los Estados Unidos por cada siete de ejercicio.

suplementarias de una duración aplastante, con riesgo de privarnos de futuros doctores en ciencias. Es mejor diferenciar más nuestra enseñanza y confiar provisionalmente las clases elementales a simples bachilleres... Pero será necesario que esos bachilleres hayan asimilado bien nuestra enseñanza secundaria. ¿Mas, qué valen, muy generalmente, nuestros "diplomados" científicos? ¿Es realmente una *élite*, como parecería sugerirlo la escasa proporción entre el número de los elegidos y el de los llamados? ¡Ay! Podemos ponerlo en duda.

c) **Valor de la formación que reciben nuestros científicos.** Una de las principales razones de la reducida cantidad de científicos formados por nuestro sistema de enseñanza superior y técnica reside en la espantosa eliminación provocada por los diferentes exámenes y concursos, que se supone deben verificar la competencia de nuestros alumnos y estudiantes en los diferentes ciclos. ¿Qué significado tiene el fracaso del 42 % de los alumnos de matemática elemental y del 58 % de nuestros estudiantes del MPC<sup>1</sup>, para no hablar de los años que algunos pierden para volverse a presentar a los concursos de ingreso en las grandes escuelas? ¿Severidad excesiva de los examinadores propuestos para controlar nuestras "fabricaciones pedagógicas" o calidad inaceptable de las "fabricaciones" mismas?

Dejemos de lado el problema de los concursos, cuyo anacronismo todo el mundo está de acuerdo en denunciar, y los múltiples inconvenientes: programas anticuados, "surmenage" intelectual, formación de clanes, tamizado en las facultades, etc. Nuestros concursos son, no hay lugar a dudas, demasiado difíciles, en la medida en que no se ha previsto nada para recuperar a los aplazados y en la medida en que el éxito depende tanto de la improvisación como de la inteligencia del candidato.

<sup>1</sup> Certificado de matemáticas, física y química. (N. del T.)

En cuanto a los exámenes, por el contrario, no hay duda: se es demasiado indulgente. Aun los "aprobados" están demasiado a menudo muy por debajo del nivel que prevén los programas. Se produce un fenómeno a todas luces extraño: a medida que la formación científica de nuestros estudiantes se vuelve cada vez peor, los cuestionarios de exámenes son cada vez más difíciles.

Pero como la indulgencia de los examinadores crece aún más rápido que la dificultad de las preguntas ("no se puede aplazar a todo el mundo"), el insignificante número de graduados revela muy bien la evidente ineficacia de nuestro sistema de enseñanza.

En verdad, nuestros métodos pedagógicos debieran revisarse más a menudo, especialmente en lo que concierne a la enseñanza de la matemática, que está concebida con demasiada frecuencia como si se tratara de formar únicamente futuros matemáticos. Pero no reside ahí la fuente principal de la escandalosa decadencia de nuestro bachillerato, de nuestra propedéutica y de nuestra licenciatura. Una vez más, hay que imputarla al *sórdido espíritu de economía* de nuestros poderes públicos, más que a nuestros métodos de educación, si es que se quiere llegar a la raíz del mal.

Para seleccionar en cada ciclo los mejores alumnos o estudiantes y darles una formación valedera, hubiese sido necesario que cada maestro pudiera tener con ellos un contacto suficientemente estrecho y, en cada etapa de la licenciatura, transformarlo en un "discípulo". Esto supone una relación razonable entre el número de alumnos y el de profesores.

Ahora bien: en Francia esta relación no es razonable ni en la escuela primaria ni en el liceo ni en la universidad. Es en propedéutica donde se llega a las cifras más monstruosas: ¡300 alumnos por profesor en Lille y más de 1.000 en París! Sólo las grandes escuelas, donde el reclutamiento está limitado por los concursos de ingreso, escapan en parte al sistema en que el estudiante se convierte en una

figura completamente anónima. Pero la mayor parte de esas escuelas sólo forman ingenieros.

En cuanto a las facultades, principales semilleros de investigadores, las condiciones en que funcionan en Francia son verdaderamente desoladoras. La gratuidad de la enseñanza se ha realizado a expensas de los docentes (y de los estudiantes); se aceptan cada vez más alumnos en los liceos y en las facultades, pero no se construyen edificios nuevos, no se aumenta el número de profesores y no se hace nada para ayudar a los estudiantes pobres. O, más exactamente, se hace todo eso, pero de una manera muy insuficiente. La actitud del Estado francés ante la instrucción pública es muy similar a la operación "de la supresión de las terceras" en los ferrocarriles. El personal docente del liceo y de la facultad está sumergido, aplastado, reducido a la impotencia por el número de estudiantes confiados a cada profesor. En la facultad, los alumnos se ven obligados a producir demasiado pronto un trabajo personal considerable. La mayoría no tiene una preparación que le permita asimilar, en estas condiciones, una enseñanza elevada y muy técnica. En la enseñanza secundaria, el contacto entre profesor y alumno desaparece: el saber se degrada y los exámenes se transforman en un simple juego de memoria y de azar.

Estamos obligados a tolerar conocimientos mal asimilados, vagos y aproximados. ¿Cómo, en rigor de justicia, podemos exigir de los estudiantes que estén mejor preparados, cuando no disponemos de medio alguno para ayudarlos a ello? Frecuentemente la confusión y la incomprensión reinan en el espíritu de nuestros futuros científicos. Incapaces de interrogarse sobre su saber, de exponerlo con claridad, carecen de cultura general y hacen gala a veces de un infantilismo que aflige. La existencia de algunos normalistas<sup>1</sup> brillantes no nos librára de la decadencia que

tiene por causa la mediocridad de los estudiantes de nuestras facultades.

Una de las consecuencias más nefastas del carácter demasiado colectivo de la enseñanza, general en todas partes del mundo, es un cierto descenso de nivel del medio estudiantil. Los estudiantes que vibran y comprenden, aquellos que son capaces de inventiva y perseverancia, perdidos en la masa ya no son "cultivados" de un modo que convenga suficientemente a su personalidad. Cada vez más, uno encuentra indiferentes, sin entusiasmo, sin pasión . . .

La finalidad confesada por muchos estudiantes no es satisfacer su curiosidad intelectual ni aprender un oficio; es, sencillamente, obtener un diploma que les permita gozar de ciertos privilegios sociales. En este aspecto no tenemos nada que envidiar a la Unión Soviética. Muy al contrario. La mayor parte de los estudiantes sólo siguen cursos lucrativos: asistir a cursos optativos difíciles, en los que se imparten conocimientos de reciente adquisición, es sencillamente, hablando en términos universitarios, perder el tiempo. Los estudios se reducen así, aun para los mejores, a una preparación rápida y superficial de los exámenes. Esto demuestra hasta qué punto el liberalismo universitario es anacrónico referido al estudiante: resulta absurdo que no sea obligatorio el estudio de las ramas más vivas de la ciencia, como lo es dejar al estudiante el cuidado de combinar a su gusto las materias por rendir para obtener los "certificados de estudio". Las rarezas de ciertas "combinaciones" toleradas en los Estados Unidos explican en parte su atraso, en el campo de la investigación, con respecto a la Unión Soviética.

Nuestro sistema, en vez de estimular a los estudiantes más capaces para que profundicen sus estudios al máximo posible, favorece lamentables "escapatorias" en todos los niveles. ¿Para qué luchar y cansarse cuando, en cada etapa, la relación es desproporcionada con las ventajas sociales esperadas? ¿Para qué, luego de la "agregación", lanzarse a preparar una

<sup>1</sup> Graduados en la Escuela Normal Superior. (N. del T.)



tesis, ya que un profesor "agregado" con sólo dictar algunas horas suplementarias *gana más* que un doctor?

Y si, por excepción, se decide uno a preparar una tesis, habrá que presentarse al doctorado lo más rápidamente posible, puesto que es la condición necesaria, pero desgraciadamente insuficiente, ya para ser catedrático o encargado de investigaciones, ya para obtener un puesto interesante en un laboratorio industrial. Esto significa elegir temas de tesis fáciles, que no exijan investigaciones largas, demasiado aleatorias o demasiado expuestas a controversias. El deseo de *triunfar* cuanto antes, aguijoneado por las difíciles condiciones en que, en Francia, se encuentran algunos de estos aspirantes, no favorece "las andanzas fecundas en los jardines de la ciencia". Todos los jóvenes pretenden alcanzar sin escalas y en un tiempo *record* la situación *nec plus ultra*.

Pero los Mermoz de las ciencias son raros. Si los itinerarios fáciles atraen a muchos aficionados, hay pocos voluntarios para la Cordillera de los Andes o el Atlántico Sur. Ciertos problemas de moda fascinan a los investigadores. Hay un verdadero aluvión hacia la física nuclear, la electrónica, la bioquímica, la geología (¡petróleo!) y otras especialidades de aplicaciones prácticas inmediatas. ¿No deja esto una puerta de escape hacia la industria? Mientras los sectores "de moda" se benefician con la concentración de esfuerzos, otros temas de investigación esperan en vano una *élite* capaz de revelar nuevas rutas. Una vez más, la falta de contacto entre profesores y estudiantes se manifiesta por la imposibilidad de orientar atinadamente a los voluntarios entusiastas hacia una acción que responda a las necesidades de las ciencias y de su apetito de heroísmo.

*d) Equipamiento y financiación de laboratorios.* No estamos ya en la época en que el sabio podía construirse sus aparatos mediante cera blanda y pedazos de piolín. La sutileza de los fenómenos por estudiar au-

menta continuamente: de las moléculas se pasa a los núcleos atómicos, de los infusorios a los virus filtrables. Todo esto exige medios cada vez más potentes de penetración, de separación y de amplificación; por consiguiente, cada vez mayor presupuesto. ¿Quién sabe, por ejemplo, que una célula fotomultiplicadora de 19 estratos cuesta (precio de amigo) 100.000 francos; un milivoltímetro registrador, un millón; un radiotelescopio, 500 millones; el telescopio gigante del Monte Palomar, 2,5 mil millones; el sincrofasotrópico de 10 BeV soviético, 20 mil millones; y la preparación de un satélite artificial, 50 mil millones?

El paralelismo entre los créditos asignados por las diferentes naciones a la investigación científica y la cantidad de premios Nobel científicos *recientes* es altamente sugestivo. Pero son raros los países donde se encuentran mecenas bastante generosos o poderes públicos suficientemente advertidos para poner a disposición de los sabios los medios adecuados.

Lo absurdo de las economías en el campo de la investigación resalta de una manera particularmente neta cuando uno se coloca en una perspectiva histórica. En 1867, "se estaba en la imposibilidad" de conceder a Pasteur un laboratorio valuado en algunos miles de francos, en el momento en que el Segundo Imperio gastaba millones para la construcción de la Ópera de París. Aquellos que hoy consumen carne argentina y se hacen vacunar, harían bien en meditar sobre la nota que Pasteur escribió en esa ocasión dirigida a Napoleón III:

"¿Cómo dedicarse a investigaciones sobre la gangrena, sobre los virus, a experiencias de inoculación sin un local apropiado para recibir animales muertos o vivos? La carne de carnicería está a un precio exorbitante en Europa, mientras que se acumula en Buenos Aires. ¿Cómo someter a variadas pruebas, en un laboratorio exiguo y sin recursos, los procedimientos que, quizás, harían fáciles su conservación y transporte? ... Estas investigaciones y mil otras ... sólo son compatibles con la instalación de un amplio laboratorio.

Ya es tiempo de liberar a las ciencias experimentales de las miserias que las traban.”

Sí, hoy consumimos carne de vaca argentina y nos hacemos vacunar. Pero dejamos sin recursos suficientes a los laboratorios donde se preparan los grandes descubrimientos del mañana. La lista de economías que no pueden calificarse sino de sórdidas y que frenan investigaciones de una fecundidad prodigiosa podría ser ampliada indefinidamente. Limitémonos a recordar la historia, altamente significativa, de Raulin, profesor en el liceo de Brest, que se dedicaba hacia fines del siglo pasado al estudio, en apariencia fútil, de un hongo similar al *penicillium glaucum*. El proveedor del liceo no admitía, como administrador económico, que se gastara tanto gas en una estufa para desarrollar un hongo microscópico “sin ningún interés”.

Los sabios no creen en el efecto estimulante de la miseria. Y la noción de miseria es muy relativa. ¿Qué importa disponer de dos millones de presupuesto cuando el aparato que se necesita cuesta cincuenta? Los sabios que prefieren laboratorios “a la americana”, donde se encuentra todo el material *standard* necesario para los experimentos, tienen razón. La riqueza de un laboratorio, por cierto, no tiene necesariamente como consecuencia la producción de grandes descubrimientos; pero no se puede soñar en conquistar las cimas de las ciencias cuando hace falta un año de trámites agobiadores para obtener un simple voltímetro registrador sensible.

Se nos objetará, tal vez, que grandes descubrimientos fueron hechos en el siglo XIX en laboratorios *verdaderamente* miserables, en covachas desprovistas de todo. Pasteur, Berthelot, Pierre y Marie Curie, no dispusieron sino de pobres recursos, y sin embargo “conquistaron el mundo”. Las condiciones miserables en las cuales trabajaron los Curie son bien conocidas. Pero lejos de probar la fecundidad de la miseria, por el contrario, ilustran cómo la falta de material y de personal agotan las fuerzas y retrasan los descubrimientos de los más grandes investigadores.

“Con mejores medios, se hubieran podido reducir a dos los cinco primeros años de nuestro trabajo y atenuar su tensión”, escribía Marie Curie.

No vemos, en verdad, qué pudo tener de estimulante, para una mujer de genio, remover una masa en ebullición con una gruesa barra de hierro, en una barraca de madera por cuyo techo se filtraba la lluvia. Aun si se admite que los principiantes podrían ejercitar su ingenio y su tenacidad construyendo por sus propios medios ciertos aparatos que se encuentran en el comercio, la experiencia de la investigación prueba irrefutablemente que la riqueza del equipo constituye una condición tal vez insuficiente, pero ciertamente *necesaria* para el éxito.

En Francia, una crisis de locales para la investigación se suma a la insuficiencia de equipos. Cuando leemos que Pierre Curie, ya premio Nobel, no había obtenido, en vísperas de su muerte trágica, más que la *promesa* de un laboratorio de dos habitaciones, nos imaginamos que, de cincuenta años a esta parte, las cosas han cambiado. Sin embargo, recientemente descubrí al director de un instituto científico de Lille, y a un joven “agregado”, en uno de los sótanos del inmueble, convertido en laboratorio. ¿Un sótano puede acaso ser particularmente propicio para las investigaciones en curso? De ninguna manera, ¡pero no había lugar en ninguna otra parte!

e) ¿Libertad de aventura en la investigación? Existen asimismo en nuestros días muchos laboratorios que ya no se parecen más a esa “mezcla de caballeriza y carbonera” de que hablaba el químico alemán Ostwald, luego de su visita a los Curie. Son principalmente aquellos en que se trabaja para la industria, la energía atómica o la defensa nacional. Pero por una cruel paradoja, son también aquellos donde son menores la libertad de aventura y de iniciativa.

Los hombres tienden en demasía a desarrollar lo ya conocido. Imaginemos por un instante lo que hubiese sucedido si, bajo el

impulso del entusiasmo desbordante provocado en 1873 por los primeros éxitos de los *aeróstatos* de hidrógeno (dos pasajeros transportados de las Tullerías a l'Isle-Adam, con un *record* de 3 kilómetros de altura), nos hubiésemos limitado a construir aparatos "más livianos que el aire" cada vez más perfeccionados. Si, mientras tanto, la ciencia no hubiese revelado las posibilidades de la resistencia del aire, ni las de la reacción, sólo tendríamos hoy, en lugar de aviones y cohetes, gigantescos dirigibles.

Descubrir lo desconocido, alcanzar lo imprevisto, . . . tales son los principales imperativos de la investigación científica.

La ciencia está, pues, fundada sobre la libertad de riesgo, y los sabios tienen, todos, mucho de Cristóbal Colón. Al principio, toda investigación sólo representa una esperanza, nunca una certeza. Los experimentos cuestan caro en hombres y en material; pueden terminar en naufragios o no llegar a nada. Pero *algunas* de esas aventuras se "saldan" con el descubrimiento de una América. La grandeza, la nobleza y la utilidad de la investigación residen en el hecho de que el botín traído por los "aventureros" de la ciencia fue siempre y en gran medida superior a todo lo que la humanidad gastó para el conjunto de las expediciones.

Pensemos en los beneficios aportados en nuestros días por las industrias eléctricas, cinematográficas y químicas —por no hablar sino de éstas— que todo lo deben a la ciencia. Recordemos que había en 1957, en los Estados Unidos, más de 42 millones de televisores en uso y que en 1955 el total de cines norteamericanos recibía un término medio de 46 millones de espectadores *por semana*. Desde 1929 las fábricas de la Badische Anilin producían 100 kilogramos de abonos nitrogenados por segundo y, trabajando día y noche, despachaban diariamente más de 1.000 vagones de esos abonos para el mundo entero. ¡Es fácil imaginar el monto de los ingresos correspondientes!

La ciencia puede afrontar altivamente a

quienes se atrevan a pedirle cuentas. Pero ningún sabio puede afirmar *individualmente* que *su* empresa o *sus* investigaciones tengan un gran valor. La *financiación* de la ciencia exige, pues, una cierta especie de "mece-nazgo" nacional o internacional, una generosa política de inversión a largo plazo, incompatibles con el modo de gestión tradicional de los dineros públicos.

Este aspecto aleatorio de la investigación es deliberadamente ignorado por la mayor parte de los laboratorios industriales, salvo en los de algunas firmas muy grandes, tales como la *General Electric*, *Bell Telephone*, *Philips*, etc. Los laboratorios industriales y los que trabajan para la defensa nacional se limitan al desarrollo de lo "ya casi conocido", y rehusan el beneficio de la aventura, porque se trata generalmente de trabajos de los cuales se esperan resultados inmediatos.

Al propio tiempo este mismo sector de la ciencia anula, por otra parte, otro factor de productividad: el intercambio de ideas y la cooperación entre los especialistas.

f) **Problema del intercambio de las informaciones.** Por su naturaleza misma, las investigaciones que se hacen para la defensa nacional son secretas. Las de la industria privada también lo son, más o menos, hasta el momento en que una patente protege la explotación económica de los resultados. Pero en esta época de especialización por sobre todo, nada es más vital que el intercambio de informaciones.

Aún existen, por cierto, muchos laboratorios no encadenados por el secreto y que publican libremente los resultados de sus investigaciones. Pero esto no resuelve el problema del intercambio de las informaciones. Aquí es donde la "crisis de desarrollo" de la investigación se hace sentir con mayor agudeza. El enorme aumento de la actividad científica da lugar al nacimiento de publicaciones cada vez más numerosas. Aparecen hoy más de 36.000 revistas científicas, in-números tratados, monografías, informes, etc.

Es un verdadero aluvión: 13.000 artículos, por ejemplo, en química, en el año 1910 ¡y 47.000 artículos en 1950! Se ha calculado que, para "absorber" las publicaciones especializadas del año 1953, un químico profesional hubiese necesitado ¡*más de un año* de lectura a razón de ocho horas diarias! Cada sabio no puede leer sino una pequeña parte de los artículos relacionados con sus investigaciones.

Vemos en toda su amplitud el problema que plantea la organización general del intercambio de informaciones. ¿Cómo hacer para que un sabio determinado esté informado de todo lo que, en los trabajos de otros, pudiera tener una influencia fecunda para sus investigaciones? ¿Cómo evitar la duplicación de esfuerzos y saber, en particular, si el problema que uno se propone estudiar no está siendo analizado en otra parte o quizás ya resuelto? ¿Cómo evitar la desaparición, temporaria o definitiva, de los trabajos de valor, enterrados bajo la masa de publicaciones nuevas y que nadie tendrá tiempo de exhumar?

Los sabios tratan de remediar las dificultades provenientes de la masa monstruosa de publicaciones con una diferenciación cada vez más notoria del grado de síntesis de sus exposiciones y con una organización más perfecta de las revistas bibliográficas. Un mismo trabajo es *anunciado* en una publicación del tipo de las Notas a los *Informes de la Academia de Ciencias*, que resume lo esencial en ciento veintiséis líneas como máximo; después, es *desarrollado* en un artículo más completo de una revista especializada, y finalmente es *analizado*, es decir, resumido de nuevo, en una revista bibliográfica. A veces, también, el artículo en sí va acompañado de un volumen especial, verdadero archivo científico, que ofrece *in extenso* todos los detalles de los cálculos o de los experimentos.

Pero muchas dificultades subsisten. Ciertas Notas a los *Informes* o *Cartas al editor* (otro modo de comunicaciones preliminares) se vuelven incomprensibles de tan resumidas.

Los análisis bibliográficos informan de la existencia de trabajos interesantes pero no eximen de la lectura de las memorias originales: excitan el apetito intelectual, pero no alcanzan a satisfacerlo.

Además, el intercambio de las informaciones científicas detalladas es aún *demasiado lento*, ya que —sin hablar del lapso que separa el instante en que un investigador obtiene un resultado, del momento en que se decide a redactar una publicación— los plazos de impresión son demasiado largos. Una semana para una nota en los *Informes*; alrededor de seis meses para una memoria de unas veinte páginas; dos o tres años para un tratado... A juzgar por la rapidez de impresión de los diarios y de los periódicos ilustrados, esos plazos podrían abreviarse notablemente complementando los recursos de la técnica moderna con la formación de impresores especializados y una centralización razonable de las publicaciones científicas.

Otro aspecto del problema, y no de los menores, es el de la organización de las *bibliotecas*. En Francia las bibliotecas de los grandes centros de investigación raramente guardan relación con las verdaderas exigencias del oficio. Son fuentes frecuentes de irritación y desesperación. Esto empieza desde los años de la facultad cuando, por falta de personal suficiente, al estudiante se le impone media hora de espera para cada obra consultada, y a veces más de veinticuatro horas para un préstamo a domicilio. El libro pedido no siempre está disponible, pues faltan partidas para la compra de varios ejemplares de las obras muy solicitadas: éste se halla en encuadernación, aquél ya está prestado.

Las bibliotecas sólo están abiertas en las horas llamadas normales, pero las peripecias de la experimentación y de la inspiración científica ignoran las horas de oficina y los días laborables. ¿Qué estudiante, qué investigador no ha tenido ocasión de maldecir el cierre de una biblioteca donde esperaba encontrar una información indispensable y urgente?

Una nación celosa de su porvenir científico debiera hacer una cuestión de honor del dotar ricamente sus bibliotecas y hacerlas accesibles a todos, en cualquier hora de cualquier día.

La *multiplicación de los idiomas* empleados en las publicaciones científicas no simplifica en nada el intercambio de informaciones. Hubo un tiempo en que el conocimiento del francés, del alemán, del inglés, de adquisición bastante penosa de por sí, podía bastar. El advenimiento de la Unión Soviética como "gran potencia científica" impone un cuarto idioma fundamental, especialmente difícil. Y debe tenerse en cuenta la importancia creciente de las publicaciones en español, italiano, holandés... ¡y pronto, probablemente, en japonés y en chino!

El trabajador científico medio experimenta las mayores dificultades para mantenerse al tanto de los progresos de la investigación, aun en su propia especialidad. De los tratados existen a veces traducciones, pero en número insuficiente, debido principalmente a las trabas de orden económico (derechos de traducción reservados), contrarias al carácter internacional de la ciencia. Para las memorias, los organismos internacionales se esfuerzan por introducir el uso de resúmenes básicos en varios idiomas, pero esas sabias recomendaciones no siempre son seguidas.

La formación de un cuerpo de *intérpretes científicos* dotados de una sólida cultura científica y lingüística, pero sin ambiciones de investigación es, pues, particularmente deseable y urgente.

Unos trabajarían en la traducción de las diferentes publicaciones, en el seno de organismos internacionales, provistos de todos los medios técnicos necesarios, y centralizando, con miras a su difusión, todas las publicaciones científicas que aparezcan en el mundo. Los otros servirían de *intérpretes simultáneos* en los diferentes coloquios y congresos, como se hace ya en la ONU y en otras partes. La realización de traducciones simultáneas supone evidentemente la construcción en ca-

da país de locales especialmente equipados desde el punto de vista técnico.

g) **Problema de la condición social de los investigadores.** Si la proliferación de literatura científica es uno de los signos de la vitalidad y de la grandeza de la ciencia, refleja también otro fenómeno, menos conocido: la *inflación* de publicaciones, unida a la aparición de un proletariado de "sabios de oficio".

El sabio del siglo XIX era generalmente un profesor que dedicaba a la investigación los cómodos descansos que le dejaban el reducido número de estudiantes y la lentitud general del ritmo de la vida. Aunque su nivel de vida dependiese en gran parte de sus "descubrimientos", se le pagaba, en principio, solamente por su enseñanza. Poco después se recurrió a los científicos en la industria. Pagados por la fábrica, ellos tenían que dedicarse a los análisis indispensables y al control de la fabricación. En fin, después de algunas "fundaciones", y del Instituto Pasteur, aparecieron en Francia y en el mundo entero *organismos de Estado*, tales como el Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS), encargados de mantener un cuerpo de investigadores asalariados.

¿Cuál es la condición social de tales sabios profesionales?

Se pretende mantener su celo haciendo depender su situación material de su producción científica. Su "situación" es, pues, tanto más incierta cuanto más audaces sean sus investigaciones. Sus salarios, en Francia, son tan poco atractivos como los de los docentes.

Al iniciar la carrera, tienen la ventaja de poder dedicarse enteramente a las investigaciones, mientras que los jóvenes docentes, abrumados de trabajo, hallan grandes dificultades en adelantar sus tesis; tal ventaja los compensa con creces de los inconvenientes de una situación caracterizada por la *inestabilidad del empleo*.

Más tarde, la necesidad obsesionante de justificar en un tiempo limitado su "subsi-

dio" y la imposibilidad de entregarse a investigaciones verdaderamente interesantes, demasiado riesgosas, provocan poco a poco la huída de los mejores hacia las facultades, mientras que otros, también brillantes, se dejan tentar más bien por los altos salarios del sector privado.

Si el investigador profesional quiere escalar posiciones, debe descubrir *antes* que los otros, *más que* los otros, y, teóricamente, *sin la ayuda* de otros. Al menor indicio de un resultado presentable, "publica" y prueba así su "actividad" . . .

La especialización de las investigaciones y la imposibilidad de prever la incidencia de cada una de ellas sobre la marcha de la ciencia (ver capítulo XI) ponen a dura prueba el juicio de los "expertos" que distribuyen los puestos. ¡Es tan fácil clasificar los candidatos según el número de sus informes! Los jóvenes no lo ignoran. Se establece así una competición de publicaciones que pone más de manifiesto la lucha por la vida que el florecimiento de la ciencia.

**b) La especialización y la comunión de los espíritus.** Si los "expertos" se vuelven cada vez más incompetentes es porque la especialización tiende a convertirlos en hombres que "saben todo sobre nada . . ."

La complejidad creciente de los aparatos, de las técnicas y de las teorías es una causa fundamental e irreductible de la especialización. Pero el estado actual del intercambio de informaciones es otra. Establecer una documentación sobre un tema preciso representa, a menudo, semanas enteras de búsquedas bibliográficas, de lecturas fastidiosas de artículos "fuera de tema", donde se espera aprovechar algunos datos útiles. Mantener esta documentación al día frente al aluvión de publicaciones exige hoy un esfuerzo casi sobrehumano. De ahí la tentación de una estricta especialización que limite el campo de exploración.

Sería necesario alentar los trabajos que tienden a la síntesis de los conocimientos: tratados, "actualizaciones", monografías, resú-

menes de toda clase . . . y facilitar su difusión, acordándoles prioridad para su impresión. Habría que evitar sobre todo desalentar ese esfuerzo, dejando entrever, como se hace aún demasiado a menudo, que sólo las publicaciones "originales" tienen valor. Más generalmente, habría que revalorizar la competencia pedagógica con respecto a los "resultados" de la investigación. Sin ello no habrá nadie más para formar nuevos investigadores.

Se impone combatir la actual inflación de publicaciones mediante una jerarquía fundada no en el número de resultados publicados sino en el reconocimiento de ciertas *cualidades* profesionales del investigador: espíritu de iniciativa, entusiasmo, perseverancia, habilidad experimental, espíritu de equipo, don de organización, talento pedagógico . . . , que se manifiestan en el transcurso del trabajo, independientemente de los resultados siempre aleatorios.

Un sabio muy especializado se siente siempre muy aislado. Hay que combatir este aislamiento, evitando dispersar a los especialistas de un mismo tema en los cuatro rincones de un país o del mundo. Como existen técnicas imposibles de transmitir sin una demostración concreta, e ideas en "estado naciente" inalcanzables sin contacto personal, hay que favorecer los viajes de estudio, único medio de combatir la dispersión geográfica actual de los investigadores de una misma rama. Actualmente existen frecuentes ocasiones de viajar, pero muchos sabios no pueden aprovecharlas plenamente, pues, atados a su laboratorio por muchas responsabilidades, no están libres para dejarlo durante un tiempo suficiente. Hay que favorecer los congresos internacionales y sobre todo los coloquios que, reuniendo un número restringido de especialistas, den ocasión a "encuentros" imprevistos y a intercambio de ideas, iniciando a veces vinculaciones de disciplinas muy alejadas.

Pero un buen coloquio no se improvisa y exige un esfuerzo de organización de calidad excepcional. Aquí vuelven a plantearse todas las dificultades ya encontradas con respecto

al intercambio de informaciones, pero con mayor intensidad: confusión de lenguas, exposiciones demasiado resumidas, y la enojosa tradición según la cual no se debe interrumpir a un conferenciante durante su exposición. La financiación de los coloquios debe ser suficientemente generosa para no transformar ciertos encuentros en una carrera contra el reloj. No hay discusión posible si el programa está demasiado cargado y si, después de un comunicado, y una o dos preguntas hechas por cortesía, se pasa al tema siguiente. Se remplazarán ventajosamente algunas comunicaciones heteróclitas por "exposiciones introductorias" encomendadas a especialistas conocidos por su talento pedagógico, que habrán de resumir los antecedentes del tema a los participantes. Mediante esto, los congresos futuros contribuirán a sacar al especialista de su aislamiento, en vez de reforzar, como es el caso aún, demasiado a menudo, su sentimiento de soledad.

Por su parte, los estudiantes tratan de ayudarse mutuamente, mediante la práctica de seminarios. Por turno, uno de ellos estudia una memoria o un libro y se esfuerza por relacionarlo con los conocimientos generales a cuyo nivel la comunión espiritual será posible. Luego expone el tema ante sus compañeros y, a veces, en presencia de uno o varios profesores. Para esto, como para los coloquios, es indispensable un esfuerzo de organización; hay que vencer obstáculos temibles, demasiado a menudo ignorados.

No existen, en primer lugar, conocimientos verdaderamente generales. Por otra parte, son raros los estudiantes que, de entrada, son capaces de exponer claramente un problema, de ubicarlo, y de extraer de él las líneas esenciales. Se aprende a hacer exposiciones, pero demasiado tarde; todo nuestro sistema de enseñanza debe ser revisado en este aspecto: se emplea demasiado tiempo en tomar apuntes del profesor, y no el suficiente en comprenderlos.

Por otra parte, los oyentes no pueden aprovechar plenamente el esfuerzo a menudo ho-

nesto de su compañero, si ellos no han estudiado de antemano, al mismo tiempo que él, el artículo en cuestión. El verdadero sentido de un resultado no aparece con claridad sino a quien conoce los orígenes y las pruebas detalladas; a quien ha conseguido crear, entre él y el problema, un mínimo de intimidad. En lo que se refiere a seminarios no hay más milagros que en lo referente a resúmenes bibliográficos. Sin una participación activa de los oyentes, antes y durante el seminario, esas reuniones sólo son útiles a la víctima del día: beneficio no despreciable, por cierto, pero que, por lo demás, no resuelve el problema esencial de la participación de todos en los esfuerzos e ideas.

Las dificultades con las cuales tropiezan los estudiantes en los seminarios y coloquios se deben, con frecuencia, a que nuestros jóvenes tienen *vergüenza* de mostrar que no han entendido o que ignoran ciertos resultados que el conferenciante considera evidentes o clásicos. Es un verdadero complejo que hay que combatir, primero dando el buen ejemplo y luego insistiendo en el hecho de que la incompreensión proviene más a menudo de una falta de coincidencia entre el repertorio de conocimientos del conferenciante y el del oyente, que de la falta de inteligencia o de atención de este último.

El público, por su parte, debe ser informado, tan claramente como sea posible, de los progresos científicos. Es un deber para todos los especialistas distraer una parte de su preciado tiempo para la difusión de la ciencia. En Francia, ello nos ha valido las notables exposiciones de L. de Broglie, Jean Rostand, Paul Couderc, Jean Perrin, Georges Bruhat, y muchos otros. Es preciso que los sabios no dejen a "algunos charlatanes habladores y mal informados" el cuidado de ofrecer al público "copias groseras de un rito grandioso" (R. Dubos).

No se debe dejar a los periodistas hablar de los "radioastrónomos que escuchan el canto de las estrellas" aunque la fórmula sea poética. No se debe dejar al público ignorar los

nombres de Staudinger, Kapteyn, Bjerknnes, o Nicolás Bourbaki.

Staudinger (nacido en 1881), premio Nobel de química en 1953, es el padre de las macromoléculas sintéticas: nylon, perlón, "materias plásticas", caucho artificial...

Kapteyn (1851-1922) es el fundador de la astronomía estadística. Este astrónomo holandés ha estimulado poderosamente las investigaciones sobre la arquitectura del Universo.

Vilhelm Bjerknnes (1862-1951), noruego, es uno de los fundadores de la hidrodinámica física, que sirve de base para los pronósticos meteorológicos "científicos" de hoy.

Nicolas Bourbaki, "miembro de la Academia Real de Poldavia", es el personaje ficticio que firma los *Elementos de matemáticas*, obra colectiva de una docena de matemáticos franceses entre los cuales figuran J. Dieudonné,

L. Schwartz, A. Weil y H. Cartan. Bourbaki ha publicado ya, desde 1938, una veintena de volúmenes, y pretende representar en la matemática moderna el papel que desempeñó en la geometría clásica Euclides, autor de los *Elementos*.

Si se hace un esfuerzo suficiente, los estudiantes, los especialistas y el público dejarán de vivir en mundos cercados: el estudiante, gracias a seminarios bien organizados, podrá comunicarse con sus mayores; los especialistas, gracias a coloquios bien organizados, podrán comunicarse entre ellos; y el público, aprendiendo a conocer mejor el verdadero rostro de la ciencia y la verdadera naturaleza de las dificultades que afrontan los especialistas, hará un esfuerzo por contribuir a la organización de una investigación científica siempre más productiva y más fecunda.



## LOS PRINCIPALES ASPECTOS DE LA CIENCIA Y DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

### CAPÍTULO II

#### LOS ORÍGENES DE LA CIENCIA MODERNA

En todos los tiempos los hombres han procurado dominar y comprender la naturaleza. Los sucesivos aportes de la ingeniosidad y del espíritu de observación, así como las recetas prácticas transmitidas de generación en generación fueron durante siglos los elementos constitutivos de una técnica empírica. Por su parte, los sacerdotes, los teólogos, y más tarde los filósofos, han procurado *explicar* la naturaleza, tanto animada como inanimada, el alma y el cuerpo, los fenómenos celestes y más generalmente todos los misterios del cosmos.

Durante largos siglos, explicaciones como las que se podía hallar en Aristóteles parecieron suficientes. Pero a partir del Renacimiento, nuevos pensadores, tales como Descartes y Galileo, denunciaron la ingenuidad de los antiguos, quienes pretendían explicar fenómenos muy complejos antes de haberse asegurado de su realidad, sin siquiera haber observado con cuidado sus principales propiedades.

Los primeros "sabios filósofos", sin renunciar a interrogarse sobre los grandes problemas referentes al alma, a la creación, etc., no desdénaron problemas más limitados, como los que podían plantear, por ejemplo, la mecánica o la óptica. Su curiosidad no era menos apasionada que la de los antiguos, pero tenían más juicio y espíritu crítico. Sintieron de un

modo más agudo la insuficiencia de ciertas explicaciones y proclamaron la necesidad de sustituir la fe ciega por la duda metódica y las luces de la razón. Más modestos que los antiguos, más realistas, tuvieron el coraje, bastante extraordinario para la época, de abocarse a problemas "inútiles", a "simples juegos" (como las experiencias de Galileo sobre la caída de los cuerpos y el péndulo).

¿Entreveían ya que sobre esta base sólida se construiría una ciencia capaz de abocarse más tarde a problemas más importantes?

¿Pensaban acaso, simplemente, que la búsqueda de la certidumbre era aún incompatible con la complejidad de esos problemas?

¿Encontraban más satisfacción intelectual en resolver claramente problemas "fútiles", accesibles, que en dedicarse a problemas serios, provisionalmente insolubles?

¿O, en fin, fueron guiados por la necesidad de resolver, con el máximo de precisión, ciertos problemas prácticos, civiles o militares?

Sería simplista detenerse en una sola de esas eventualidades: debieron de presentarse todas según las circunstancias.

Es exacto que la ciencia naciente no podía abocarse razonablemente a problemas técnicos importantes, como la fermentación de la masa para el pan; o cósmicos, como la naturaleza del rayo; o humanos, como la explicación de la propagación de las enfermedades conta-

gias. Estaba fuera de cuestión inventar el pararrayos o descubrir las vacunas por la única razón de su utilidad social o económica.

Pero, a fuerza de jugar con barriletes, de tanto disecar cadáveres, sin otro motivo, tal vez, que una curiosidad osada y más o menos "gratuita", los sabios terminaron por poner a punto un *método de investigación*: observación paciente y cuidadosa, controles y verificaciones repetidas, libre discusión, experimentación ingeniosa... Y este método demostró una prodigiosa fecundidad.

De esta suerte, sin tratar directamente de proteger las casas contra el rayo, o a los hombres contra las enfermedades, los sabios, gracias a su nuevo método y explotando hábilmente algunos felices azares, comprendieron el comportamiento del rayo y construyeron el pararrayos; descubrieron los microbios y fabricaron las vacunas. En pocas palabras, descubrieron una unión inesperada entre sus viejas preocupaciones: *dominio y conocimiento de la naturaleza*.

A *pesar* del escepticismo de los partidarios de los métodos puramente empíricos, presurosos por alcanzar resultados prácticos; a *pesar* de la hostilidad de los adversarios del libre examen y de la experimentación, la ciencia no ha dejado, desde entonces, de extender su dominio.

Hoy constituye la base de innumerables éxitos técnicos: desde los antibióticos hasta los satélites artificiales. Comienza a abocarse con éxito a los problemas que plantean la vida, la sociedad, el pensamiento..., y ya da soluciones racionales a los interrogantes que antes atañían exclusivamente a la filosofía y a la religión: evolución de las especies, estructura de la materia, arquitectura del universo.

Pero a medida que la ciencia se desarrollaba, tendía cada vez más a diferenciarse, a especializarse. La técnica, hasta el siglo XVII, permaneció ajena a la "filosofía científica". Después de un período de desarrollo paralelo, una fecunda *interacción* se inició entre las recetas prácticas y las explicaciones de la na-

turalidad. A partir del siglo XIX las principales técnicas se transformaron casi todas en simples *aplicaciones de la ciencia*. Fue la época del invento de la dinamo y del motor eléctrico, surgidos de investigaciones "teóricas" sobre las propiedades electromagnéticas de la materia; la época de los colorantes sintéticos; de los abonos artificiales; de las vacunas... Hacia el final de ese "siglo de maravillas" se podía afirmar con Pasteur que no existían una ciencia y una técnica independientes, sino solamente "la ciencia y las aplicaciones de la ciencia".

Recíprocamente, ciertas investigaciones técnicas llevaron a nuevos progresos en el conocimiento y comprensión de la naturaleza. Los trabajos de Pasteur sobre problemas prácticos, tales como la fabricación de la cerveza o la protección de los gusanos de seda, desembocaron en la explicación del proceso de contagio y el papel de los microbios. Cuando estaba dotado de espíritu práctico, un mismo "sabio-profesor" podía a la vez inventar nuevas técnicas y transformarse en el teórico de los fenómenos recientemente descubiertos.

Esta etapa también ha sido dejada atrás. Por supuesto, la técnica continúa siendo, más que nunca, tributaria de la ciencia. Pero el conocimiento profundo de una y otra exige en adelante un aprendizaje tan largo y tan difícil que ambas responden al trabajo de hombres y aun de equipos distintos. Se acabó la época en que ciertos "electricistas" distinguidos eran simultáneamente profesores, sabios, industriales y comerciantes, como Lord Kelvin.

Mientras esta diferenciación y esta especialización proseguían, se veía aparecer un número creciente de vinculaciones entre la ciencia y la medicina; entre la ciencia y la industria; entre la ciencia y la agricultura..., relaciones que se tornaban cada vez más estrechas y complejas.

Esta unión entre la "práctica" y la "ciencia fundamental" está asegurada hoy por laboratorios técnicos, industriales, agrícolas, médicos..., cada vez más numerosos.

## LA CIENCIA DE HOY. SUS FINES

La ciencia de hoy es una realidad compleja de la cual es bastante difícil dar una definición general. Nos acomete la tentación de decir, con Pelseener, que es una noción confusa. Es a la vez una actitud frente a la naturaleza, un conjunto de conocimientos, un método de explicación y de acción . . . , o más sencillamente, la actividad a la cual se entregan los sabios y los investigadores científicos.

Pero en vez de procurar definir la ciencia se puede intentar *describirla*. Se puede tratar de poner en evidencia algunos de sus caracteres esenciales, sus fines y sus métodos. Tratar de precisar las relaciones que existen entre sus diferentes partes, a pesar de los múltiples entrelazamientos que tornan imposible un conjunto de definiciones elementales.

Daremos primero una visión global del conjunto del dominio de la ciencia. Escudriñaremos luego los accidentes del terreno, introduciendo la distinción entre ciencia fundamental y ciencia aplicada. Finalmente exploraremos las regiones de interacción y de entrelazamiento, los valles donde se juntan las diferentes montañas. Un tal ir y venir entre las cimas y los valles, entre lo que opone y lo que une, permite explorar mejor todos los recovecos de esta realidad compleja y atormentada que es la ciencia moderna.

La visión global lleva a afirmar que la fi-

nalidad de la ciencia es un mejor conocimiento y comprensión de todo lo que existe; la creación de realidades nuevas (conceptos matemáticos, elementos químicos, productos de síntesis, especies biológicas). Es también, por medio de la técnica, el uso cada vez más racional, seguro, económico y cómodo de los conocimientos. La ciencia persigue el provecho espiritual (supresión de los misterios, de los milagros, de las supersticiones, de la inquietud intelectual) y el provecho material (bienestar, supresión del hambre, del sufrimiento, de la pena y de la muerte) de los hombres.

La visión por cimas aisladas lleva a distinguir dos actitudes extremas. Por una parte, se propondría ante todo perfeccionar un sistema de *certezas*, llamadas "verdades científicas", sin preocuparse por los resultados prácticos inmediatos. Esta actitud caracteriza a la ciencia llamada "fundamental", calificada despectivamente de "teórica" o de "académica" por los partidarios de la "ciencia aplicada". Esta última, al contrario, se propondría como meta principal la explotación de la naturaleza y el control de la vida. Buscaría, ante todo, un sistema de *recetas* infalibles: industriales, agrícolas, médicas, sociales, psicológicas, etcétera.

La ciencia fundamental o "pura" tendería hacia la *explicación* de lo real; la ciencia apli-

cada, hacia la *acción* sobre lo real. La ciencia pura sería desinteresada; la ciencia aplicada estaría dominada por consideraciones económicas. La ciencia pura sería una filosofía de la naturaleza; la ciencia aplicada, una forma racional de la técnica. Si se busca la máxima oposición, llevada al límite, la ciencia pura no sería, para sus detractores, sino un juego "gratuito", sin utilidad, y la ciencia aplicada se reduciría, a su vez, al estudio de casos particulares y de controles técnicos.

De hecho, nada es tan extremo ni tan simple. Existe una *interacción* continua, múltiple y profunda, entre la ciencia fundamental y la ciencia aplicada. Cualquier diferenciación es a veces ilegítima y nos lleva nuevamente a la visión global de la unidad de la ciencia. Es que el camino de las recetas racionales pasa por el conocimiento de la naturaleza y, recíprocamente, los problemas prácticos nos ponen en presencia de los fenómenos más variados que acaban por plantear los eternos interrogantes del *porqué* y del *cómo*.

Si por un instante se dudara de la fecundidad filosófica de las preocupaciones prácticas, bastaría recordar, con Le Chatelier o Bernal, que el estudio de las linternas mostró a Lavoisier la importancia de los fenómenos de combustión, que el de las máquinas de vapor hizo aparecer el interés por la termodinámica (es decir, el estudio teórico de las relaciones entre el calor y el trabajo) y que el de las enfermedades del gusano de seda reveló a Pasteur la importancia de los seres infinitamente pequeños en biología.

Pero, recíprocamente, habría aún menos dificultades en mostrar la fecundidad práctica de preocupaciones de lo más "gratuitas" en apariencia y de las investigaciones más indiferentes a las aplicaciones. ¿Toda la industria eléctrica de hoy no descansa, acaso, sobre experimentos y cálculos de sabios para quienes las preocupaciones prácticas eran completamente ajenas?

Conocer más y mejor permite comprender mejor, y buscando la explicación de ciertos misterios se desemboca en el descubrimiento

de nuevos fenómenos. Además, el conocimiento de nuevos fenómenos permite nuevas aplicaciones prácticas, nuevos métodos preventivos y tratamientos de enfermedades, nuevas formas de energía, nuevos procedimientos de fabricación, nuevas técnicas de cultivo y de zootecnia, nuevos métodos de transporte y nuevos medios de comunicación.

Los isótopos fueron considerados durante mucho tiempo como simple curiosidad de laboratorio. Hoy, las técnicas fundadas sobre el empleo de radioisótopos se extienden rápidamente por todos los dominios: química de los petróleos, de las materias plásticas, metalurgia, o técnica de la conservación de productos alimenticios.

Por una justa compensación, los progresos de la técnica estimulan los de la ciencia fundamental, facilitándole principalmente nuevos instrumentos de exploración y de cálculo, cada vez más poderosos: máquinas electrónicas de calcular, ciclotrones, contadores de partículas, fotomultiplicadores ultrasensibles, microscopios electrónicos, telescopios gigantes, etcétera.

Es imposible separar la ciencia en "pura" y "aplicada", y aún menos subordinar una a la otra. La ciencia no puede ser constreñida ni a su aspecto *utilitario* ni a su aspecto *filosófico*.

Si Lavoisier se hubiese limitado, en sus investigaciones sobre las linternas, a concentrar todo su interés sobre la construcción de las cajas o la configuración más ventajosa de los depósitos, no habría descubierto el papel del oxígeno en la combustión y en la respiración. Por su parte, Pasteur renovó las ciencias de la vida uniendo continuamente el punto de vista "teórico" con el "práctico": hay en sus trabajos un vaivén continuo entre la fabricación de la cerveza, la cría de los gusanos de seda, la protección contra la rabia y las "teorías" de la generación espontánea, de la simetría molecular, de la fermentación, del contagio y de la inmunidad.

Un mismo problema práctico puede enfocarse a la vez desde el ángulo de la acción inmediata y desde el del conocimiento general.

Pero salvo en algunos casos excepcionales, como los de Pasteur, Berthelot, o Lord Kelvin, era poco frecuente que un mismo sabio adoptara simultáneamente o aun alternativamente los dos puntos de vista. Rara vez los conocimientos generales adquiridos al estudiar un problema particular son *directamente* utilizables para la solución de un problema práctico. El descubrimiento de la función del oxígeno, por Lavoisier, no debió servir para resolver de un modo decisivo el problema del alumbrado de las calles de París; si no, Coffinhal no se hubiese atrevido a decir, al enviar a Lavoisier a la guillotina, que la "república no necesitaba sabios".

Más a menudo, descubrimientos "teóricos" hechos por X, Y o Z eran aprovechados, al cabo de algunos años, por inventores como Edison, para el alumbrado eléctrico, o Marconi, para la radiotelegrafía.

Pero la evolución de la ciencia tiende a aproximar en el tiempo y en el espacio los progresos del conocimiento y las aplicaciones. Los equipos tratan cada vez más de repartirse el trabajo "teórico" y el "práctico"; de más en más los técnicos están al acecho de descubrimientos teóricos capaces de aplicaciones útiles o simplemente rentables. Pero esto no significa que la fecundidad de la investigación aplicada se haya convertido en un simple problema de organización del trabajo, y que baste con crear laboratorios suficientemente bien equipados y dotados de un personal especializado para descubrir el remedio del cáncer, construir cohetes interplanetarios o realizar cualquier otro deseo de los hombres.

Por cierto, el lanzamiento del primer Sputnik prueba que se puede dirigir la investigación hacia una aplicación práctica —y tener éxito!—. Pero la explosión del primer "cohetes" norteamericano Vanguard acaba de recordarnos a tiempo cuán aleatoria es la investigación "a pedido".

En efecto, cada aplicación sólo puede llegar a su debido tiempo, cuando los conocimientos

fundamentales y las técnicas correspondientes han adelantado lo suficiente. Las aplicaciones son *frutos*: de nada sirve reclamarlos en tanto el árbol no esté lo bastante desarrollado. ¡Pasteur no hubiese podido hacer nada en microbiología antes del invento del microscopio! ¡Nada de refrigeradores antes de los trabajos "teóricos" de Faraday sobre la licuación de los gases y los progresos de la termodinámica!

Es necesario que el público se compenetre de la idea de que la ley de la oferta y la demanda no se aplica a las relaciones entre la ciencia y la técnica. Un ejemplo muy actual, citado por J. Yvon, del CEA, lo ofrece el conflicto que opone provisionalmente a los constructores de pilas atómicas, aún incapaces en el actual estado de la ciencia de sobrepasar una temperatura dada del vapor producido, y los "usuarios", técnicos en turbinas de vapor, quienes reclaman vapor más "potente". Sin embargo, es seguro que la elevación de la potencia global, el aumento de la temperatura, así como el aumento de la presión de los gases producidos por las centrales atómicas actuales, acabarán por acercar estas últimas a las centrales térmicas tradicionales. ¡A menos que se descubran mientras tanto soluciones de naturaleza distinta!

Además, el hombre no siempre es consciente de sus necesidades, y le falta a veces imaginación y audacia para formular, *a priori*, de una manera precisa, lo que *tendría* que realizar para mejorar su bienestar. La utilidad de ciertas aplicaciones a menudo sólo aparece con la realización del invento correspondiente. ¿Pudo haberse enfocado anteriormente el *problema* de la visión a través del cuerpo humano, que nos permite hoy la aplicación, a la radiocopia, de la descarga en gases enrarecidos? ¿Se habría tenido la audacia de buscar un procedimiento de comunicación, casi instantáneo, de los sonidos y de las imágenes de un extremo al otro de la Tierra, antes del descubrimiento de las ondas electromagnéticas?

## LAS APROXIMACIONES SUCESIVAS

Con los progresos de la ciencia, la realidad aparece más y más compleja, y de ello han sacado algunos la conclusión de que la verdad retrocede y se nos escapa a medida que tratamos de asirla mejor. De hecho se trata, por el contrario, de un conocimiento más completo y más preciso. "La ciencia vive de sucesivas soluciones dadas a porqués cada vez más sutiles, cada vez más próximos a la esencia de los fenómenos" (Pasteur). Ilustraremos esta progresión del conocimiento mediante un ejemplo sacado de la astronomía.

Al principio, los objetos estudiados por los astrónomos pudieron considerarse particularmente simples. Los astros no eran sino puntos luminosos dotados de un cierto movimiento. Su lejanía y la insuficiencia de los métodos de observación hacían imposible todo estudio detallado.

Venus —antaoño simple punto luminoso, como las estrellas— se transforma, después del invento del telescopio, en una media luna, cuyas formas varían periódicamente; Saturno —otra "estrella" de antaoño— se reviste de un anillo, y Júpiter revela sus satélites; la Vía Láctea se convierte en millares de estrellas; la Luna se cubre de montañas y el Sol de manchas.

Luego llegamos a saber, gracias al espectrógrafo, que tampoco las estrellas son puntos

luminosos, sino objetos concretos —grandes esferas de gases incandescentes— y logramos conocer su composición química, temperatura, dimensiones y distancias.

Al mismo tiempo, se observa un número siempre creciente de ellas, cada vez más débiles y lejanas. Y he ahí que, instruidos sobre sus fuentes de energía, se nos ocurre la idea de imitar a las estrellas, y de construir en la Tierra soles en miniatura, vale decir, los reactores nucleares de fusión.

Este ejemplo nos ofrece una imagen de un proceso fundamental de la ciencia: el empleo de aproximaciones sucesivas o, si se prefiere, del acercamiento progresivo a la verdad.

Frente a la complejidad de lo real, el sabio, puro o aplicado, busca ante todo distinguir lo primordial de lo secundario. Cada fenómeno depende de innumerables factores y en cada etapa de la ciencia es imposible estudiar rigurosamente la influencia y la interacción de cada uno de ellos. La investigación es siempre, ante todo, un asunto de discernimiento: descubrir lo que se puede despreciar en el análisis de lo real, he aquí lo más importante dentro de la selección que la investigación científica implica. Es esto lo que permitió decir a Dingle que las ciencias llamadas exactas son "esencialmente inexactas".

En una *primera* aproximación, desprecian-

do muchos detalles, todos los fenómenos son simples: la compresibilidad de los gases a temperatura constante se expresa por la ley  $p.v = cte$ ; pero en una *segunda* aproximación, uno observa que ella sólo es válida en un dominio limitado. Debe ser remplazada, para grandes densidades, por la fórmula de Van der Waals, que tiene en cuenta la atracción entre las moléculas del gas y el volumen ocupado por esas moléculas.

En una *primera* aproximación se puede afirmar, con Pasteur, que las enfermedades son provocadas por los microbios, pero en una *segunda* aproximación se descubre que son provocadas por las toxinas segregadas por los microbios, lo que da razón a Claude Bernard, sin por ello negársela a Pasteur.

En una *primera* aproximación el Sol está inmóvil y la Tierra gira, como lo afirmaban Copérnico y Galileo. Pero en una *segunda* aproximación el Sol gira alrededor del centro de la Vía Láctea. Da una vuelta alrededor de ella en 250 millones de años, y arrastra a la Tierra en ese movimiento, con la velocidad de 250 km por segundo, mientras sigue efectuando el movimiento descrito por Copérnico.

Lo que hace posible en ciencia el uso de las aproximaciones sucesivas, es la existencia de una *jerarquía* en la complejidad de las formas y en los órdenes de magnitud de los fenómenos naturales.

El recorrido que la Tierra efectúa en un año, en virtud de su movimiento *galáctico*, es completamente despreciable con relación al movimiento "copernicano" correspondiente. Sin embargo, la traslación de la Tierra sobre su órbita galáctica es alrededor de ocho veces *más rápida* que su giro en torno al Sol. ¿Cómo es posible entonces que la aproximación copernicana sea válida? Es que los movimientos galácticos de la Tierra y del Sol durante un año son prácticamente *rectilíneos*, mientras que el movimiento relativo de la Tierra alrededor del Sol es sensiblemente *circular*.

Nada impide, por otra parte, enfocar una *tercera* aproximación, que tenga en cuenta la

superposición de los dos movimientos, y que dé a la Tierra un movimiento en forma de resorte en espiral que resulte de una composición del movimiento rectilíneo con un movimiento circular. En una *cuarta* aproximación se tomaría en cuenta un intervalo de tiempo suficientemente largo para que la curvatura del movimiento galáctico pudiese a su vez manifestarse. Esto equivaldría a curvar el eje del resorte, muy ligeramente, es cierto, para un intervalo de tiempo de algunos siglos. En una *quinta* aproximación se podría, en fin, tener en cuenta, por ejemplo, que la trayectoria de la Tierra en su movimiento relativo alrededor del Sol es elíptica.

En la ciencia aplicada, las aproximaciones sucesivas llevan el nombre de progreso técnico, lo que oculta la naturaleza de aquéllas.

Se tiene a menudo tendencia a no apreciar la importancia de las aproximaciones sucesivas en el dominio de la técnica. Empero, como lo observa J. Yvon, se obtiene siempre mayor provecho y comodidad en perfeccionar un modelo ya ensayado que en idear todas las piezas, en magnitud industrial, de una máquina completamente inédita. Las novedades aparecen así en el curso de etapas sucesivas. Durante la labor descubren los ingenieros dónde está la deficiencia del material, lo que les evita plantearse falsos problemas.

El carácter progresivo del método científico se une a una cierta prudencia. Se buscan recetas y conocimientos, pero se los quiere tan *seguros* como sea posible. La objetividad y la solidez de las verdades científicas, que nunca son sino aproximaciones, se adquieren, como es sabido, al confrontar las "ideas" con la observación y la experiencia, a la luz de las exigencias de la razón. Una razón, por otra parte, que se aleja cada vez más de las evidencias aparentes. El "sentido común" se muestra cada vez más traidor a medida que la razón se afina por la comparación incesante de sus principios con nuevas aproximaciones a la realidad.

Las aproximaciones con las cuales uno se conforma en ciencia aplicada son a veces me-

nos adelantadas, menos afinadas que en la ciencia fundamental. Esto se produce cada vez que consideraciones de orden económico introducen un cierto apuro, incompatible con una experimentación rigurosa o, por ejemplo, cuando el objeto de estudio es un ser vivo, al que no se puede someter a aproximaciones sucesivas sin matarlo. Es evidente que la búsqueda de resultados aprovechables comercialmente (disminución de desechos, mejora de la calidad, abaratamiento del precio de costo . . .) lleva a menudo a ensayos menos profundizados, dada la importancia del factor tiempo. Igualmente, la acción microbicida de los nuevos antibióticos no puede estudiarse con el mismo afinamiento y con la misma precisión sobre enfermos que sobre especies microbianas rigurosamente seleccionadas en un medio fisicoquímico definido.

Pero sería un grave error creer que siempre sucede así cuando se trata de ciencia aplicada. Cada vez más a menudo, sobre todo en la industria química, en la industria eléctrica, en la fabricación de las vacunas . . ., en laboratorios como los de la *General Electric*, ONERA (*Office National d'Études et de Recherches Aéronautiques*), CEA (*Commissariat à l'Énergie Atomique*), CERN (*Centre Européen de Recherches Nucléaires*) o del Instituto Pasteur, que tienen una finalidad práctica definida con bastante amplitud, el equipo de investigadores se toma el tiempo de analizar con el máximo rigor todos los fenómenos que intervienen en el problema, para extraer las leyes que podrían conducir a realizaciones prácticas. Es lo que algunos llaman la *investigación fundamental orientada* o también la *investigación aplicada teórica* (por oposición a la investigación aplicada de *productividad*, más interesada en la rentabilidad inmediata).

Como también lo indicó recientemente J. Yvon, el desarrollo de las pilas atómicas de grafito supone amplios trabajos de investigación aplicada, a largo plazo. La experiencia internacional reveló, efectivamente, que en las pilas atómicas los más diversos materiales, bajo el efecto de la radiación, adquieren pro-

iedades físicas o químicas imprevisibles. Los proyectos de los ingenieros corren el riesgo de fracasar si no se ha adquirido un buen conocimiento del comportamiento de los materiales bajo el efecto de las radiaciones. Aquí el método de las aproximaciones sucesivas no consiste en construir pilas cada vez más poderosas, cada una de las cuales aporte conocimientos para las siguientes. Es indispensable disponer de una pila *especialmente equipada* para este fin, donde se sacrifique todo a la producción de radiaciones y el estudio de sus efectos. La pila E.L.3 ha sido instalada en Sclay precisamente para este programa.

La investigación aplicada a largo plazo, poco conocida por el público, es sin embargo ya clásica. Fue Taylor quien, en sus investigaciones sobre aceros de corte rápido, abrió el camino; más recientemente este método ha hecho la fortuna de las casas Philips y Dupont de Nemours. Puede igualmente dar lugar a la investigación aplicada enteramente desinteresada. En ciertos laboratorios del Estado, o en ciertas "fundaciones" (Rockefeller, Carnegie, Rothschild . . .), se investigan sistemáticamente y sin prisa excesiva nuevos antibióticos, nuevas vacunas, nuevos productos quimioterapéuticos, sin otra intención que la de beneficiar a la humanidad.

De una manera aún más notable, ciertas aplicaciones de la ciencia han llegado a un grado de aproximación tan elevado que se pueden prever teóricamente, por el cálculo, a partir de leyes rigurosas, las condiciones futuras del funcionamiento de ciertos equipos utilitarios muy complejos: pilas atómicas, cohetes, aviones de chorro . . . El público no está del todo errado al confundir la técnica, en sus aspectos más modernos, con la ciencia.

Uno de los caracteres generales de la ciencia aplicada de hoy es el traspaso progresivo de la investigación técnica del laboratorio y del taller a la oficina de cálculo o, más exactamente, a la oficina del "teórico", quien deberá estar cada vez más al tanto de las últimas adquisiciones de la *investigación fundamental desinteresada*.



## "LOS DESCUBRIMIENTOS"

a) **El descubrimiento de los "efectos"**. En la base de cada rama de la ciencia hay descubrimientos de un tipo bastante particular: los referentes a los "efectos". Descubrir un "efecto" es reconocer, casi siempre de manera puramente cualitativa, la existencia de una nueva propiedad de la materia (inerte o viva) o de una relación entre fenómenos considerados hasta entonces como independientes. No se podían estudiar el magnetismo, la electricidad, la radiactividad, los antibióticos, antes de haber descubierto los efectos magnéticos, eléctricos, radiactivos o antibióticos. Había que comprobar primero que ciertas masas atraían objetos de hierro, que las patas de las ranas muertas se encogían al contacto de un par cinc-cobre, que el uranio ennegrece las placas fotográficas a través del papel de embalar y que el contacto con ciertos hongos podía destruir algunos cultivos microbianos.

Análogamente, no se podían estudiar las propiedades calorígenas de la corriente eléctrica antes de que se descubriera el desprendimiento de calor que acompaña el paso de tal corriente por un conductor (efecto Joule). Tampoco se podían estudiar los movimientos de aproximación o de alejamiento de las estrellas antes de que se conociera el efecto Doppler-Fizeau, que relaciona la variación de

la distancia de una fuente luminosa con ciertas modificaciones de la luz emitida por dicha fuente (corrimiento de las líneas espectrales).

El descubrimiento, por Oersted, del efecto electromagnético fue el punto de partida, tan necesario como inesperado, de la electrodinámica; y el hallazgo del efecto de inducción, hecho por Faraday, lo fue de la electrotecnia moderna.

Tales descubrimientos son generalmente imprevistos, lo que les da, cuando los periodistas intervienen, un carácter sensacional: el descubrimiento del efecto Röntgen, punto de partida de la radioscopia y de la radiografía, ha sido proclamado por la prensa de la época casi con el mismo entusiasmo que el primer satélite artificial...

Se podría pensar *a priori* con Le Chatelier que el número de efectos por descubrir disminuye a medida que la ciencia avanza. Así sería si el poder de penetración de nuestros instrumentos continuase invariable. Pero como aumenta sin cesar, nuevos dominios se vuelven accesibles y, al extenderse hacia partículas cada vez más elementales, hacia energías cada vez mayores, hacia espacios cada vez más vastos..., nuevos efectos aparecen, en número siempre creciente, y abren las vías a nuevas investigaciones.

b) **Los progresos lentos, las vacilaciones y los saltos hacia adelante.** Después del descubrimiento de un efecto, el progreso de la ciencia presenta un ritmo esencialmente irregular, hace lentas caminatas, marca el paso y a veces da bruscos saltos hacia adelante. Pasteur decía:

“¿Qué idea os hacéis del progreso de la ciencia? La ciencia da un paso, luego otro, luego se detiene, y se recoge antes de dar un tercero.”

Las formas de marcar el paso se llaman “trabajos científicos”, las lentas caminatas desembocan en los “resultados”, los saltos hacia adelante son los que los periodistas y el público llaman descubrimientos, pero que los sabios, más modestos, llaman entre ellos “resultados importantes”. Nos atenderemos a esta última terminología, más conforme con el carácter acumulativo de la ciencia.

Consideremos, con Le Chatelier, el caso del estudio físico del cuarzo. Un especialista en mineralogía o en cristalografía recoge varias muestras de cristal de roca. Un físico confirma la identidad fundamental de todas las muestras y hace progresar la ciencia midiendo el peso y el volumen de cada una de ellas, comprobando que el cociente da siempre 2,65. Es un primer *resultado* interesante. Al estudiar luego el comportamiento de la densidad cuando se hace variar la temperatura, el mismo físico (u otro) descubre primero el *efecto* de dilatación en general y después establece la ley de la variación de la densidad en función de la temperatura. Esta ley constituye un *resultado importante*, capaz de las aplicaciones más variadas: podrá sugerir, por ejemplo, la fabricación de recipientes de pirex irrompibles por variaciones bruscas de temperatura.

Si, entre tanto, se inventa el pirómetro, que permite medir temperaturas elevadas, se podrá llevar la investigación más allá de los 500° y comprobar un resultado curioso e imprevisto: la brusca dilatación del cuarzo a 570°, y su paso de una variedad alotrópica a otra. Las consecuencias de ese nuevo *resultado* serán aún más importantes, tanto para el control

del cocido de objetos de pirex como para el estudio de la estructura de la materia.

c) **Diferentes clases de “trabajos” científicos.** Un primer tipo de búsqueda será una *exploración* más o menos exhaustiva sobre un tema determinado. Será, por ejemplo, la determinación metódica de *todas* las propiedades físicas y químicas de un producto de síntesis; la búsqueda de *todas* las especies microbianas responsables de la putrefacción de la carne; el estudio de *todas* las clases de acero aptas para piezas de torno (aceros de corte rápido de Taylor); en matemáticas, el estudio *profundizado* de una función o de una figura geométrica compleja o, en astronomía, el estudio de la distribución de los 150 mil millones de estrellas que componen la Galaxia . . .

Un segundo tipo de trabajos trata de realizar progresos en la *precisión* y en la *certeza* de los conocimientos, tanto por un afinamiento creciente de las medidas, como por la crítica de los razonamientos contenidos en los *resultados* anteriores. Esos trabajos suponen la construcción de aparatos clásicos, pero cada vez más perfeccionados, cada vez más precisos, sensibles y fieles, que permitan el registro, la amplificación y el análisis de los fenómenos estudiados. Ellos conducen especialmente a un continuo progreso en los valores numéricos de las constantes físicas, químicas, astronómicas, etcétera.

Un tercer tipo de investigación tiende a la *extensión* de un dominio de naturaleza dada, en el tiempo o en el espacio (en astronomía, geofísica, espeleología, arqueología, paleontología, etc.), en las profundidades del universo, de la Tierra o del pasado. Tienen parentesco en ellas ciertas investigaciones sobre la estructura de la materia, del átomo o del núcleo. También se investiga en extensión cuando se trata de producir artificialmente fenómenos fuera del dominio en que ellos se observan naturalmente: obtención de temperaturas muy elevadas o muy bajas, de muy altas o muy bajas presiones, fabricación de explosivos cada vez más poderosos, construcción de acelera-

dores de partículas cada vez más gigantescos, nuevas síntesis químicas, nuevas generalizaciones matemáticas . . .

Un cuarto tipo de investigación permite alcanzar mayor orden en cierto campo que abarca conjuntos complejos, gracias a un esfuerzo de *sistematización*, de clasificación. La tabla periódica de los elementos, en química, o la clasificación de las líneas espectrales de los distintos átomos o moléculas, son, junto con la clasificación de los astros, de las plantas y de los animales, ejemplos clásicos de este tipo de trabajos.

Otras investigaciones permiten realizar progresos en lo que podría llamarse el *instrumental intelectual*, es decir, en los métodos mismos de la investigación. La introducción del álgebra en la geometría (geometría analítica), la introducción del cálculo infinitesimal en física, la utilización del cálculo de probabilidades y de la estadística en biología, los números complejos en electrotecnia . . ., son otros tantos ejemplos, que podrían multiplicarse, de la aplicación de las matemáticas, es decir, de la inteligencia en estado casi puro, al progreso de la ciencia.

En fin, un último tipo de investigación se dirige hacia el progreso en el *instrumental técnico*, tanto en la ciencia pura como en la aplicada. La maquinaria fotográfica y electrónica que permite conservar, amplificar y transmitir las imágenes de la realidad, centrífugas y cámaras frías que permiten fraccionar y conservar productos biológicos, estroboscopios y aparatos cinematográficos que permiten analizar y conservar la imagen de los movimientos de mayor rapidez, microscopios (comunes o electrónicos) que permiten "ver" y fotografiar lo invisible, lentes astronómicos que aumentan de una manera prodigiosa el alcance de nuestros sentidos, espectrógrafos que permiten analizar la composición química de las estrellas más lejanas, galvanómetros ultrasensibles, "satélites" que evolucionan a más de 3.000 km de altura . . . ¡Cuántos aparatos, cuántos instrumentos, para tener acceso a un dominio de lo real siempre más vasto, ver

lo invisible, conservar lo perecedero, retardar lo demasiado rápido . . ., *gracias al invento*, es decir, a la ingeniosidad encarnándose en dispositivos técnicos!

*Inventos* son también esos contadores Geiger-Müller, que permiten descubrir las más débiles radiaciones; esas cámaras de Wilson, que permiten fotografiar y ver los electrones y los rayos cósmicos; esos coronógrafos que permiten observar la corona solar sin eclipse; esos productos de síntesis que van desde los colorantes de anilina a "las píldoras de la felicidad", pasando por las materias plásticas, las vitaminas y el caucho artificial.

*d) Los descubrimientos revolucionarios.* Si es poco indicado bautizar con el nombre de "descubrimientos" a todos los saltos importantes, no es lo mismo para ciertos resultados revolucionarios, que suprimen las contradicciones antiguas y coordinan un gran número de hechos primitivamente sin vinculación aparente. Basta a veces con una idea o una sola experiencia (geniales) para suprimir una tensión desde mucho tiempo acumulada. La idea de que la Tierra no está fija, para resolver las dificultades de la astronomía anterior a Copérnico; las experiencias de Rutherford acerca de la difusión de las partículas  $\alpha$  al revelar la existencia del núcleo atómico; la idea de la relatividad en Galileo, para explicar la aparente inmovilidad de la Tierra; de nuevo la idea de la relatividad, esta vez en Einstein, para explicar la experiencia de Michelson . . ., son descubrimientos que señalan verdaderas revoluciones científicas. La revolución heliocéntrica, la revolución nuclear <sup>1</sup>, la revolución relativista.

<sup>1</sup> Recordemos brevemente el punto culminante de la experiencia de Rutherford, que marca en cierta forma el origen de la era atómica. Utilizando una fuente de partículas rápidas, emitidas por una sustancia radiactiva, Rutherford las dejó caer sobre una hoja metálica delgada, y encontró que en ciertos casos (bastante raros pero seguros) las partículas  $\alpha$  eran difundidas hacia atrás. Más tarde, hablando de esta experiencia, Rutherford decía: "era el acontecimiento más increíble que me tocó vivir; era casi tan increíble como si

Igualmente, la explicación de la radiactividad por la desintegración de los núcleos atómicos, acompañada por la emisión de electrones, de partículas  $\alpha$  y de rayos gamma, constituyó una verdadera mutación en las ideas científicas. Antes de este descubrimiento de Rutherford, los sabios creían que nuestro universo estaba compuesto de cuerpos bien definidos, de elementos fijos para siempre. Pero he aquí que esta materia, inmóvil en apariencia, abrigaba "la vida y la muerte" de las partículas. Como lo manifestara Eve Curie, los filósofos no tenían ya otra alternativa que recomenzar la filosofía y los físicos la física.

Lo mismo ocurrió con el descubrimiento de la función microbiana en las enfermedades contagiosas: "prodigiosa solución de continuidad" (Pelseneer) en la medicina, cuya historia se divide esquemáticamente en dos "edades": la medicina antes de Pasteur y la medicina después de Pasteur. Se puede, pues, muy bien hablar de la "revolución pasteriana".

Todas esas grandes síntesis intelectuales, que llevan lo visible complejo a lo invisible simple, hacen comprender mejor las leyes de la materia y su interacción con las radiaciones (luz), los procesos bioquímicos (vida), el origen y la evolución de los seres.

La ley de la gravitación, la relación  $E = mc^2$  de Einstein, la relación  $E = hv$  de Planck, o el principio de la selección natural; las grandes teorías correspondientes: de la gravitación universal, de la relatividad, de los cuantos, de la evolución, son verdaderos pilares de la ciencia.

e) **Complejidad de la evolución de la ciencia.** Como se ve, la evolución de la ciencia es un proceso muy complejo. Después de los descubrimientos iniciales de los efectos,

se viera una bala de revólver rebotar contra una delgada hoja de papel, volver atrás y herirnos". Haciendo cálculos, encontró que era imposible obtener los resultados observados sin admitir que toda la masa del átomo estaba concentrada en un núcleo minúsculo. Fue entonces cuando concibió la idea de un átomo con un núcleo central macizo, portador de una carga eléctrica positiva.

la estructuración completa de una disciplina exige un trabajo considerable que consiste en hurgar en el detalle de lo "ya casi conocido" para acumular resultados más o menos notables y perfeccionar progresivamente el conocimiento de las propiedades de los cuerpos y de las leyes de los fenómenos. El descubrimiento de la disociación química, por ejemplo, permitió a centenares de químicos hacer "trabajos importantes", ninguno de los cuales sin embargo puede ser considerado como un "descubrimiento sensacional". Esos trabajos llevaron a precisar las leyes del equilibrio químico y han tenido innumerables aplicaciones industriales.

No solamente la ciencia no progresa por impulsos de *descubrimientos*, sino que hasta sería exagerado decir que progresa únicamente por impulsos de resultados importantes. Una multitud de simples "trabajos" representa lo esencial de la actividad creadora de cada sabio. Pensemos, por ejemplo, en los que permiten establecer la *historia cuantitativa* de un fenómeno que evoluciona en el tiempo, y cuya ausencia constituiría una laguna irreparable. Pensemos en las observaciones astronómicas: eclipses, posiciones estelares, brillo de las estrellas variables, caudal energético del Sol. Pensemos en las observaciones climatológicas o sociológicas... Recordemos las leyes de Kepler, deducidas de los modestos trabajos sin brillo de Tycho Brahe, y las humildes observaciones que han conducido a las leyes de Mendel sobre la herencia.

Lo que se podría alcanzar rápidamente por un salto discontinuo, por un resultado espectacular, puede también a veces obtenerse mediante una lenta acumulación continua, progresiva y metódica de trabajos modestos. Es muy probable que si los gases raros no hubiesen sido descubiertos por Rayleigh y Ramsay al estudiar la densidad anormal del nitrógeno atmosférico, serían conocidos lo mismo actualmente gracias a las indicaciones dadas por la radiactividad y los casilleros vacíos de la tabla periódica de los elementos (en su forma actual).

En su notable librito *La ciencia y el sentido común*, Oppenheimer muestra la eficacia del método inaugurado de manera sistemática por Rutherford y que ha llevado desde entonces a los "descubrimientos en cadena" que han culminado con las pilas atómicas y la creación de nuevos elementos transuranianos. Este método consiste en convertir continuamente el objeto de estudio en un instrumento de investigación: después de haber estudiado las partículas  $\alpha$  en sí mismas, se las utilizará como proyectiles para bombardear núcleos más complejos. Descubriendo así los neutrones y utilizándolos a su vez como proyectiles, se llegó a la fisión

del uranio. Por esto mismo, cada progreso permitirá construir medios de detección cada vez más afinados.

Se ve cuán complejas y múltiples son las causas de la evolución de la ciencia. La ciencia progresa, sin duda, gracias a los descubrimientos más variados: descubrimientos en cadena, chispazos de pensamiento, descubrimientos fortuitos; pero también por la actualización paciente de resultados, la exploración metódica de dominios recientemente conquistados, sin olvidar la lucha contra los falsos problemas, la rutina y una multitud de otros obstáculos.

## CAPÍTULO VI

### LOS PRINCIPALES ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### La acumulación

Todo resultado científico clava sus raíces simultáneamente en trabajos anteriores y en descubrimientos hechos en otros dominios. Los trabajos de Mme. Curie, por ejemplo, no hubiesen sido posibles sin el descubrimiento de Becquerel de la radiactividad del uranio, que presupone la intervención de la fotografía; ésta, a su vez, necesita del descubrimiento del efecto fotoquímico, etc. Todo descubrimiento, como un individuo, posee un árbol genealógico. La filiación es más o menos difícil de establecer, pero en la ciencia, como en la vida, no hay *generación espontánea*.

En ciencias sociales, como lo hacía notar antaño Chombart de Lauwe, todas las disciplinas están interconectadas: se habla de psicofisiología, de psicología social, de geografía económica; las ciencias jurídicas se apoyan sobre investigaciones históricas y etnológicas; la sociología industrial y la sociología urbana no pueden prescindir del conocimiento de las es-

tructuras económicas; la psicología social, cuando estudia las relaciones, en los grupos pequeños, no puede ser separada de investigaciones más amplias sobre la coyuntura económica o acerca de la historia de las corrientes de ideas que han actuado sobre las personas en observación.

El desbroce de cualquier dominio nuevo es tributario de los resultados adquiridos anteriormente o en otras ramas de la ciencia. La radio y la televisión sumergen sus raíces en la obra de Hertz sobre las radiaciones electromagnéticas, que resultó del deseo de probar experimentalmente la teoría de Maxwell, teoría que es, a su vez, síntesis de las leyes experimentales del electromagnetismo . . . , inconcebibles ellas mismas sin la pila de Volta y la experiencia de Oersted.

Los ejemplos que acabamos de citar revelan claramente la existencia de dos tipos de conexión: una vertical, otra horizontal. La fecundidad de la ciencia se debe a la combinación incesante de legados del pasado y de intercom-

binaciones. La acumulación y la fecundación mutua de los resultados permiten a la ciencia progresar de un modo cada vez más acelerado.

Si todo resultado nuevo utiliza, en parte, ciertos resultados anteriores, recíprocamente todo resultado de hoy tiene probabilidades de servir para trabajos futuros.

Una de las inmensas ventajas de la ciencia es que ella puede renunciar, al comienzo de cada problema, a una síntesis racional completa. Las exploraciones de los sabios se asemejan a la solución de un rompecabezas. Cada sabio no tiene sino que buscar los pedazos que se ajusten, de las combinaciones parciales; no necesita resolver *todo* el juego, y puede dejar para las generaciones futuras el cuidado de hacer progresar, y eventualmente terminar, la solución completa.

Así, la historia de la determinación de las distancias entre los objetos astronómicos se escalona en más de 200 años, desde Bradley a los trabajos más recientes. Por otra parte, sólo repitiendo mediciones muy antiguas se llegan a poner en evidencia los "movimientos propios", muy lentos, de las estrellas. Existe así una unión vertical a través de varias generaciones de astrónomos y es "de esa paciencia sublime que emerge el saber científico" (Dingle).

Oppenheimer ha podido comparar la ciencia con un palacio sin acabar. Esta imagen es más satisfactoria que la de una ciencia representada por un único edificio. En el palacio de Oppenheimer hay habitaciones completamente concluidas, que se amueblan progresivamente, mientras se construyen nuevas alas. La ciencia crece sin límites, porque los resultados parciales, definitivamente adquiridos, se agregan constantemente unos a otros. Esto justifica todos los esfuerzos honestos, y permite el descubrimiento de errores eventuales, verificando y reajustando las piezas mal ajustadas del rompecabezas. La ciencia crece tanto por descubrimientos discontinuos como por el agregado de pequeños perfeccionamientos. El estudio incesante de los cuerpos, moléculas, átomos, núcleos; la medición de los diferentes

fenómenos..., edifican un conjunto cada vez más vasto y mejor acondicionado.

Como lo manifiesta Jean Rostand, a medida que la ciencia progresa los detalles se complican, pero las grandes líneas se depuran. Las antiguas teorías se amalgaman progresivamente en síntesis más amplias y más generales. Por esto el sabio "puede en cada instante, sin perderlo todo, volver a poner sobre el tapete todo el trabajo anterior". Cada aproximación queda adquirida cuando aproximaciones más adelantadas exigen cambios en los puntos de vista.

Aun si la ciencia estuviese "compuesta por teorías en las que nadie cree salvo quien las propuso primero, y por hechos en los cuales todo el mundo cree, salvo el último que los investigó" (Pelseneer), no dejaría de ser, por ello, el único edificio humano imperecedero y en continuo progreso.

Porque:

- lo que hoy parece carecer de importancia será fecundado quizás por los resultados de mañana...;
- lo que hoy es un resultado aislado servirá quizás, mañana, de elemento prefabricado para un conjunto más vasto, o de punto de partida para una nueva cadena;
- lo que hoy es insoluble podrá eventualmente ser resuelto, mañana, mediante el uso de métodos provenientes de otras ramas de la ciencia.

¿Quién puede probar que en el momento en que escribimos estas líneas, en que los sabios y el público se extasían ante los éxitos de los primeros satélites artificiales, un sabio desconocido no está a punto de descubrir algún medio completamente nuevo de actuar sobre los campos de gravitación, lo que haría anticuados los cohetes de reacción actuales?

### La cooperación

El carácter acumulativo de la ciencia le permite progresar por los esfuerzos mancomunados.

nados de innumerables investigadores. Es una obra colectiva. No podía ser de otra manera, como lo notara ya Descartes: las experiencias necesarias para conocer y comprender la naturaleza son demasiado numerosas para que un hombre *solo* baste para hacerlas todas.

La ciencia depende de la capacidad combinada de miles de sabios, pues todo elemento nuevo del edificio científico sólo se acepta a condición de integrarse en el conjunto. Todos los resultados crecen por la acción de varios investigadores. Tenía razón Newton al decir que vio más lejos que los demás porque pudo trepar "sobre los hombros de sus predecesores". Atribuir un resultado, descubrimiento o invento a un solo sabio resulta muy a menudo una "esquemmatización un poco abusiva" (R. Taton).

Es tan grandiosa la obra que la contribución personal más brillante, en definitiva, toma proporciones modestas. Cada sabio no es más que "una pequeña pulsación entre millones de palpitations de donde nace la verdad", como dice, de una manera un poco grandilocuente, R. Collin. Sin embargo, ¡cuánta diferencia existe entre los miembros de la comunidad de constructores de la ciencia!

La ciencia tiene sus nuevos ricos, sus oportunistas que cultivan los terrenos desbrozados por otros, o los que aprovechan sencillamente un descubrimiento debido al azar. Pero hay también en el reino de la ciencia exploradores visionarios, arquitectos, hombres de Estado y legisladores (Dubos).

Se podría simbolizar la investigación científica por la actividad de las hormigas. Ciertos miembros de la comunidad consolidan el hormiguero mientras otros salen a la aventura, a la búsqueda de materiales de construcción o del alimento necesario para la colectividad. Algunos no encuentran nada; otros hacen hallazgos más o menos interesantes. Según sus fuerzas, su habilidad y su tenacidad, solas o entre varias arrastran su botín hasta la despena o lo abandonan a mitad del camino. Otros miembros de la comunidad más tarde

recogerán los bienes así abandonados, y los acercarán cada vez más al hormiguero.

Si la ayuda amistosa es siempre de provecho para el progreso de la ciencia, ciertas actividades científicas no podrían adecuarse al "pensamiento en comité" (Santillana), y exigen el crisol de una inteligencia única. Tratóndose del espíritu, no siempre puede decirse que la unión hace la fuerza. Esto explica por qué, a pesar del auge del trabajo en equipo, grandes pensadores continúan a menudo aislados y solitarios. Pero es indiscutible que la ciencia tiende cada vez más a despersonalizarse.

A medida que la ciencia progresa, la amplitud y la complejidad de los problemas necesitan cada vez más el esfuerzo *conjungado* y la colaboración *directa* de un gran número de investigadores que trabajen en equipo para la solución de un problema relativamente bien definido. Los descubrimientos colectivos se hacen cada vez más frecuentes. Testimonio de ello es la división de los premios Nobel entre un número siempre en aumento de co-descubridores.

Piéron explicó muy bien esto recientemente. Las técnicas de investigación se hacen cada vez más complejas. Exigen medios materiales considerables y la colaboración de un gran número de agentes, para la vigilancia, el control y la puesta a punto de los distintos dispositivos voluminosos o frágiles. Ponen en juego enormes potencias y se torna muy peligroso jugar solo al aprendiz de brujo. Las instalaciones modernas son demasiado costosas. La construcción de un acelerador de partículas de gran potencia es tan cara que resulta indispensable hacerlo funcionar las veinticuatro horas del día. Sólo un *equipo* de "sabios-ingenieros" puede asegurar un funcionamiento sin interrupción.

La necesidad creciente de explorar dominios situados en los límites de las disciplinas tradicionales, la importancia de las ciencias intermedias tales como la fisicoquímica o la astrofísica y la existencia de verdaderas encrucijadas científicas, *exigen* la colaboración de

muchos especialistas. Piéron cita el ejemplo espectacular de los problemas de la *visión*, que, después de haber sido acometidos por físicos, por ingenieros en iluminación, por oftalmólogos, por fisiólogos, por psicólogos, *separadamente*, no pudieron reflejar serios progresos sino a partir del día en que todos esos especialistas comenzaron a trabajar en estrecha colaboración y desde el momento en que apelaron a biofísicos, bioquímicos, psicofisiólogos, etcétera.

Las ciencias humanas, especialmente, exigen a veces misiones prolongadas en regiones de acceso muy difícil o peligroso para un sabio aislado. Ciertas investigaciones de psicología no pueden ser realizadas sino por *equipos* de médicos, lingüistas, psicotécnicos, que trabajen en un mismo tema. Piéron cita el caso de un estudio con respecto a 100.000 niños, tendiente a determinar el desarrollo mental de los escolares. ¿Puede concebirse tan vasta empresa realizada por uno solo?... La ciencia da "el ejemplo más hermoso de trabajo colectivo cumplido por hombres de todas las épocas y de todos los países" (R. Taton). Sin embargo, no siempre es fácil coordinar las personalidades que integran un equipo. Los investigadores de talento son personalidades fuertes, a menudo muy individualistas por naturaleza. Como lo señala Letort, tienden a imponerse o a separarse. Además, el carácter competitivo de la investigación es un obstáculo, en las distintas jerarquías, para una cooperación absolutamente sincera.

### La competencia

Esta empresa, concebida para provecho de todos los hombres, es a veces teatro de una lucha de aspereza insospechada, que vincula a la ciencia con el deporte.

Ello proviene tal vez de la dificultad de establecer dentro de la ciencia una escala de valores objetivos, y por el hecho de que solamente la *prioridad* confiere un valor inmediato, indiscutible, a un resultado nuevo.

La carrera hacia ese único valor seguro transforma a la ciencia en una organización en la que tienden a formarse, al igual que en el campo de la competencia económica, agrupaciones cada vez más amplias y poderosas, que ninguna ley "antitrust" internacional ha limitado hasta el momento.

A los sabios no les gusta evocar este aspecto de la vida de su comunidad, aspecto por el cual sienten un verdadero rechazo. Es un tema tabú, que algunos escritores —Jules Romains, Georges Duhamel, Sinclair Lewis y muchos otros— se divertieron en violar. En cuanto a los sabios, no comprendieron aún que esta "vergüenza" de la ciencia se les impone en cierta manera desde fuera, y constituye una ley natural a la cual es difícil sustraerse. Sienten confusamente que existe una contradicción entre el don generoso que hacen de sus resultados a la humanidad y el espíritu de competencia que inspira su conducta en tanto esperan el momento liberador en que la publicación sancionará su prioridad.

Hombres capaces como Pasteur de entregar a la humanidad la fórmula de preparación de las vacunas, pueden también, como él, "contenerse, no abandonarse a la mínima confianza" (R. Vallery-Radot), tomar medidas para que nadie sepa demasiado pronto cuáles son sus proyectos, sus dificultades o sus métodos. Son capaces de sentir por sus resultados una paternidad celosa, con inquietudes de propietario que vigila su vergel.

En verdad, esta *secretiveness*, como dicen los ingleses, no deriva únicamente del temor mezquino de dejarse robar las ideas. Se justifica a menudo por motivos más nobles. En el caso de Pasteur, citado más arriba, había indudablemente una gran parte de prudencia y seriedad. Cada sabio toma precauciones para no dejar conocer sino resultados debidamente verificados, seguros y ciertos, y no vagas presunciones y esperanzas o simples hipótesis, por plausibles que ellas sean.

Existe, también, el temor de "quitar a una idea tal vez fecunda, por una publicación apresurada, el encanto de proseguirla con cal-



ma en una prolongada meditación". Pero Pasteur, siempre franco, agregaba:

"Siento, empero, que estaría aún más fastidiado si M. Marbach... llegara a la idea general que me guía. Me inclino entonces por una publicación inmediata de todo lo que sé positivamente." (Citado por Dubos.)

Es difícil, en verdad, establecer a veces la prioridad de un resultado científico. Primero, existen descubrimientos simultáneos e independientes. En matemáticas, el descubrimiento de la geometría analítica por Descartes y Fermat o el de las geometrías no euclidianas por Lobatchevsky, Bolyai y Gauss. En física, el descubrimiento de las leyes de la refracción por Snellius y Descartes, o la de la inducción por Faraday y Henry.

Se sabe que la ley de la conservación de la energía estuvo implícitamente contenida, o expresamente analizada, en los trabajos de innumerables sabios: Grove, Faraday, Carnot, Lomonosov, Meyer, Joule y Helmholtz. Se podrían multiplicar tales ejemplos citando el descubrimiento de la tabla periódica de los elementos químicos o la explicación de la evolución de las especies por selección natural.

Más recientemente, el microscopio electrónico fue concebido de 1932 a 1934, por tres equipos diferentes e independientes; esto no impide que algunos periodistas franceses atribuyan la paternidad, por otra parte no sin algunas razones..., al señor Dupouy, director honorario del Centro Nacional de la Investigación Científica. ¡Verdaderamente, la prioridad es difícil de definir!

Siempre hay alguien para poner al descubierto las raíces o la genealogía o, como se dice, las "etapas anteriores" de cualquier descubrimiento, para mostrar que la idea ya fue sugerida, entrevista, ensayada por otros. Son conocidas las penosas querellas por la prioridad entre Newton y Leibniz (cálculo infinitesimal); entre Leverrier y Adams (descubrimiento de Neptuno); entre los hermanos Montgolfier y sus contemporáneos por el origen de los aerostatos.

Existen, ciertamente, casos límites de sabios

desprovistos de espíritu de competencia, como Pierre Curie o Langevin.

Qué importa, decía P. Curie, que yo no haya publicado un trabajo si otro lo publica...

El caso contrario, que es el más frecuente, es aquél de un gran sabio completamente dominado por la competencia deportiva, y que no abandona por eso el más estricto "fair play", dentro del límite de las reglas tácitas del juego.

Rutherford es un caso típico. Escribía en 1902, en el momento de la gran carrera hacia la búsqueda de la naturaleza de los rayos X:

"The great object is to find the theory of the matter *before anyone else*, for nearly every Professor in Europe is now on the war-path..."<sup>1</sup>

Trabajando en un dominio en plena evolución, y que no era el único en explorar, estaba literalmente obsesionado por la faz de competencia en la investigación:

"I have to keep going [papers for publication and fresh work], as there are always people on my track. I have to publish my present works as rapidly as possible *in order to keep in the race*..."<sup>2</sup>

Llega aun al extremo de tratar a sus competidores (Becquerel y los Curie) de "velocistas". ¡Estamos en pleno deporte!

En un plano más elevado, pero no menos opuesto a una concepción supranacional de la ciencia, Pasteur decía a los suyos, el día en que tuvo la certeza de su descubrimiento de la vacunación anticarbunclosa:

"No me cabría consuelo si este descubrimiento que acabamos de hacer, con mis colaboradores, no hubiese sido un descubrimiento francés.

"Estamos en la época de la competencia, declara un personaje de *Arrowsmith*, compe-

<sup>1</sup> El objeto principal es hallar la teoría del asunto *antes que cualquier otro*, pues casi todos los profesores en Europa están ahora en la competencia...

<sup>2</sup> Tengo que continuar [los documentos para publicar y el trabajo nuevo], dado que hay siempre gente que me sigue los pasos. Tengo que publicar mis trabajos actuales lo más rápidamente posible a fin de mantenerme en la carrera...

tencia en el arte y en la ciencia. Igual que en el comercio: cooperación con su propio grupo, pero competencia a muerte con los del exterior.”

Las luchas por la prioridad tenderán a tornarse menos ásperas, como lo hacía notar R. Wildt, a medida que el número de ideas aumenta en el mercado de la ciencia. Pero la competencia individual de antaño ha sido sustituida por una competencia *internacional*. Pasteur afirmaba magníficamente que “la ciencia no tiene patria”, pero se apresuraba a limitar el alcance de esta afirmación agregando: “Pero el hombre de ciencia debe tener una”. De ello se tuvo recientemente una demostración espectacular, a propósito del lanzamiento de los primeros satélites artificiales.

En vano los norteamericanos multiplicaban las declaraciones de su sincera admiración por esos “hermosos éxitos técnicos”; por ello no dejaban de transparentar menos netamente su despecho por haber sido “superados”, “aventajados”, “derrotados”, por los rusos en la carrera de los satélites. Y prometían desquitarse en los plazos más breves. Por su parte, los rusos, si bien anunciaron su intención de construir satélites artificiales, trabajaron en el más absoluto secreto, no dejando a nadie beneficiarse con los conocimientos que ellos adquirirían progresivamente. Ni los norteamericanos ni los rusos han tratado de poner en común sus capacidades o sus recursos materiales. ¡La ciencia no tiene patria! ¡Tal vez! Pero únicamente para las investigaciones, cada vez más raras, sin ninguna influencia militar o económica.

Es indudable que la competencia posee virtudes, al igual que la concurrencia y la libre empresa en la sociedad capitalista. ¡Es estimulante! . . . “Existen tres medios de fomentar la iniciativa, decía Teller: amenazar a la gente con cortarles la cabeza, someter su trabajo a un debate público, o . . . crear un competidor.”

Por ello, Pasteur no vacilaba en aprobar la competencia entre los sabios de las diferentes naciones:

“La ciencia debe ser la más alta personifica-

ción de la patria, puesto que, de todos los pueblos, será siempre el primero aquel que primero avance por los trabajos del pensamiento y de la inteligencia. Luchemos, pues, en el campo pacífico de la ciencia, por la preminencia de nuestras respectivas patrias. Luchemos, ya que la lucha es esfuerzo; la lucha es vida cuando tiene al progreso como meta.”

Es particularmente curioso observar que el desarrollo “explosivo” de la física nuclear desde 1890 a 1940 es el resultado de cincuenta años de “descubrimientos públicos” (L. Leprince-Ringuet), en un espíritu de lucha pacífica, caracterizado por un perfecto “fair play” individual e internacional.

Ni H. Becquerel, al descubrir en 1896 la radiactividad del uranio; ni Pierre ni Marie Curie al descubrir en 1898 el radio; ni el inglés Rutherford, al transmutar en 1919 el nitrógeno en oxígeno; ni Bothe y Becker, alemanes que prepararon el descubrimiento del neutrón por el inglés Chadwick, en 1932; ni el italiano Fermi, al descubrir poco después la importancia de los neutrones lentos como agentes de reacciones nucleares; ni Federico e Irene Joliot, al descubrir en 1934 la radiactividad artificial; ni los alemanes Hahn, Meitner, Strassmann, al lograr en enero de 1939 la fisión del uranio; ni Joliot-Halban-Kowarski, al señalar la posibilidad de la reacción en cadena en la misma víspera de la guerra de 1939, soñaron con reservar la exclusividad de sus resultados a su equipo o a su país, guardándolos en secreto. Desgraciadamente, si la lucha pacífica de la que hablaba Pasteur se convirtió hoy en la pugna que conocemos, es por la aparición de un nuevo fenómeno que Pasteur previó, pero del cual no midió la incidencia sobre la libertad de la ciencia.

Gracias a los esfuerzos incesantes de los sabios del siglo XIX las aplicaciones de la ciencia llegaron a ser tan útiles que ciertos políticos, más clarividentes que otros, han comprendido progresivamente todo el provecho que sus respectivos países podían obtener de una apropiación de los beneficios de aquélla, al favorecer la aplicación a la técnica *nacional*

de los descubrimientos, que son patrimonio de la humanidad toda. Este fue el origen del poderío alemán, de los Estados Unidos y, más recientemente, de la Unión Soviética.

Ese carácter noble de la ciencia, el de ser patrimonio de la humanidad, sólo podía preservarse integralmente mientras no dejara de ser un juego de aficionados esclarecidos. Desde el momento en que las naciones, comprendiendo la importancia de la investigación, subvencionaron a los investigadores, los poderes públicos de cada nación sintieron que en cierta forma tenían un derecho de propiedad sobre los resultados descubiertos en los laboratorios del Estado. Mientras el sabio trabajó aislado y sin sostén oficial, durante sus ocios del profesorado, pudo dar libre juego a su generosidad, y entregar su obra a la humanidad entera, como lo simboliza el gesto de los Curie negándose a patentar la preparación del radio. El sabio podía ser tanto más generoso, en un plano internacional, cuanto más penetrado estaba de lo que debía a los sabios del mundo entero. Hoy, los artesanos científicos y los "sabios-ingenieros", trabajando en equipo en laboratorios-fábrica, no siempre están en condición de exigir la publicación íntegra de sus resultados, cuando intervienen consideraciones de rentabilidad, de prestigio o de defensa nacional. La ciencia ha sido "nacionalizada" y su porvenir en adelante está estrechamente ligado a la solución de las contradicciones y de las tensiones que afectan a la vida económica y a las relaciones internacionales.

### El riesgo de fracaso

La investigación científica no es únicamente acumulativa, colectiva, competitiva . . . , también es, y por sobre todo, aleatoria.

"The possibility is considerable, but the probability rather remote"<sup>1</sup>, decía Rutherford. Nadie puede prever qué valor tendrá

<sup>1</sup> La posibilidad es considerable, pero la probabilidad casi remota.

mañana un resultado obtenido hoy (cap. XI), pero lo más grave es que ¡ningún investigador está seguro de alcanzar personalmente y en un tiempo limitado, un resultado cualquiera!

No hay ni método, ni receta, ni medio automático . . . ¡para *descubrir*! En esto reside el absurdo de considerar al sabio como "una máquina de descubrimientos".

Ningún sabio tiene seguridad, cualesquiera sean sus talentos o su celo, de descubrir nuevas propiedades de la materia, de hallar relaciones fecundas, de imaginar síntesis verdaderamente revolucionarias. Aun si entrevé un resultado interesante, nunca está *seguro* de alcanzarlo.

Cuando Pasteur emprendió audaces investigaciones sobre el papel de la asimetría en las manifestaciones de la vida, su mujer escribió:

"Luis se preocupa siempre un poco en demasía por sus experiencias. Le digo a usted que las que emprendió este año, si tienen éxito, deben darnos un Newton o un Galileo."

Pero, a pesar del genio de Pasteur, estas experiencias no condujeron a nada positivo:

"Mis estudios marchan bastante mal", escribía Pasteur a su vez. "Casi tengo el temor de fracasar en todos mis ensayos de este año . . . esperemos aún . . . también hay que ser un poco loco para emprender lo que emprendí."

Dado un problema, nada prueba que se sabrá encontrar su solución hoy o mañana. Nada permite afirmar que se podrá explicar tal o cual fenómeno, construir tal o cual instrumento, resolver tal o cual sistema de ecuaciones. Durante el curso de las investigaciones sobre la bomba H, cuando se estaba a punto de dar con la solución definitiva, alguien preguntó a Teller:

Luego, ¿está usted seguro de que en adelante esto andrà? No —contestó Teller—, aún no sé nada. ¿Cómo? —le objetaron— ¿Usted no está más adelantado que cinco años atrás? No del todo —contestó Teller—, ¡pero hoy tenemos mejores razones para creer que el éxito no es seguro! (según R. Coughlan, en *Life*).

Al cabo de sus cuatro años de esfuerzos para

aislar el radio, Mme. Curie corría el riesgo de no encontrar nada, pues el mineral tratado sólo contenía una proporción irrisoria (un diez millonésimo) de radio. Igualmente, sobre las sesenta variedades de *penicillium notatum* únicamente la de Fleming segregaba penicilina. ¡Y actualmente sabemos que sólo una de las veinte sustancias que hubiera podido elegir Chain (el químico que aisló la penicilina) era interesante!

Naturalmente, una actitud *activa* aumenta las posibilidades de éxito. Un sabio digno de ese nombre no espera perezosamente que una feliz casualidad le revele la verdad. Renan se equivocaba cuando afirmó que la verdad, esa "gran coqueta", no "quiere que se la busque con demasiada pasión", y que "la indiferencia alcanza a menudo más éxito con ella". Pasteur, más competente, tenía el criterio opuesto, y no cesó de proclamar que el sabio debe empeñarse en la conquista de la verdad lo mejor de sí mismo, someterse a esfuerzos repetidos e ir audazmente hacia adelante. Perseverar, sin dejar de estar siempre dispuesto a lo que el azar pueda aportarnos: tal era la lección de Pasteur.

Pero, al fin de cuentas, muy a menudo el balance hecho por el sabio del conjunto de su actividad es decepcionante. Como lo hace notar Lichnérowicz:

"Trabajó mucho, pero la mayor parte de ese trabajo fue vano, al menos en apariencia."

En la carrera de cada sabio son raros los descubrimientos, en el sentido periodístico, y los resultados se hacen esperar a veces, cruelmente, durante meses y años.

"Nadie puede prever quién será designado para formular una ley nueva, o reconocer un hecho nuevo, y no existe receta para el descubrimiento" (Dubos).

De tiempo en tiempo, un sabio encuentra un resultado interesante, que más tarde se revela rico en consecuencias importantes. A veces se interesa en alguna cosa enorme cuya importancia aparece inmediatamente a la vista de todos. Pero, como dice Jules Romains, esto es "sacarse la grande":

"Ser hombre de genio es tener más billetes de lotería que otros; pero esto no deja de hacer necesaria la suerte."

## CAPÍTULO VII

### EL EJEMPLO DE LOS CUANTOS

En los capítulos precedentes procuramos analizar la ciencia minuciosamente, en alguna forma, para que así resalten sus aspectos principales. Para que nuestra exposición no resulte demasiado insípida ilustramos cada uno de los grandes caracteres de la ciencia con un descubrimiento diferente. Sin embargo, cada problema científico *reúne* la mayor parte de los aspectos que hemos analizado por separado.

Mostraremos esto con el ejemplo de la teoría de los *cuantos*, especialmente importante tanto desde el punto de vista de la ciencia fun-

damental como desde el de las aplicaciones. Mostraremos, con este ejemplo, cómo el poner en evidencia los principales caracteres de la ciencia esclarece la evolución de cada una de sus ramas, consideradas como un organismo viviente en proceso de desarrollo.

Es sabido que la noción de *cuanto de acción* fue descubierta por Max Planck en 1900, durante el curso de investigaciones ultrateóricas, en el sentido de los partidarios de

una investigación científica orientada hacia las aplicaciones. Se trataba de salvar algunas dificultades de la teoría de la radiación utilizada en su forma clásica.

Renunciando a viejos conceptos de hace varios siglos, según los cuales la energía era una magnitud *continua*, es decir, susceptible de ser dividida en partículas arbitrariamente pequeñas, Planck tuvo la audacia de mostrar que las dificultades teóricas citadas más arriba podían ser salvadas admitiendo que la energía estaba constituida por una multitud de *granos elementales*, especies de átomos de energía indivisibles: los *cuantos* de energía.

El descubrimiento de Planck participa del carácter acumulativo de la ciencia: el *efecto cuántico* no surgió de la nada. Los trabajos de Planck fueron el resultado de una muy larga serie de investigaciones cuya genealogía se remonta, en el fondo, tan lejos como la descomposición de la luz blanca por Newton, en 1672, y hunde sus raíces en los esfuerzos de una multitud de físicos y matemáticos del siglo XIX, cuyo objetivo era la conexión de las leyes de la radiación con las de la termodinámica y del electromagnetismo.

Pero si el resultado de Planck dependió de resultados anteriores, no dejó por eso de representar un verdadero *descubrimiento*, absolutamente inesperado. Según la opinión unánime de todos los especialistas, este descubrimiento fue una de las más grandes sorpresas en la historia de la ciencia. Nada en el aspecto de las raíces hizo presagiar el despliegue de esta extraña flor.

En verdad, fue un descubrimiento revolucionario, en evidente contradicción con todos los conocimientos de la época. Planck explicó repetidas veces cuán desconcertante le pareció a él mismo, en el instante de imponérsele, contradiciendo en cierto sentido todos sus conocimientos adquiridos anteriormente:

"Con el cuanto aparecía algo nuevo, que nunca fue considerado anteriormente. Toda la física, fundada sobre la idea de la continuidad de los procesos físicos y la posibilidad de aplicarles el cálculo infinitesimal de Leib-

niz y de Newton, debía recomenzarse por completo" (Planck).

Tal vez convendría señalar aquí, para complacer a quienes son partidarios de la decisiva influencia de las preocupaciones prácticas sobre los progresos de la ciencia, que el encarnizamiento con el cual los distintos investigadores trabajaron, hacia 1900, en las leyes del "cuerpo negro", no era del todo ajeno a la utilidad de esas leyes para la medición de temperaturas muy elevadas de algunos hornos industriales.

Pero es difícil ir muy lejos por esta vía. Planck no estaba ligado a ninguna fábrica, era un profesor de 42 años, uno de esos "sabios-profesores", cuya rápida desaparición lamentábamos anteriormente. No era un "investigador" profesional y sus preocupaciones representaban el prototipo de lo que algunos llaman, con un dejo despectivo, la investigación académica.

Sigamos ahora el desarrollo de la idea de Planck, que ilustra magníficamente a la vez el carácter colectivo e internacional de la ciencia, la fecundación por múltiples entrelazamientos y la desproporción extraordinaria entre el valor que se puede reconocer a un resultado al nacer y su valor "adulto".

En 1905, Einstein aplica la idea de Planck al efecto fotoeléctrico y llega de este modo a explicar la misteriosa necesidad de iluminar una sustancia con luz suficientemente violeta para que ésta emita electrones. Explica al mismo tiempo la extraña conexión entre el color de la luz incidente y la velocidad de los electrones emitidos. Esos estudios, al introducir la idea de cuantos *luminosos*, serán un primer acicate de nuestros conocimientos sobre la interacción entre los átomos y la radiación, e incidentalmente... servirán para la creación del cine *parlante*.

En 1913, Niels Bohr, de Copenhague, combinará la idea de Planck con la concepción planetaria del átomo, elaborada mientras tanto por su maestro Rutherford, de Cambridge (nótese, de paso, la utilidad de los viajes y de los contactos personales entre los sabios). Con-

seguirá así descifrar por primera vez un *espectro*, vale decir, las líneas brillantes o negras que se observan cuando se descompone la luz de una fuente gaseosa, con suficiente dispersión. Mostrará cómo las líneas brillantes se explican mediante la emisión de los cuantos por los átomos, y cómo las líneas negras se explican por la absorción de cuantos interceptados por otros átomos. Indicará también cómo su teoría permite prever las longitudes de onda (colores) precisas de las diferentes líneas del hidrógeno.

Notemos, de paso, para recalcar hasta qué punto los juicios de valor en ciencia responden a la *intuición*, que el descubrimiento de Bohr era ampliamente tributario también del trabajo del físico suizo J. Balmer, publicado en 1885, quien "se entretuvo" en mostrar en forma puramente empírica que las nueve líneas entonces conocidas del hidrógeno respondían a la fórmula extrañamente simple:

$$\lambda = \frac{m^2}{m^2 - 4} \times 3645,6 \times 10^{-8} \text{ cm,}$$

donde  $\lambda$  era la longitud de onda y  $m$  un *entero* mayor que 2. Ahora bien; mientras la mayoría de los sabios vieron en la fórmula de Balmer únicamente una curiosidad divertida, Henri Poincaré vio en ella, con razón, "uno de los más importantes secretos de la naturaleza".

Se conocía antes de Bohr el empleo de los espectros para el *análisis químico* de las sustancias, ya en trazas ínfimas, ya inaccesibles debido a la temperatura o a la distancia (hornos industriales o estrellas). Pero gracias a los trabajos de Planck, Rutherford, Bohr y sus discípulos, podríase obtener en adelante por medio de los espectros el conocimiento de *la estructura detallada de los átomos* y de las leyes de sus interacciones con la luz, los rayos X, las radio-ondas... y más generalmente con todas las formas de la radiación electromagnética. Esto es lo que permitió a las investigaciones "gratuitas" y académicas sobre los átomos y los cuantos, encarnarse en las pilas atómicas en menos de 50 años.

Pero revelar el misterio del efecto fotoeléctrico,

de las líneas espectrales y de las leyes de la radiación, era únicamente el comienzo de la realización del valor virtual de los cuantos. En 1924, en una tesis titulada: *Recherches sur la théorie des quanta*, Louis de Broglie iba a enriquecer aún más esta teoría descubriendo las *ondas* que acompañan a las partículas materiales, tales como los electrones. Se trataba una vez más de una investigación ultrateórica y académica, a la vez bien arraigada en las investigaciones anteriores, como lo atestigua su título, y tan audaz, que durante varios años ningún sabio pudo verificarla experimentalmente, y, como lo hace notar P. Jordan, obtener así fácil y rápidamente un premio Nobel. Y una vez más esta teoría puramente académica iba a encarnarse con rapidez en una aplicación de prodigiosa utilidad: ¡el microscopio electrónico!

Considerando las fechas, 1900-1905-1913-1924..., de los grandes descubrimientos de Planck, Einstein, Bohr y L. de Broglie, comprobamos una vez más cuán irregular es la evolución de la ciencia, a pesar de su carácter eminentemente constructivo y colectivo, cuán tributaria es todavía la ciencia de la libertad de aventura y del genio individual. Esos grandes descubrimientos son de dos tipos bien opuestos: por una parte, nuevos *efectos* (efecto cuántico: Planck, Einstein); por otra, *síntesis* que relacionan conceptos considerados hasta entonces como independientes (injerto de los cuantos en el átomo de Rutherford, por Bohr; injerto de los cuantos en la teoría de la relatividad por L. de Broglie).

Pero limitándonos a estos pocos grandes nombres correríamos el riesgo de recaer en el mito de la ciencia como obra exclusiva de algunos "grandes hombres". Sin embargo, la enumeración lisa y llana de los innumerables sabios más modestos y oscuros, que contribuyeron al desarrollo de la teoría de los cuantos, y que han hecho de ella el magnífico edificio hoy por todos conocido, ocuparía varias decenas de páginas y sería evidentemente muy tediosa.

Sólo citaremos un ejemplo, aquel del ion

negativo del hidrógeno. Un sabio noruego, Hylleraas, "se entretuvo" en aplicar la mecánica cuántica al estudio del comportamiento de un átomo compuesto por un protón rodeado de dos electrones, y no de uno solo como el átomo de hidrógeno normal. Hasta entonces nadie había observado tales monstruos atómicos. Pero después, el astrofísico alemán R. Wildt observó que existían bastantes probabilidades de encontrar tales iones negativos de hidrógeno en las atmósferas estelares, cuyo principal constituyente es el hidrógeno y cuyo estado físico favorece la presencia de muchos electrones libres, capaces de "pegarse" a los átomos neutros. Fue entonces cuando el autor, en colaboración con D. Chalonge en el Instituto de Astrofísica de París, pudo demostrar que las propiedades ópticas de la atmósfera solar, hasta entonces algo misteriosas, podían ser explicadas atribuyéndolas al átomo "teórico" de Hylleraas. Sin embargo, aún existían dificultades de detalle para que esta identificación fuera segura. Para vencer estas dificultades, el sabio hindú S. Chandrasekhar hubo de retomar los cálculos de Hylleraas, y aumentar su precisión mediante una serie de aproximaciones cada vez más afinadas. Después de todo esto, en Alemania se percataron de que se podían fabricar en la tierra los iones negativos de hidrógeno ¡y que éstos constituían un *catalizador* digno del mayor interés para la química industrial!

Apenas si disponemos de lugar para enumerar rápidamente los otros grandes saltos de la teoría cuántica que caracterizan lo que puede considerarse más o menos arbitrariamente como una segunda fase de su desarrollo: la "nueva" teoría de los cuantos.

Después de 1925 el desarrollo de la teoría de los cuantos conserva su carácter internacional, con un acentuado predominio (tal vez no sea inútil recalcarlo) de *Europa occidental*. El austriaco Schrödinger aplica las ideas de L. de Broglie al invento de la mecánica ondulatoria, mientras que el alemán Heisenberg, desarrollando la idea de Einstein y de Bohr sobre la importancia de las concepciones *abs-*

*tractas* "observables", inventa la mecánica cuántica. El italiano Fermi desarrolla la estadística cuántica (1926) de los gases perfectos, simultáneamente con el inglés Dirac, quien, además, consigue en 1932 el cruzamiento de los cuantos con la relatividad, descubriendo teóricamente el electrón positivo.

Después de la observación de los electrones positivos por Anderson y de los neutrones por Chadwick (1932), el brillante desarrollo de la *física nuclear*, ya suscitado por los experimentos de transmutación de Rutherford (1919), parece eclipsar momentáneamente la actualidad de los cuantos, que hasta entonces tuvieron por dominio de aplicación al átomo en su conjunto, antes que su núcleo. Sin embargo, la nueva teoría de los cuantos permanece como la herramienta por excelencia de los espectroscopistas y llega aun a penetrar en el dominio del núcleo atómico, en cuyas teorías se utilizan la mayoría de los conceptos cuánticos.

En fin, ninguna rama de la ciencia ilustra mejor su carácter paradójico: cada vez más eficaz, y al mismo tiempo cada vez más abstracta e "incomprensible". Cuando la teoría de los cuantos pareció poner en duda no sólo la continuidad del mundo físico sino también, en una cierta medida, el *determinismo* de los fenómenos elementales, que no serían regidos sino por leyes estadísticas, los sabios más grandes tuvieron dificultades en ver claro. Einstein, uno de los espíritus más penetrantes de nuestro tiempo, y también uno de los mejor informados, pudo escribir en vísperas de su muerte en 1955:

"Wenn ich in den Grubeleien eines langen Lebens eines gelernt habe, so ist es dies, dass wir von einer tieferen Einsicht in die elementaren Vorgaenge viel weiter entfernt sind als die meisten unserer Zeitgenossen glauben . . ."<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Si algo aprendí en una larga existencia de meditaciones, es que estamos mucho más lejos de una comprensión profunda de los procesos elementales que lo creído por la mayoría de nuestros contemporáneos. (Carta escrita por Einstein a von Laue, dos meses antes de su muerte en 1955.)

Así, en el momento mismo en que la teoría de los cuantos da la prueba de su "realidad" encarnándose en éxitos concretos tales como las pilas atómicas, abismos de abstracción cada vez más vertiginosos se abren ante los teóricos decididos a ajustar su comprensión a las revelaciones desconcertantes del microcosmos y del macrocosmos.

¿Qué más significativo, desde ese punto de vista, y más alentador, que la hazaña de los dos teóricos chinos Tsung Dao-Lee y Chen Ning-Yang, de Columbia y Princeton, al liberar a la mecánica cuántica del dogma de la intangibilidad del "principio de paridad", por una audaz interpretación de las experien-

cias efectuadas en 1956 con el cosmotrón de Brookhaven, y luego recibir el premio Nobel de 1957, ante la confirmación de sus concepciones teóricas por tres equipos de experimentadores distintos en la URSS y en los Estados Unidos? Si se vuelve cada vez más dificultoso explicar al público, o también a otros sabios, lo que es este "principio de paridad", es alentador pensar que siempre se hallan espíritus bastante dotados para la abstracción, para adelantarse a las realidades concretas más allá de la observación y de la experiencia, lo que prueba una vez más que ciertas teorías científicas pueden ser muy exactas aun permaneciendo "incomprensibles" para la gran mayoría de los seres humanos.

## CAPÍTULO VIII

### EN LAS FRONTERAS DE LA CIENCIA

a) ¿Barrera hermética? ¿Fe científica? ¿Necesidad del materialismo? Los positivistas pretendieron que el sabio podía y debía establecer una especie de barrera hermética entre sus concepciones metafísicas y su actividad de investigador. Otros pretendieron que tal barrera sólo es una ficción, y que todo sabio está dominado por una fe científica de esencia metafísica. Esta fe científica consistiría en opciones sobre la realidad del mundo exterior, el valor del conocimiento, la naturaleza de la vida, el determinismo...

Los filósofos marxistas-leninistas pretendieron, por su parte, confundiendo a veces el *materialismo* y el *racionalismo*, que no podría existir "buena ciencia" basada en una concepción idealista del conocimiento, y que el materialismo era de rigor para un sabio digno de ese nombre.

Todas estas opiniones nos parecen demasiado

dogmáticas, demasiado intolerantes, y como tales contrarias al espíritu mismo de la ciencia. Una especie de coexistencia pacífica nos parece perfectamente posible entre una investigación científica valedera y las más diversas creencias. Sin embargo, no pensamos por esto que la metafísica y la ciencia se ubiquen sobre planos enteramente distintos, que no se encuentren jamás. Porque la ciencia tiende, asintóticamente, es verdad, hacia la coordinación de todos los conocimientos seguros y valederos. Limitando artificial y arbitrariamente el dominio de la ciencia a sus primeras conquistas: dominio de lo mensurable y de lo "experimentable", es como pudo tenerse la impresión de la existencia de ciertos dominios del conocimiento prohibidos para la ciencia.

Algunos ejemplos nos harán penetrar, mejor que las discusiones abstractas, en la actitud de la ciencia frente a problemas situados en



los confines de la metafísica, y en un dominio donde sería más temible la interferencia entre la filosofía tradicional y la ciencia. Así, el astrónomo puede indiferentemente creer que el universo fue creado por Dios o, al contrario, que existió eternamente. Su trabajo consistirá en uno y otro caso en remontarse cada vez más lejos, en el pasado, con el fin de reconstituir, con la ayuda del biólogo, la evolución de los astros y de los seres vivos. No pretende alcanzar "el instante origen" pero tiende hacia él. Y en la alternativa de la creación podrá oponer una duración de por lo menos cinco mil millones de años de existencia de la Tierra al mito de la creación en seis días que nos presentan hoy como un puro símbolo, pero que en la Edad Media representaba un verdadero dogma pseudocientífico. La transformación de ese dogma en un símbolo es debida a la ciencia.

Por igual le es indiferente al sabio que el cosmos sea finito o infinito. Se limita a proseguir su exploración metódica del universo cada vez más lejos, no para alcanzar sus límites, sino para conocer una parte cada vez mayor, con más detalles. Alcanzará a descubrir en el curso de esta investigación, no los límites del universo, pero sí ciertas circunstancias que indican que el hombre no podrá nunca alcanzar esos límites, ni astronómica ni metafísicamente.

Creerá en el determinismo de las leyes físicas, en tanto que la experiencia precisa justifique esta "teoría", pero estará listo para abandonarla en pro de una concepción probabilista en cuanto la experiencia demuestre las insuficiencias de ese determinismo, sin perjuicio de poder volver a un determinismo amplificado más concorde con el conjunto de nuestros conocimientos.

No tratará de "explicar" la vida, pero tenderá a conocerla cada vez mejor, a precisar cada vez más la conexión entre los fenómenos biológicos y los fenómenos fisicoquímicos.

No negará, *a priori*, la existencia de una interacción eventual entre "el alma" y el cuerpo, entre lo psíquico y lo fisiológico, sino

que tratará de poner en evidencia los procesos fisicoquímicos, y, condicionando uno y otro, se esforzará por descubrir las reacciones materiales que se relacionan con esta interacción.

*b) Las manifestaciones del orden en el universo.* La investigación, en particular, no veda de ninguna manera el postulado metafísico según el cual se manifiesta un "orden" en el cosmos, y muchos grandes descubrimientos fueron guiados, desde Pitágoras a Einstein, pasando por Newton, por esta metafísica de la armonía de la naturaleza. Pero es completamente indiferente para los progresos de la ciencia que se atribuya este orden a una inteligencia ordenadora llamada Dios, o que se lo atribuya a simples equilibrios autorreguladores donde ninguna inteligencia interviene, o, en fin, que se interprete el pretendido "orden de la naturaleza" como el reflejo de nuestros métodos matemáticos; el orden resulta entonces de que elegimos siempre las figuras y las fórmulas más simples para nuestras explicaciones (o, como dicen los matemáticos, preferimos los primeros términos de un desarrollo en serie de funciones complicadas).

El sabio que interpreta el postulado del orden, admitiendo a Dios, dará así un sentido metafísico, un significado místico, a sus investigaciones. Tendrá la impresión de que el descubrimiento de las leyes y de las estructuras del universo lo acerca a Dios, haciéndole conocer con una intimidad creciente las manifestaciones de su presencia. Otro sabio podrá hacer investigaciones también fecundas, sin hacer ninguna hipótesis sobre la armonía de la naturaleza, y manifestar maliciosamente que la simplicidad de las leyes físicas sólo es una ilusión: cada ley se torna más compleja y asimétrica a medida que se alcanza una mayor precisión. Por otra parte, un mínimo de desorden y falta de armonía parecen estar ligados a la vida. Fue la idea favorita de Pasteur, que hizo innumerables ensayos para evidenciar este carácter de los fenómenos vitales.

c) El sabio es "metodológicamente ateo". Todos estos ejemplos muestran claramente, creo yo, la naturaleza de las relaciones que pueden existir entre la metafísica y la ciencia. Se observará, especialmente, que en ningún momento la metafísica debe insinuarse en los *métodos* de investigación, que son y deberán permanecer siempre esencialmente "positivos". Esto es lo que se puede expresar, en el caso particular de la religión, diciendo que "el trabajo científico es metodológicamente ateo" (P. Germain). La metafísica no puede intervenir en los métodos de investigación sin pervertirlos, en la medida en que la

ciencia no podría adaptarse a ningún otro sistema que no sea una síntesis, coordinando sus propias comprobaciones.

Las únicas limitaciones reales de la ciencia por la metafísica aparecen en el carácter voluntariamente *objetivo* de aquella, que únicamente puede interesarse por los fenómenos controlables (por experiencia, por observación, por verificaciones teóricas), lo que excluye hasta nueva orden todo aquello que solamente se apoye en testimonios individuales, contrarios a las leyes científicas, como es el caso de ciertos milagros.

## LOS VALORES CIENTÍFICOS

## CAPÍTULO IX

## VALOR DE LOS RESULTADOS "ANTIGUOS"

Es especialmente difícil apreciar, en ciencia, el valor relativo de dos resultados; decir por qué tal trabajo es más importante que tal otro.

Sin embargo, ningún sabio podría trabajar a ciegas. Cuando debe decidir acerca del empleo de su tiempo, en el laboratorio o en la biblioteca, tiene que saber descubrir por qué "esto es más importante que aquello". Cuando se adopta un plan de investigaciones, cuando se decide una compra (o se rehusa otra), cuando se confía un puesto a un investigador, uno se refiere, consciente o inconscientemente, a una cierta "escala de valores".

Sin una escala de valores más o menos explícita, más o menos objetiva, más o menos compleja, ninguna estrategia de la investigación, ninguna organización general, ninguna jerarquía entre los sabios serían posibles.

Pero, ¿cuáles son los criterios que permiten establecer, en el acto o tardíamente, el valor relativo de un resultado científico?

Esta importante cuestión no parece haber sido muy estudiada, sin duda debido a su dificultad. Para dar un principio de respuesta, proponemos primero distinguir entre dos clases de valores: el valor de los trabajos "antiguos" y el de los trabajos "nuevos".

Es relativamente más fácil juzgar el valor de los trabajos "antiguos", cuya importancia puede surgir debido a sus *consecuencias*. ¿Quién

dudará hoy de la gran importancia de la ley de Newton, de la cual se conoce la prodigiosa fecundidad, cuando se la compara, por ejemplo, con el descubrimiento de Neptuno, debido, por otra parte, precisamente a la aplicación de la ley de Newton?

Es más difícil pronunciarse sobre los resultados *nuevos* en el momento de su publicación: ¡hay tantos que parecen a primera vista sin valor inmediato, a los ojos de los contemporáneos más avisados, y que no toman importancia sino progresivamente, a medida que la ciencia se construye y se desarrolla! Franklin y Pasteur se complacían en comparar tales resultados a recién nacidos. Su valor es *virtual*. Todo lo que se puede decir de ellos es que un día *podrán* ser importantes.

El valor de ciertos resultados nuevos es sin embargo reconocido inmediatamente: su importancia surge con evidencia a la vista de todos. Pero no siempre es fácil explicar objetivamente lo que nos hace juzgar estos resultados como especialmente importantes.

Encaremos, para empezar, el caso de los resultados antiguos, y más particularmente el caso de los descubrimientos que se revelaron importantes y fecundos. Y preguntémosnos cuáles son los criterios que nos permiten afirmar esta importancia.

Pareciera, a primera vista, que el valor de un resultado científico no pudiese *medirse* como se mide una magnitud concreta. Se puede medir lo que se puede contabilizar, agregar, igualar, y (si se trata de magnitudes de naturaleza diferente, como el calor y el trabajo, por ejemplo) lo que se puede comparar por equivalencia.

Además, los resultados científicos no parecen ser susceptibles de suma: mil observaciones estelares pueden tener menos importancia que una sola de entre ellas. Sirva de ejemplo la única observación, por Lemonnier, de una "estrella" que, después del descubrimiento de Neptuno, fue identificada con este planeta, y que desempeñó por este hecho un papel fundamental en la determinación de la masa de Plutón.

¿Cómo establecer equivalencias e igualdades? ¿Pueden compararse entre sí resultados tan heterogéneos como la ley de la inducción, la ley de la conservación de la energía y el invento del microscopio? Las tres fueron de una fecundidad extraordinaria, tanto en ciencia fundamental como en las aplicaciones prácticas. Pero como no es posible que una pueda remplazar a la otra, es difícil comparar sus méritos y su valor.

### El valor de las generalizaciones

Existen casos, sin embargo, en que un resultado *puede* remplazar a otro o aun a varios otros. Ello se da cuando un resultado determinado contiene varios otros como *casos particulares*. El teorema de Pitágoras es equivalente a varias relaciones tales como  $3^2 + 4^2 = 5^2$ , que representa a la vez una curiosidad de la teoría de los números, y una propiedad del triángulo que tenga lados que midan 3, 4 y 5 unidades de longitud. El teorema de Pitágoras es también equivalente a una infinidad de relaciones de ese tipo. Su generalidad lo hace, pues, un resultado que tiene ciertamente más valor que el resultado particular en cuestión.

La ley que afirma que el desprendimiento de calor en un conductor es proporcional al tiempo del experimento *contiene*, como casos particulares, una infinidad de experiencias diversas.

Comprobar que Marte describe una elipse de la cual el Sol ocupa uno de los focos tendría menos valor que la generalización de esta propiedad a *todos* los planetas del sistema solar (primera ley de Kepler).

Además, aparejando la ley de Newton con el principio fundamental de la mecánica se halla, por cálculo, que, según la velocidad inicial, el movimiento de un astro sometido a la atracción del Sol puede ser elíptico, parabólico o aun hiperbólico. La ley de Newton no sólo comprende a la ley de Kepler, sino que incluye, anticipándola, la ley del movimiento de los cometas, que aún no era conocida en esa época. Ella encierra, por otra parte, igualmente las otras dos leyes de Kepler. No hay duda, pues: *objetivamente* se puede afirmar que la ley de Newton tiene más valor que las leyes de Kepler.

El alcance de la ley de Newton es inmenso: ella comprende (y, por consiguiente, *explica*) no sólo las leyes de Kepler, sino también la forma exacta de los planetas (y, en particular, el achatamiento de la Tierra), las mareas, con la ley de sus fases, y los movimientos relativos de las estrellas dobles. Permite *precisar*, mejor que las leyes de Kepler, los movimientos planetarios. Las elipses de Kepler sólo son una primera aproximación, pero la ley de Newton permite introducir la noción de "perturbación", es decir, la necesidad de pequeñas correcciones debidas a la presencia de todos los planetas, mientras que las elipses corresponden a la acción del Sol, supuesto único centro de atracción.

La ley de Newton permite *fechar* ciertos acontecimientos históricos que han coincidido con fenómenos tales como los eclipses: sin las correcciones de orden superior, que resultan del cálculo de las perturbaciones, la extensión del "horario" de los eclipses al pasado remoto no hubiese sido posible.

La ley de Newton permitió una exploración más exhaustiva del sistema solar, revelando la existencia de Neptuno, de Plutón, y facilitando su descubrimiento. Transpuesta por Coulomb a las acciones entre cargas eléctricas, rige los movimientos de los electrones en el interior del átomo.

Nos ofrece, pues, el ejemplo de una ley no solamente general sino también *universal*, cuyo dominio de aplicación se extiende desde la astronomía hasta la física atómica, de lo infinitamente grande a lo infinitamente pequeño, pasando, en la forma más inesperada, por la historia antigua.

De tal modo los valores científicos son también susceptibles, a veces, de una especie de suma y aun de equivalencia. A medida que se organizan trozos de rompecabezas cada vez más extensos, la escala de los valores se precisa. La integración de hechos primitivamente dispares concluye en descubrimientos que "controlan" dominios cada vez más amplios y cada vez más diversos. A medida que la ciencia progresa, ciertos resultados que originariamente eran imposibles de jerarquizar se vuelven comparables.

Ayer hubiera parecido absurdo tratar de comparar la ley de conservación de la energía con la ley de conservación de las masas. Hoy se puede hablar de la *suma* de las dos leyes en una más general (gracias a la fórmula de equivalencia de Einstein:  $E = mc^2$ ). Ayer no se podían comparar los méritos del invento del microscopio con el establecimiento de las leyes del electromagnetismo. Hoy, justamente, se "calculan" los microscopios electrónicos mediante esas leyes. Ayer no se podía soñar en comparar los méritos de un estudio clínico del cáncer con los cálculos de la física teórica. Hoy se calcula el poder cancerígeno de algunos alquitranes por medio de la mecánica ondulatoria.

Todo lo que acabamos de decir nos permite apreciar y poner en evidencia un primer criterio de valor (que tiene, por otra parte, dos aspectos). Este criterio es el de la *generalidad universal*.

## El valor del conjunto de las verificaciones

El valor objetivo de un resultado científico no depende únicamente de su generalidad o de su universalidad. La ciencia no busca solamente la generalidad sino también la *certeza*. Ahora bien; muy a menudo, *una ley es tanto menos certera cuanto más general pretende ser*, por lo menos mientras su validez no haya podido ser establecida mediante gran cantidad de *verificaciones*.

Consideremos, por ejemplo, una vez más, la primera ley de Kepler. Kepler estudia la órbita de Marte y la encuentra netamente elíptica. Después pega un audaz "salto en lo desconocido" y afirma que *todos* los planetas describen elipses teniendo al sol por foco. Para los contemporáneos de Kepler esta afirmación de ninguna manera era *certera*. Para serlo, necesitaba ser verificada para todos los planetas, y, a falta de una verificación exhaustiva, para un gran número de ellos.

Hoy, ya es un hecho. Pero se tiene demasiada tendencia a perder de vista que esta verificación exigió innumerables trabajos. Hubo que construir lentes astronómicas cada vez más perfeccionadas, estudiar pacientemente y con una precisión siempre creciente los movimientos de todos los planetas, y *esperar*. El más lejano de los planetas actualmente conocidos, Plutón, no tiene ninguna prisa en revelarnos la naturaleza de su órbita: emplea 250 años, más o menos, en hacer su revolución alrededor del Sol. Por otra parte, en la época de Kepler (1610), ni Urano, ni Neptuno, ni Plutón, habían sido todavía descubiertos. Por consiguiente, aunque Kepler hubiese podido controlar la generalidad de su ley para todos los planetas "antiguos", su trabajo no hubiera agotado el problema de las verificaciones.

Además, como ninguna verificación puede ser verdaderamente exhaustiva, ninguna generalización es verdaderamente *certera*, y sólo puede ser cada vez más *verosímil*, ya que siempre puede temerse el descubrimiento de un caso particular que sea la excepción de la

regla. La ciencia progresa debido al descubrimiento de tales casos.

### El valor de cada verificación

Existen en la ciencia por lo menos dos escalas de valores, aparentemente irreductibles: la de la *audacia* y la de la *prudencia*. Por una parte, lo que cuenta es la generalidad y la universalidad de las "inducciones". Por otra, la importancia se mide por el número y la calidad de las verificaciones particulares. Ninguna generalización tiene derecho de ciudadanía *definitivo* en el palacio de la ciencia: es como una idea del arquitecto, que tal vez deberá examinarse nuevamente si sobre el terreno se descubre que conduce a una construcción que armoniza mal con el conjunto.

Es más o menos evidente que el *conjunto* de las verificaciones de una ley tiene sensiblemente el mismo valor que el trabajo de síntesis que conduce a la formulación de la ley. Pero, ¿cómo apreciar cada una de las verificaciones particulares, consideradas individualmente?

Los trabajos que conducen a las síntesis generales o que determinan los límites de su validez están a menudo *repartidos* entre un gran número de sabios. ¿Qué valen los resultados de *cada uno* de los innumerables teóricos y observadores que participaron en la verificación de la ley de Newton desde el día en que fuera formulada hasta el día en que el descubrimiento del avance secular anormal del perihelio de Mercurio puso de manifiesto los límites de la ley y la necesidad de reemplazarla por la síntesis más amplia de la relatividad general?

La imposibilidad de responder a una pregunta tal no es privativa de la ciencia. León Tolstoi y muchos otros lo discutieron a propósito del papel de los individuos en la historia. En *La guerra y la paz*, Tolstoi se pregunta si el conjunto de soldados "vale tanto" como el estado mayor; pero se encontraría en apuros para definir el valor respectivo de los distintos

soldados, considerados individualmente, fuera de algunos héroes, de los cuales cabe preguntarse, por otra parte, si no fueron tales porque se encontraron ubicados por el azar, en el momento preciso, en el lugar preciso.

Está visto que el carácter colectivo de la investigación hace que lo importante nunca sea *un* resultado, *un* sabio. El valor de un trabajo o de un individuo no puede ser sino un *valor de participación*. La ciencia no es una colección de resultados donde cada uno posee un valor individual: ella es *una*. Y los sabios, por su parte, no son un conjunto de individuos cuyo valor puede ser definido objetivamente: forman una *comunidad*.

Ahora bien; lo que cuenta en una comunidad —por ejemplo, en una comunidad de constructores— es que el plano del arquitecto sea lo mejor posible desde el punto de vista de la arquitectura; que cada albañil haga buena albañilería; que cada techador haga buenos techos; etc. Lo esencial en un edificio es que sea completo y armonioso: ¿sería ridículo preguntarse si las ventanas tienen *más valor* que las escaleras! Eso es, sin embargo, lo que demasiada gente hace aún demasiado a menudo con respecto a la ciencia y a los sabios.

La intuición engañosa de que existe siempre y en todo una escala de valores objetiva y única, proviene quizás de una manera de pensar "económica". ¿No se compara acaso el "valor" de Picasso y el de Rafael, desde que los "marchands" de cuadros y sus clientes hacen transacciones comerciales con las obras de arte?

Pero los resultados científicos, excepto algunas patentes, no son aún valores comerciales, y la evaluación de la importancia de trabajos, incluso antiguos, continúa siendo muy delicada.

Con riesgo de insistir sobre evidencias, recordemos que, en definitiva, excepto algunas grandes síntesis teóricas cuyo valor es susceptible de alguna medida, todo lo que se puede decir de un *instrumento* es que es tanto mejor cuanto mejor responde a su función; que un *método* es tanto mejor cuanto más

rápida y profundamente permite alcanzar la finalidad buscada; que un *sabio* es tanto mejor cuanto mejor hace su trabajo, por humilde que éste sea.

Un telescopio vale más que otro si permite recoger más luz y penetrar así más lejos en el espacio. Puede también tener más valor que otro, si una montura más precisa y más sólida le permite medidas angulares más afinadas. Un galvanómetro tiene más valor que otro si permite medir o detectar corrientes más débiles, con mayor precisión, o si, por el contrario, permite medir corrientes muy intensas (pero en este caso ya no se llama galvanómetro). Tendrá aún más valor si reacciona más rápidamente y permite registrar las intensidades medidas en función del tiempo.

Bastante interesante es observar que tales telescopios y tales galvanómetros *cuestan* también más caros, ¡y que volvemos, en cierta medida, sobre el "valor" de los Picasso!

Las reacciones nucleares más importantes, aquellas que conducen a la creación de nuevas partículas y al descubrimiento de nuevos efectos, son también las que exigen la construcción de aceleradores más costosos. Esto explica por qué los investigadores se quejan siempre de la insuficiencia de los recursos puestos a su disposición.

Los métodos matemáticos tienen tanto más valor cuanto más flexibles y generales son, pero, hasta nueva orden, no se compran. Hacemos esta reserva porque ya pueden remplazarse ciertos métodos analíticos importantes por el cálculo puramente numérico efectuado con rapidez prodigiosa por máquinas electrónicas, que también son tanto más caras cuanto más perfeccionadas son.

Las síntesis químicas tienen más valor

cuando permiten la producción de sustancias químicas cada vez más complejas, pero aquí no hay que confundir el valor científico con el valor comercial: una síntesis efectuada en pequeña escala, con medios modestos, puede ser una síntesis prototipo y resultar más importante que síntesis industriales cuya producción en gran escala exige instalaciones tan formidables como las de la *Badische Anilin*. En esto también, sin embargo, parece que la realización de experiencias interesantes sobre prototipos exige un material cada vez más complejo y cada vez más costoso.

A pesar de todo, no hay que hipnotizarse demasiado con el precio de las experiencias importantes, e imaginarse que este precio de costo puede servir de medida del valor de los resultados: ¡pensemos en la simplicidad de los aparatos de Rutherford!

En definitiva, excepto un valor general de *participación* y el valor excepcional de algunas grandes teorías, en ciencia no existe una escala de valores única. Cada actividad científica tiene su *propia* escala de valores. De esto resulta, en particular, que cada sabio sólo puede ser juzgado por aquellos cuyas investigaciones sean del mismo tipo que las suyas.

Esto explica los errores escandalosos de "no-elección" en diversas academias (compuestas por un número pequeño en exceso de especialistas demasiado diferentes), de sabios como Pasteur o como Curie. Además, es cierto que algunos instrumentos o que algunos métodos encuentran a veces terrenos favorables muy alejados del dominio de su utilización normal, abriendo vías a nuevas equivalencias. ¡Hoy un botánico podría reconocer los méritos de un físico al aportarle éste ese supermicroscopio constituido por los radioisótopos!

## EL VALOR INMEDIATO

Si es difícil medir el valor de los resultados antiguos, con mayor razón la valoración de los nuevos presenta un problema casi insoluble. Esto se debe al hecho de que todo trabajo científico posee, además de su valor inmediato, siempre difícil de apreciar, un cierto valor *virtual*, aleatorio, que depende de la evolución imprevisible de la ciencia.

Si se trata de analizar, a pesar de esto, los criterios del valor inmediato de un resultado, se reconocen —si se renuncia a una medida demasiado estricta— por lo menos cuatro criterios de uso corriente.

**La prioridad**

Algunos resultados están previstos desde mucho tiempo atrás pero son muy difíciles de alcanzar. Es como una cima que todos ven, pero que ningún alpinista consiguió aún escalar. La primera síntesis química de una sustancia orgánica (urea, 1828), la primera medición de una distancia estelar (1838), las primeras observaciones del positón, del neutrón, del antiprotón, y, más recientemente, el primer lanzamiento de un satélite artificial de la Tierra . . . , tienen un valor particular, casi deportivo, por el hecho de su *prioridad*.

El éxito del pionero aventurado que triunfa siempre impresiona más que los resultados ob-

tenidos penosamente en senderos trillados. Aunque esto sea a menudo muy injusto, es norma atribuir más valor al descubrimiento de un nuevo efecto que a la paciente explotación del filón así logrado. La experiencia de Pasteur de la vacunación contra la rabia, tan criticable (Dubos) desde el punto de vista científico, pareció ciertamente a sus contemporáneos infinitamente más importante que todos los descubrimientos posteriores de microbiología, de los cuales algunos tenían un mayor alcance. Se atribuirá siempre más valor a las primeras síntesis de Berthelot que a las actuales, de las que algunas son más espectaculares por la complejidad de los cuerpos fabricados o por su utilidad inmediata.

**Lo imprevisto y la novedad**

Sucedé también que el valor de un resultado se atribuye al efecto de *sorpres*a provocado por la novedad o lo imprevisto. Podemos pensar, por ejemplo, en la resonancia inmediata de los descubrimientos de Lavoisier sobre el papel del oxígeno en la respiración y en la combustión; los de Faraday sobre la inducción electromagnética; los de Pasteur sobre la naturaleza microbiana de las enfermedades contagiosas.



Pero de todos los descubrimientos, los más verdaderamente sensacionales, desde el punto de vista de la novedad, fueron los que Galileo hizo uno tras otro por medio de su lente. *Nadie* habría sospechado, aun en las más audaces especulaciones, que Júpiter pudiera poseer "lunas" (era tan extraño que se empezó por negar la evidencia); que el Sol estaba cubierto de manchas; que la Luna poseía un relieve montañoso... Se puede decir otro tanto, o casi, acerca del descubrimiento del anillo de Saturno, o, más recientemente, y en otro dominio, de los efectos radioscópicos de los rayos X.

Sin embargo, el carácter acumulativo de la ciencia se opone a la existencia de un gran número de resultados enteramente imprevistos. Entre los grandes descubrimientos que Galileo hizo con sus lentes figura el aspecto de Venus como una delgada media luna y la separación de la Vía Láctea en estrellas aisladas. Pero ni el uno ni el otro eran completamente imprevistos. Las fases de Venus pudieron ser previstas según el sistema de Copérnico y la naturaleza estelar de la Vía Láctea fue tema de muchas especulaciones antes de las observaciones de Galileo.

Las exploraciones efectuadas con instrumentos de poder de penetración muy grande conducen necesariamente al descubrimiento de un gran número de efectos nuevos. El uso del telescopio gigante de Monte Wilson permitió descubrir el efecto del desplazamiento cada vez mayor hacia el rojo de las radiaciones provenientes de galaxias cada vez más lejanas, efecto que se puede interpretar como una "expansión del universo". El uso de aceleradores cada vez más potentes revela nuevas partículas de propiedades "extrañas".

Pero esos instrumentos, en razón de su precio, de su complejidad, del tiempo necesario para construirlos y del elevado costo de su explotación, siguen siendo excepcionales. Ellos constituyen el monopolio de algunas naciones y de algunos equipos de investigadores. Los demás no tienen ningún acceso al dominio de la realidad, donde se manifiestan esos efectos

de orden superior, y esto retarda considerablemente los progresos de la ciencia. Mucho ha cambiado la situación desde la época en que los descubrimientos pudieron ser seguidos por una rápida multiplicación de pequeñas lentes, cada vez más perfeccionadas, con las cuales una multitud de aficionados, escrutando el cielo, pudo descubrir y estudiar innumerables hechos astronómicos nuevos.

## La oportunidad

Algunos resultados son apreciados no solamente en función de su importancia intrínseca sino también a causa de su *oportunidad*. Unos aportan una confirmación (o una refutación) decisiva de una teoría importante. Otros representan inventos que permiten la observación directa de realidades cuya existencia no era, hasta entonces, sino teórica. En fin, algunos llegan justo a punto para colmar lagunas evidentes, en el momento mismo en que la coyuntura de la investigación les abre posibilidades para su integración inmediata en el edificio científico.

Este fue, parece, el caso de la experiencia de Michelson, que dio el golpe de gracia a las teorías prerrelativistas de la luz. Se piensa también en la "cámara de Wilson" que mostró las partículas elementales en el momento mismo en que éstas iban a convertirse en el centro de interés de los físicos del mundo entero. ¡Y qué decir del descubrimiento del neutrón, que llegó en el momento preciso para resolver algunas dificultades de la teoría de la estructura del núcleo atómico!

Evidentemente, un resultado puede ser apreciado a la vez en función de su novedad y de su oportunidad. Este fue el caso del descubrimiento del efecto de inducción por Faraday, en 1831. El resultado era *nuevo*, pues los contemporáneos de Faraday, y principalmente Ampère, estaban persuadidos de que la presencia de un imán *inmóvil* podía bastar para engendrar una corriente "por influencia" (¡por reciprocidad con el efecto Oers-

ted!). Pero también era *oportuno*: permitía explicar “la experiencia de Arago” —del frenamiento electromagnético de conductores en rotación— que preocupaba a muchos físicos de la época.

Ampère no tuvo reparo alguno en reconocer inmediatamente el valor del descubrimiento de Faraday: “uno de los más importantes que se hayan hecho en este siglo, por cuanto corona el edificio levantado por los otros”.

La estructura discontinua de la materia y de la radiación introdujo un valor de oportunidad de índole bastante curiosa. Mientras se está por debajo de un cierto *umbral* de sensibilidad, ciertas propiedades permanecen inaccesibles. Cuando se quiere pasar progresivamente del dominio usual al dominio nuclear, se encuentran los siguientes umbrales: el umbral de la dimensión media de los átomos  $10^{-8}$  cm, y el umbral de la dimensión media de los núcleos,  $10^{-13}$  cm... En sentido inverso, si se quiere alcanzar la estrella más próxima, es necesario llegar hasta  $10^{18}$  cm, o, lo que es lo mismo, hasta una precisión angular de  $0''{,}1$  de la medida de posición.

Es inútil tratar de medir las dimensiones de los átomos o la distancia de las estrellas si los medios de investigación permanecen por debajo de los umbrales correspondientes. En una etapa de la ciencia se atribuirá un valor particular a todo resultado que permita franquear uno de esos umbrales.

La astronomía comenzó a estancarse un poco después de la rica cosecha realizada por la lente de Galileo, cuando el mejoramiento de los objetivos y el invento de un nuevo tipo de ocular por Huyghens, en 1655, permitió un nuevo salto hacia adelante con el descubrimiento de los anillos de Saturno y reactivó la astronomía, en la esperanza de superar un nuevo umbral, con los telescopios de W. Herschel.

## El conformismo

Paradójicamente, algunos sabios toman como criterio de valor los juicios de algunos “grandes patrones”, conocidos por la exactitud de sus *intuiciones*. Un astrónomo holandés, autor de importantes descubrimientos, me aseguraba con gravedad que era inútil atormentarse por el problema de los valores en ciencia, por lo menos en astronomía, puesto que bastaba con pedir consejos al profesor Oort, director del observatorio de Leyde.

El gran atomista alemán von Weizsäcker me confiaba que, en su juventud, cada vez que se encontraba en aprietos para *juzar* en ciencia, “interrogaba a la sombra de Heisenberg”.

Se carecería de razón al descuidar íntegramente esta escala de valor conformista. A menudo jóvenes investigadores ceden a la tentación de librar su juicio a merced de un jefe a fin de escapar a la angustia de la elección. Toman por guía a un “gran sabio”, a quien respetan y admiran. Así se explica la formación de *escuelas* alrededor de ciertos investigadores dotados de una rica personalidad, como Pasteur, Morgan, Rutherford o Bohr.

Pero la historia de la ciencia muestra cuán erróneo puede ser el juicio de sabios eminentes, sobre todo tratándose de grandes teorías: cuando se piensa en las opiniones que podían profesar, hacia el final de sus vidas, químicos tan distinguidos como J. B. Dumas y Berthelot; cuando se evoca la acogida destinada por algunos “príncipes” de la ciencia a la teoría de la relatividad y de los cuantos; cuando se piensa en la resistencia opuesta, en este mismo momento, por la “escuela de Copenhague” a los ensayos de renovación de la mecánica cuántica... , se encara el peligro de una escala de valores fundada en teorías envejecidas, erigidas en dogmas científicos.

## LOS VALORES DE ESPERANZA

Independientemente de un valor inmediato, más o menos difícil de apreciar, todo resultado posee un valor virtual. La existencia de este valor se opone a todo juicio *radicalmente negativo*. Es difícil decir si un trabajo es importante, pero es imposible afirmar que *nunca será* importante. En ese aspecto los resultados científicos se comportan como ciertas "obligaciones con premio", que con toda seguridad producen pequeños intereses, pero que también permiten a veces ganar la grande. La existencia de estos valores virtuales es lo que vuelve tan engañoso el prestigio de un resultado.

Mientras que en música o en pintura la mediocridad (suponiendo que se la puede definir) no tiene remedio, en ciencia, un trabajo mediocre a los ojos de sus contemporáneos puede adquirir una importancia muy considerable a los ojos de la posteridad, no como en las artes porque cambie el gusto, sino porque todo resultado científico puede algún día ser fecundado por otro trabajo. Su valor no depende únicamente de sus cualidades intrínsecas, sino también de la manera en que se incorpora al conjunto del edificio.

Todo lo que acabamos de decir sobre los valores virtuales tiene validez indistintamente para la ciencia fundamental o para la ciencia aplicada. Pero en el segundo caso, el descono-

cimiento de los valores virtuales es especialmente frecuente y nefasto.

No existe criterio para reconocer la utilidad de un resultado. Todo trabajo científico lleva en sí gérmenes desconocidos de resultados prácticos. Pero, más generalmente, las consecuencias de cualquier descubrimiento son imprevisibles.

Ilustremos primero esto con algunos ejemplos sacados del dominio de la ciencia fundamental. Aquí el progreso resulta, a menudo, de acercamientos imprevistos, y nunca se sabe, *a priori*, cuándo y cómo esas fecundaciones se producirán.

Cuando Le Chatelier se burlaba de los físicos que, tomando sus sueños por realidad, se atrevían a hablar de los isótopos (esto ocurría por 1936), no podía prever que en 1957 los isótopos radiactivos iban a volverse tan comunes en algunos laboratorios como la balanza o el microscopio. No podía sospechar que su uso permitiría estudiar la renovación de las moléculas de la clorofila en las células vegetales y descubrir que esas moléculas eran destruidas después de algunos días de funcionamiento y remplazadas por otras nuevas en las células portadoras.

Cuando Rutherford estaba realizando sus primeras experiencias sobre la difusión de los rayos  $\alpha$  en las delgadas láminas metálicas, no

podía sospechar el desarrollo de la física ni que las naciones gastarían, cuarenta años más tarde, millones de dólares en reproducir, artificialmente y en gran escala, el bombardeo nuclear cuyo interés él acababa de mostrar.

Si nos dirigimos ahora a la ciencia aplicada, sólo tendremos la dificultad de la elección si queremos poner en evidencia el carácter virtual de la utilidad práctica de los distintos resultados científicos. Cuando tratamos de remontarnos a la raíz de aplicaciones tales como la iluminación eléctrica, el automóvil o la vacunación, nos consternamos al ver cuán inútiles podían parecer trabajos que constituyen la base de esas aplicaciones.

En el momento de descubrir la síntesis del acetileno nadie sospechaba la importancia práctica que este gas tendría en lo sucesivo. Nadie podía prever que se fabricaría por miles de metros cúbicos y que alimentaría gran cantidad de industrias. En el momento de descubrir el radio, el propio padre de Mme. Curie, profesor de física, pensaba que la preparación de ese elemento sólo tenía un "interés" teórico. Un año después, el descubrimiento de las virtudes terapéuticas del radio iba a conferirle un enorme valor comercial y hacer de él la sustancia más cara del mundo.

¿Qué decir de los comienzos modestos de la penicilina? ¿Es acaso necesario recordar que el *penicillium notatum* se introdujo por casualidad en los caldos de cultivo del doctor Fleming, cuando éste no tenía ninguna intención de estudiar la influencia de los hongos sobre los microbios? Fleming no podía prever el extraordinario valor virtual de su descubrimiento. Estaba seguro de que el filtrado del caldo de cultivo del *penicillium* podría servir para el tratamiento local de ciertas heridas infectadas, pero como no tuvieron éxito los ensayos realizados en esa época para aislar la sustancia microbicida contenida en su filtrado, se perdió interés durante un tiempo en su resultado. Su importancia real en su aspecto utilitario sólo apareció mucho más tarde, después de los trabajos de Chain y de Florey, quienes consiguieron aislar la penicilina y

mostrar sus virtudes curativas mediante ensayos clínicos.

Igualmente, en el momento de su descubrimiento, los gases raros del aire no fueron sino una curiosidad de laboratorio. Nadie pensaba en su valor utilitario. Hoy esos gases se producen en gran escala, por destilación del aire líquido, para los tubos de los letreros luminosos, las lámparas incandescentes, y . . . las centrales atómicas<sup>1</sup>.

Cuando el matemático Hardy publicó un tratado sobre la teoría de los números, se divirtió en escribir en su prefacio que se felicitaba de haber hecho una obra "que rigurosamente no serviría nunca para nada". Pero se equivocó: el libro, desde su segunda edición, servía . . . , pues sus resultados permitieron resolver ciertos problemas de mecánica estadística que intervienen en las reacciones nucleares.

Para volver una vez más sobre los isótopos: nadie previó que actualmente el uso de radioelementos como "trazadores" permitiría estudiar estructuras delicadas, no observadas por otros medios, siguiendo un elemento dado, "rastreándolo" en un riñón enfermo, en un tumor de cerebro o en una pieza metálica.

Nada expresa mejor el carácter virtual de la mayor parte de los valores en ciencia aplicada, que la advertencia solemne de Pasteur:

"A vosotros, sobre todo, corresponderá no compartir la opinión de esos espíritus estrechos que desprecian todo lo que en ciencia no tiene aplicación inmediata. Conocéis la respuesta encantadora de Franklin. Asistía a la primera demostración de un descubrimiento puramente científico. Alguien pregunta a su alrededor: «Pero, ¿para qué sirve esto?» Franklin contesta: «¿Para qué sirve el niño que acaba de nacer?» Sí, pues, ¿para qué sirve el niño recién nacido? Y sin embargo, en la

<sup>1</sup> El helio se utiliza como fluido térmico destinado a transferir el calor desprendido a las turbinas. Posee el raro privilegio de comportarse "sin inconvenientes" bajo el efecto de la radiación. Se lo emplea también en las pilas atómicas "frías" de agua pesada, para mantener esta última a la presión normal.

edad de la más tierna infancia, ya existían en vosotros los gérmenes desconocidos de los talentos que os distinguen . . . Por igual, señores, el descubrimiento teórico sólo posee el mérito de la existencia. Despierta la esperanza, eso es todo. Pero dejadla cultivar, dejadla crecer, y veréis lo que será.”

¡Ay, ciertos prejuicios son tenaces! A pesar

de las advertencias de Pasteur y de tantos otros, aún pasará mucho tiempo antes de que el público y los ministros se compenetren de la importancia del valor virtual de cualquier resultado científico, aun teórico, y que aprendan a alentar con igual calor las investigaciones sobre el cáncer, los espacios topológicos y las nebulosas espirales.

## CAPÍTULO XII

### LOS VALORES NO APRECIADOS. LA LUCHA POR EL PROGRESO

Sucede a veces que resultados científicos, cuyo valor se hubiera podido reconocer objetivamente desde el momento de su publicación, esperan muchos años antes de ser aceptados, reconocidos y apreciados. Este rechazo, que va desde la indiferencia y el olvido hasta la más encarnizada hostilidad, es uno de los aspectos más extraños y apasionantes de la evolución de la ciencia. Esto atañe ante todo a la actitud del gran público y de las grandes “iglesias” religiosas y políticas. Pero atañe también, un poco paradójicamente, a la actitud de los especialistas que, en apariencia, estaban en mejores condiciones para apreciar el valor de las nuevas aproximaciones a la verdad.

Uno de los más dolorosos ejemplos de una verdad que “hubiera debido” parecer evidente, es el del médico húngaro Semmelweis (1818-1865), quien después de descubrir el origen infeccioso de la fiebre puerperal tropezó con el rechazo más absoluto del empleo de sus procedimientos antisépticos. Los más grandes especialistas de Viena combatieron ásperamente sus ideas. Sin embargo, Semmelweis había probado de un modo que hoy nos parece irrefutable la eficacia de la antisepsia en la técnica del parto.

R. Taton recuerda con razón que la estatua de este pionero genial, verdadero mártir de

la ciencia, inaugurada en Budapest en 1894, “no borra el recuerdo de su fin trágico” (tuvo que renunciar en el hospital donde ejercía, y a su cátedra en la Universidad de Budapest, antes de morir en el asilo de alienados), ni tampoco, por sobre todo, el recuerdo de “miles de inocentes víctimas que pagaron con su vida la ciega obstinación de detentores de la medicina oficial de esa época”.

Asimismo, la publicación, en 1865, del descubrimiento fundamental de las leyes de la herencia por el monje checo Mendel, no provocó ninguna reacción a pesar de su publicación en una memoria dirigida a la Sociedad de Historia Natural de Brno. Luego de haber intentado comunicar sus resultados a distintos biólogos de esa época, Mendel murió, veinte años después, completamente ignorado por el mundo científico.

Sin embargo, aquí también se trataba de resultados cuya exactitud e importancia “hubieran debido” aparecer inmediatamente. Vueltas a descubrir, hacia 1900, por diversos biólogos, las leyes de Mendel dieron nacimiento a una nueva rama de la ciencia: la *genética*, que no dejó de desarrollarse desde entonces.

Los casos de Mendel y de Semmelweis no son accidentes en la historia de la ciencia, sino tan sólo manifestaciones extremas de dos cau-

sas de la no apreciación de los valores científicos, que acechan normalmente a toda nueva etapa hacia la verdad. Una de esas causas es el dogmatismo científico y la otra la dificultad del intercambio de informaciones.

En cada etapa de la ciencia, los especialistas se dividen en dos categorías. Por una parte, esa mayoría para la cual ciertos hechos son "bien conocidos", ciertas interpretaciones "bien establecidas", ciertas ideas "bien admitidas", y que ignora voluntaria o involuntariamente las dificultades. Por otra, una pequeña minoría que intuye los límites y las imperfecciones de las teorías reinantes, constituida por quienes saben captar y reconocer las dificultades disimuladas y tratan de vencer esas dificultades por medio de nuevas interpretaciones y poner las cosas en claro mediante nuevas experiencias.

El pertenecer a una u otra categoría no es únicamente una cuestión de inteligencia o de seriedad. Es, más a menudo, una cuestión de *edad*. Los jóvenes revolucionan, los viejos mantienen. Cuando un sabio obtiene un resultado nuevo e inesperado, su preocupación principal es defender ese resultado. Si se trata de una nueva concepción teórica, investigará todo hecho de observación, todos los experimentos que confirmen el acuerdo entre su teoría y la experiencia. Si se trata de una nueva técnica experimental, empleará muchos años en formar discípulos capaces de llevarla a la práctica.

En ese tiempo nuestro sabio, habituado a su teoría o a su técnica, se ha identificado más o menos afectivamente con ellas y adopta frente a una u otra una manera de ver cada vez menos crítica, cada vez más dogmática: ha envejecido . . . , y ha pasado, imperceptiblemente, del campo de los innovadores al de los conservadores. Pero surgen hechos cuya interpretación no cuadra ya con la antigua teoría, o aparecen técnicas nuevas, que hacen inútiles los métodos antiguos . . .

Así, la evolución de la ciencia no es sino una lucha perpetua entre los promotores de las teorías y las técnicas nuevas y los defenso-

res de las teorías reinantes, de los métodos en desuso. Las novedades surgen por reacción contra las insuficiencias del pasado y por una lucha a menudo penosa contra quienes se niegan a reconocer la necesidad de reformas. Sólo que, contrariamente a lo que sucede en otras partes, en ciencia las ideas justas, las nuevas aproximaciones a la verdad, las técnicas más eficaces, terminan por imponerse *siempre* al cabo de un tiempo razonable.

Para que la importancia de un resultado sea reconocida es indispensable que este resultado llegue al conocimiento de una persona *competente, capaz de apreciarlo*. Pero, a pesar de la multiplicación rápida del número de investigadores, esto sigue siendo difícil. A medida que la ciencia progresa, la competencia en los dominios fronterizos, donde la ciencia opera sus avances, se vuelve cada vez más rara. Se trata cada vez más de realidades sólo accesibles para instrumentos muy potentes, para técnicas que ponen en juego un bagaje mental muy afinado, y un instrumental imponente de conocimientos previos. Los descubrimientos de la ciencia de hoy "son definidos partiendo de objetos, de leyes y de ideas que constituían la ciencia de ayer" (Oppenheimer). Esto explica, en particular, por qué los progresos de la ciencia de hoy parecen tan inabordables para el común de la gente.

Ciertos valores científicos están condenados, casi por su índole, a no ser apreciados en su nacimiento. Son casi todos los que directa o indirectamente están fuera de la órbita de nuestra experiencia sensorial normal, y que con el progreso de la ciencia se vuelven cada vez más frecuentes. Hay cada vez más resultados que trascienden a los sentidos, que son abstractos, que sólo pueden ser alcanzados por el espíritu mediante un esfuerzo de imaginación. Así, cuando el dominio de la experiencia se ensancha, como es el caso de la geofísica o de la astronomía, se encuentran propiedades de mecánica, o de "geometría física" que no corresponden más a nuestras costumbres adquiridas en pequeña escala.

A primera vista, la Tierra es chata e irre-

gular. Para representársela, en primera aproximación, como una esfera física, es necesario un gran esfuerzo de abstracción y de "relativización". A menos de admitirlo por un acto de fe, como todavía se hace demasiado a menudo en la escuela, es necesario un esfuerzo de imaginación casi vertiginoso, aun en nuestros días, para relacionar la esfericidad de la Tierra con la desaparición progresiva de los barcos en el horizonte (que pocos continentales observaron realmente), con la curvatura de la sombra de la Tierra en las fases parciales de los eclipses (un fenómeno aún menos clásico), con el cambio de aspecto de las constelaciones en los viajes (¿quién conoce bastante bien sus constelaciones?), con el viaje de Magallanes y, más recientemente, con las vueltas al mundo en avión, con las fotografías aéreas tomadas desde cohetes...

No perdamos nunca de vista cuán imposible debió parecer al principio la teoría de la redondez de la Tierra. ¿No contradecía acaso, en la forma más académica e inútil (en apariencia, pues se olvida demasiado a menudo la influencia que ella tuvo sobre el descubrimiento de América por Cristóbal Colón) los datos más seguros de la experiencia corriente de la antigüedad? ¿Podía imaginarse una teoría más opuesta "al buen criterio"? ¿Una experiencia milenaria no había enseñado que existían un arriba y un abajo *absolutos*? Era necesaria, pues, una extraordinaria relativización (¡ya entonces!) para admitir que el "arriba" de aquí pudiera ser el "abajo" de otra parte y que pudieran existir en las antípodas hombres que caminaran cabeza abajo.

Una nueva relativización se hizo necesaria para explicar el movimiento aparente del Sol y la ausencia de manifestaciones *sensibles*, fisiológicas, de la rotación de la Tierra sobre sí misma. Era necesaria una nueva y formidable sacudida al "buen criterio" para admitir que la Tierra gira, cuando se siente tan bien que está inmóvil. ¡Qué audacia era necesario poseer para sostener que todo sucede de la misma manera en mecánica (y para las sensaciones que se experimenta) en un sistema

en reposo o en un sistema en movimiento de traslación uniforme con respecto al primero, antes que esta experiencia se nos volviera familiar por lo que experimentamos en un tren, en un auto, o en un avión, que mantienen su velocidad y van en línea recta!

Todo esto explica, y aun excusa en parte, la resistencia opuesta a Copérnico y a Galileo por defensores de la fijeza de la Tierra. Esto ~~para~~ para para comprender con qué prudencia deben ser abordadas las aparentes paradojas de la teoría de la relatividad de Einstein. Todo resultado científico que coordina en lo abstracto datos de una experiencia que exceden considerablemente la escala humana, corre el riesgo de no ser admitido a causa del esfuerzo de imaginación necesario para su asimilación.

De una manera más general, no olvidemos que la "verdad" científica es siempre compleja. Sólo las aproximaciones más groseras poseen un cierto carácter de simplicidad. A medida que uno se eleva a aproximaciones más afinadas, aparecen matices al mismo tiempo que incertidumbres. Las generalizaciones, como ya se vio, no son susceptibles de verificación completa; es imposible aislar ciertos fenómenos biológicos sin matar al sujeto de la experiencia.

A los valores no apreciados se suman los de los resultados cuyo valor exacto es *desconocido* aun para la gente más competente.

Para una cierta aproximación, la verdad puede contener elementos cuya exactitud, certeza y precisión estén limitadas por circunstancias independientes de nuestra voluntad. Innumerables resultados científicos se apoyan en testimonios que sólo se pueden controlar por recopilaciones de testimonios de distintos orígenes, sin que sea posible reproducir el hecho en cuestión.

A veces se trata de un fenómeno que es muy raro y cuya observación no se asienta sino en felices casualidades, como ciertos "casos" médicos, ciertas colisiones de rayos cósmicos que dejaron rastros interesantes en una "cámara de Wilson". Si el testimonio es una

fotografía de los "rastros", la objetividad es segura, pero la precisión depende de la potencia de los instrumentos empleados (principalmente de la intensidad del campo magnético que debe curvar la trayectoria de las partículas rápidas). Los testimonios antiguos tendrán, pues, un valor limitado.

Otras veces se trata de un fenómeno que se reproduce periódicamente, pero con varios siglos de intervalo: ¡el último paso de Plutón, próximo a Urano, tuvo lugar en 1712 y sólo se reproducirá en 1974! Estamos obligados a dar fe a observaciones muy antiguas, a pesar de su poca precisión.

El ejemplo de la determinación de la masa de Plutón ilustra bastante bien el carácter complejo de la "verdad" y la imposibilidad de apreciar objetivamente y con precisión todos los elementos que la componen. En general, la masa de los planetas se calcula aplicando la ley de Newton al movimiento de los satélites (¡naturales!) del planeta. Pero hasta ahora no se le conoce a Plutón ningún satélite. Estamos obligados a aplicar la ley de Newton a la interpretación de las perturbaciones producidas por Plutón en el movimiento de Urano y de Neptuno, sus vecinos más próximos.

Pero esta interpretación es muy laboriosa. Supone disponer de una *larga* serie de observaciones de los dos planetas "perturbados"; esto conduce a introducir en los cálculos testimonios de astrónomos de 1710, para Urano (descubierto en 1781), y de 1795 para Neptuno (descubierto en 1846). Esos testimonios no poseen evidentemente la precisión de las observaciones modernas posteriores al invento del anteojo meridiano.

Supone, además, una teoría perfecta de las acciones ejercidas sobre Urano y Neptuno por todos los demás planetas, lo que pone en juego casi todas las *constantes* astronómicas (masas de todos los planetas, etc.) y diversos métodos de cálculo de los cuales ninguno es absolutamente riguroso. No debe extrañarnos, pues, que la masa de Plutón, que se cree, hasta nueva orden, próxima a la de la Tierra, esté

dada en obras serias con un signo de interrogación.

El carácter abstracto y complejo de la verdad científica la vuelve especialmente vulnerable al *escepticismo* sistemático, que representa, junto con el dogmatismo, los dos monstruos entre los cuales debe pasar cualquier verdad, antes de entrar en el reino de la ciencia.

Cuando Pasteur descubrió la imposibilidad de lo que se llamaba en su época "la generación espontánea", es decir, el nacimiento de microorganismos a partir de una sustancia orgánica o inorgánica esterilizada, en las condiciones usuales para nuestros laboratorios terrestres, tropezó con una oposición violenta de los que, en sus experiencias, pretendían "crear la vida". Unos le objetaron que la esterilización volvía las materias primas ineptas para engendrar la vida; otros le opusieron experiencias donde los microbios aparecieron después de la esterilización.

Evidentemente el escepticismo, en dosis moderadas, constituye la base del libre examen, y puede ser también tan estimulante como la competencia. Para superar las objeciones, los sabios se inclinan a imaginar experiencias cada vez más convincentes y teorías cada vez mejor comprobadas por las observaciones. Es probable que el ingenio de Pasteur haya sido poderosamente estimulado por la resistencia que los contemporáneos opusieron a sus descubrimientos.

Para convencer a los más incrédulos, imaginó experiencias cada vez más espectaculares, como la de la extracción del aire sobre el Mer de Glace<sup>1</sup>, y la de la esterilización sin ebullición, por simple depósito de los polvos en un tubo fino y curvado en "cuello de cisne".

La lucha contra el escepticismo de los colegas reemplaza con una frecuencia siempre en aumento la lucha contra los prejuicios del público, a medida que la confrontación de ideas se traslada cada vez más de la plaza pública a los laboratorios y a los congresos científicos.

<sup>1</sup> Glaciar de los Alpes franceses. (N. del T.)



Esto, por otra parte, no resguarda a la verdad del dogmatismo científico o metafísico (político o religioso) ni de consideraciones de prestigio nacional.

Es tal vez demasiado pronto para decidir si el genetista ruso N. I. Vavilov tenía razón frente a su colega Lysenko en la controversia que parece haberle costado la vida, pero se puede afirmar que esta polémica anterior a la "destalinización" no fue conducida en la URSS con toda la serenidad que se imponía.

En verdad, fue un error entremeter al público, en la URSS y fuera de ella, en esta discusión. Pues si un hombre de la calle podría aún, en rigor, imaginarse capaz de juzgar por sí mismo sobre la redondez de la Tierra, su fijeza en el espacio y el "movimiento" del Sol, debe apelar hoy a los químicos y a los biólogos para decidir, a pesar de su dogmatismo y de su escepticismo (uno anulando en parte al otro, para mayor bien de la ciencia), en la mayor parte de las controversias científicas. Ya Le Verrier, en 1848, tuvo ocasión de lamentar en términos muy pintorescos que

la querrela referente al descubrimiento de Neptuno fuera mantenida ante profanos.

Existen, sin embargo, descubrimientos que *hay* que llevar al conocimiento del público. Son aquellos que atañen a las aplicaciones de la ciencia, considerados portadores de diversos beneficios. Es curioso comprobar cuán a menudo las aplicaciones más claramente benéficas son rechazadas por la opinión pública. "Un progreso (científico) tiene en su contra el levantamiento en masa de los prejuicios, la pequeña guerra de los celos y hasta la indolencia de los mismos interesados" (R. Vallery-Radot).

De tal suerte, Pasteur tuvo la mayor dificultad para imponer la "pasterización" de los vinos y otros productos de consumo perecederos. Cuando halló la solución al problema de la enfermedad de los gusanos de seda, tropezó con el rechazo casi unánime de los sericultores a aplicar sus métodos. Pero el capítulo de los inventores no apreciados es, por otra parte, demasiado clásico para que sea necesario insistir en el tema.

## CONCLUSIÓN

Esperamos haber mostrado con claridad que la ciencia es una realidad compleja, original y casi paradójica.

Pues:

Conduce a recetas prácticas, seguras, mediante aventurados "juegos gratuitos".

Requiere a la vez la organización planificada colectiva y la libre iniciativa individual.

Útil y redituable, exige un generoso "mece-nazgo": privado, nacional o internacional.

Sus mejores instrumentos son a menudo los más caros, pero los más caros no son siempre los mejores.

Descubre, inventa y crea nuevas realidades, pero ignora la generación espontánea.

Se nutre, a veces, de "felices azares" pero no podría adaptarse a una espera pasiva de los favores de la suerte.

Es segura, pero ninguna de sus generalizaciones es enteramente verificable.

Progresas por el descubrimiento de hechos que contradicen sus teorías mejor establecidas.

Los resultados poseen un enorme valor, pero sus "valores" son imposibles de medir.

Busca la verdad, y responde a los "porqués cada vez más sutiles", pero no pretende alcanzar lo absoluto, como la filosofía.

Es colectiva, cooperativa, y supranacional, pero también "deportiva" y competitiva.

Es tolerante y enemiga mortal de todos los dogmas, comenzando por los suyos propios.

Es la obra de una comunidad jerarquizada de individuos cuyo valor no puede ser definido individualmente.

Exige el trabajo en equipo y la meditación solitaria; la sumisión a una disciplina estricta y un vigoroso anticonformismo; una imaginación descabellada y un espíritu crítico aguzado; tenacidad y flexibilidad; audacia y prudencia.

En nuestra época de simplificación a ultranza nos pareció urgente explicar todos esos matices.

Se recordará sobre todo que:

La ciencia es la obra de sabios, cuya productividad plantea problemas delicados, demasiado descuidados hasta ahora.

La ciencia es *una*. No existe una ciencia "académica" y una técnica práctica, sino únicamente "la ciencia y las aplicaciones de la ciencia".

Las naciones que dejan a su juventud preocuparse de la ciencia se condenan a una rápida decadencia cultural y material.

Si bien la ciencia exige inversiones aparentemente improductivas, continúa siendo la más redituable de las empresas humanas.

Los sabios dignos de ese nombre no son individuos "socialmente peligrosos", sino trabajadores desinteresados y eficaces, que se consagran al bien de la humanidad entera.

## BIBLIOGRAFÍA SUMARIA

- R. DUBOS, Louis Pasteur, Paris, Presses Universitaires de France, 1955.  
*La science et l'homme*, obra colectiva, Paris, Julliard, 1954.
- J. R. OPPENHEIMER, *La science et le bon sens*, Paris, Gallimard, 1955.
- C. RICHEL, *Le savant*, Paris, Hachette, 1923.
- J. D. BERNAL, *The Social Function of the Science*, Londres, Routledge, 1939.  
*Pensée scientifique et foi chrétienne*, obra colectiva, Paris, Fayard, 1953.  
*L'atome, notre destin*, obra colectiva, Paris, Julliard, 1955.
- J. R. BAKER, *Science and the Planned State*, Londres, Allen, 1945.
- J. ROSTAND, *Pensées d'un biologiste*, Paris, Stock, 1954.
- "Les problèmes de la recherche scientifique et technique", *Études et travaux du Conseil économique*, n° 27, PUF, 1953.
- Forscher und Wissenschaftler im Heutigen Europa*, obra colectiva, Oldenburg, G. Stalling, 1955.
- A. S. EVE, *Rutherford*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1939.
- R. VALLERY-RADOT, *La vie de Pasteur*, Paris, Hachette, 1932.
- L. DE BROGLIE, *Savants et découvertes*, Paris, Albin Michel, 1951.
- J. PERRIN, *La science et l'espérance*, Paris, PUF, 1948.  
*L'homme devant la science*, obra colectiva, Neuchâtel, Baconnière, 1953.
- J. HADAMARD, *The Psychology of Invention in the Mathematical Field*, Princeton, Princeton Univ. Press, 1945.
- G. H. HARDY, *A Mathematician's apology*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1941.
- H. DINGLE, *The Scientific Adventure*, Londres, Pitman, 1952.
- EVE CURIE, *Madame Curie*, Buenos Aires, Hachette, 1944.
- R. TATON, *Causalités et accidents de la découverte scientifique*, Paris, Masson, 1955.
- J. PELSENEER, *Science pure et science appliquée, à la lumière de l'histoire des sciences*, Londres, The Society for Freedom in Science, 1948.
- LE CHATELIER, *De la méthode dans les sciences expérimentales*, Paris, Dunod, 1936.  
*La recherche scientifique et le progrès technique*, Paris, Présidence du Conseil, junio 1957.

# Í N D I C E

INTRODUCCIÓN . . . . .	5
------------------------	---

## PRIMERA PARTE

### LOS GRANDES PROBLEMAS DE ORGANIZACIÓN

CAPÍTULO I. Crisis de desarrollo en la investigación científica . . . . .	7
---	---

## SEGUNDA PARTE

### LOS PRINCIPALES ASPECTOS DE LA CIENCIA Y DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

CAPÍTULO II. Los orígenes de la ciencia moderna . . . . .	20
CAPÍTULO III. La ciencia de hoy. Sus fines . . . . .	22
CAPÍTULO IV. Las aproximaciones sucesivas . . . . .	25
CAPÍTULO V. "Los descubrimientos" . . . . .	28
CAPÍTULO VI. Los principales aspectos de la investigación . . . . .	32
La acumulación . . . . .	32
La cooperación . . . . .	33
La competencia . . . . .	35
El riesgo de fracaso . . . . .	38
CAPÍTULO VII. El ejemplo de los cuantos . . . . .	39
CAPÍTULO VIII. En las fronteras de la ciencia . . . . .	43