

Titulo original: *The Force of Knowledge. The Scientific Dimension of Society*

Esta obra ha sido publicada en inglés, en 1976, por Cambridge University Press.

Traductor: Ignacio Cabrera.

ZIMAN, John (1980):  
LA FUERZA DEL CONOCIMIENTO. La  
Dimensión Científica de la Sociedad.  
Madrid: Alianza

*Todas [as medidas que se tom en para  
el cambio, que no consideren la respues-  
ta del coraxon humano, son o perversas  
o ingenuas.*

IVAN ILLICH

U Cambridge University Press, 1976

Ed. cast.: Alianza Editorial, S. A., Madrid, 1980

Calle Milan, 38; "II" 200 00 45

I.S.B.N.: 84-206-1765-2

Depósito legal : M. 20.065-1980

Compuesto en Linotipias Fernandez. Oudrid, 11. Madrid-20

Impreso en Hijos de E. Minuesa, S. L.

Ronda de Toledo, 24. Madrid-5

Fue magnifico que un grupo de izquierdistas creara una asociacion que exigia de la ciencia una conducta socialmente responsable. Pocos anos despues, la asociacion se encamino hacia otros objetivos ideologicos y la mayoría de los científicos de fama se retiraron. Sin embargo, despues de haber confesado nuestros multiples pecados y haber dado un sólido e importante testimonio de responsabilidad, dificilmente podiamos volver a nuestras grutas academicas a dar lecciones, con rostro indiferente, sobre los fundamentos axiomáticos de la Mecánica Cuántica. Nuestra conciencia y orgullo profesionales nos exigian, como profesores universitarios, introducir a los estudiantes en el tema de las relaciones sociales de la ciencia y la tecnología.

Pero, ¿como debiamos hacerlo? ¿Que metodo y forma empleariamos? ¿Que exámenes pondriamos? ¿En que departamento lo introduciriamos? ¿Quiénes se harían cargo de ello? En la actualidad, hay muchos y diversos grupos de diferentes países que están estudiando estas

cuestiones, de varios modos. Deberan transcurrir algunos años para que el tema se convierta en una disciplina académica ordinaria y cristalice en un currículo normal.

Mientras tanto, decidi hacer yo mismo una incursión en el tema para contribuir personalmente a este desarrollo. Este libro es la versión ampliada de un curso de diez conferencias que, a partir de 1971, he venido dando semanalmente durante un período escolar en la Facultad de Ciencia de la Universidad de Bristol. Considero que recurrir a una sola persona que preparara y diera estas conferencias -aun con el riesgo de todas las tonterías que puede decir un individuo que no está especializado en ninguno de los temas discutidos-, era más provechoso que hacer venir a una miscelánea de historiadores, economistas, sociólogos, etc., para que cada uno ejecutara la pieza de su especialización. Si se quiere, podríamos definir esto como una reparación del tipo «hágalo Ud. mismo», de su propia educación defectuosa y de su conciencia dolorida, escrita por un científico docente para auxiliar a los que afrontan los mismos problemas.

Permitaseme hacer notar que nada del material aquí presentado es muy original: cualquier buena enciclopedia o historia de la ciencia proporcionaría mayor información sobre un tema en particular. Tenía en mente al estudiante medio de segundo año de Facultad de Física, Química o Biología, que, de hecho, ignora totalmente los hechos y nociones más elementales de la ciencia considerada como actividad social. Tales estudiantes, según mi experiencia, son prácticos, realistas, sin un interés profundo en Filosofía o Sociología; pueden pensar mejor a partir de ejemplos que de teorías abstractas. Por eso he introducido gran número de diapositivas en las conferencias, que, por lo menos, son una imagen que el público podía contemplar, mientras yo hablaba.

Pare pasar con éxito una materia nueva, hay que aprobar un examen. Y me estremecía la idea de elaborar un cuestionario de 40 minutos sobre este material **Complejo, confuso**, medio crudo. ~ Queremos realmente que

los estudiantes *aprendan* quien inventó la cremallera o la proporción del PNB (Producto Nacional Bruto) que los Estados Unidos gastan en Investigación y Desarrollo? Para fomentar la asistencia y el interés por esta materia, el Departamento de Física pidió a cada estudiante que escribiera, durante las vacaciones de Navidad o Pascua, un ensayo sustancioso sobre cualquiera de los temas presentados en una larga lista. De hecho, los ensayos fueron muy buenos; se les evaluó cuidadosamente, pues los puntos en ellos obtenidos cuentan como una pequeña parte de la calificación final para la graduación. No puedo menos que expresar mi opinión personal de que hubiera sido un error hacer un examen tradicional sobre esta nueva parte del currículo de ciencia, como si se tratase de una disciplina académica perfectamente definida, con un catálogo igualmente definido de hechos y principios que todo estudiante debiera llegar a conocer como la definición de un ácido, o las pruebas experimentales de que el electrón es, por naturaleza, una onda. Enseñamos y aprendemos unos cuantos elementos que nos permitan sensibilizarnos a esta materia y a otros modos de pensar, no para adquirir una máquina que resuelva problemas técnicos específicos.

Aparte algunos comentarios críticos del Dr. J. R. Ratzel, que me fueron de gran utilidad, el texto es integralmente mío; sin embargo, estoy enormemente agradecido a Rosemary Fitzgerald, que tuvo a su cargo el trabajo de buscar las ilustraciones y conseguir las brillantes fotografías y la autorización de reproducirlas. Ella no solo supo donde buscar y a quien preguntar, sino que demostró entender mejor que yo el tipo de ilustración requerido, gozando con la actividad deportiva de cazarlo en los lugares más insólitos. Asimismo agradezco la colaboración de George Keene, que hizo todas las diapositivas de las conferencias y fotografió muchas de las ilustraciones; y la de Lilian Murphy, que descifró mis horribles jeroglíficos y los traspuso a un esmerado escrito mecanografiado tranquilo y cuidadosamente, como es habitual en ella.

Y debiera agradecer -supongo- a las empresas británicas de televisión que, cada tarde, mantuvieron muy entretenidos a los niños, mientras yo trataba de continuar con este escrito; y a mi esposa, que comprendió que hacerlo era un deber que debía llevar a cabo.

John Ziman

Bristol,  
julio de 1973.

## 1. La institución social de la ciencia

*«Esforzémonos por ver las cosas como son; después preguntémonos si debemos lamentarnos. No se si ver la vida tal cual es, nos consolará mucho; pero la consolar derivada de la verdad, si existe, es sólida y duradera; la que proviene del error debe ser, como su origen, mentirosa y fugaz.»*

SAMUEL JOHNSON

La ciencia natural está transformando la sociedad humana. Al valorar los cambios que la ciencia produce, llegamos a preguntarnos sobre el origen de su poder. Hemos empezado por poner en duda muchas opiniones por largo tiempo indiscutibles: Toda ciencia es buena; la investigación científica es un método de purificación personal; el apoyo del Estado a la ciencia es un autointerés ilustrado. Las voces de los opositores de la ciencia, largamente silenciadas, han comenzado a escucharse hablando de cosas que nos parecía no volverían a oírse: los científicos son egoístas, irresponsables y arrogantes; el conocimiento científico es, en gran medida, mal utilizado; la humanidad sabe ya demasiado para que sea para su bien.

No es este libro un sermón acerca de estas posturas morales. Cada uno de nosotros, como ciudadano responsable del mundo, debe buscar sus propias respuestas a tales cuestiones controvertidas. Pero para pensar de una manera positiva sobre estos asuntos, es necesario saber un poco acerca de la naturaleza de la ciencia, considerada como una actividad humana. No basta entender los des-

cubrimientos que los científicos han hecho sobre el mundo; se debe también aprender a considerar la investigación científica como una parte integrante del modo de vida moderno. Debemos encuadrar en un conjunto de hechos y principios convenidos, el debate racional sobre los problemas políticos y morales referidos a la ciencia y a su lugar en la sociedad. El objetivo de este libro es esbozar un telón de fondo para tales debates.

El problema reside -si se me permite expresarlo así- en que todo, este asunto es más complicado de lo que muchos piensan. Con demasiada frecuencia, se emiten opiniones apresuradas sobre la relación de la ciencia con la tecnología, sobre la misma maquinaria para planear la investigación o sobre la perversidad de los científicos que hacen investigación bélica, sin tomar en consideración hechos bastante ordinarios que refutarían todos los argumentos esgrimidos. Se avanzan grandes y diversos esquemas ideológicos que, con una cortina de humo de abstracciones vacías, pretenden ocultar su fracaso al explicar la realidad. Intelectuales de todos los partidos exigen un «análisis más profundo» de la relación entre ciencia y sociedad, aunque todavía no hayan explorado y delimitado siquiera la superficie del tema. Nos hablan de lo que debería hacerse ahora y de lo que pasará enseñada, sin haber estudiado lo que realmente sucedió en el pasado ni cuál es nuestra situación actual.

No es ciertamente posible clasificar las diferentes corrientes de opinión acerca de estos temas ni discutir sus pros y contras. Tampoco puede nadie presentar un catálogo completo de los hechos en cuestión, sacados de la historia, la filosofía, la política, la economía, la sociología o la psicología. Nadie se hace sabio leyendo una enciclopedia. Propongo, por tanto, tomar algunos de los temas más significativos que aparecen en estos debates e ilustrarlos haciendo referencia a episodios escogidos de historia y vida contemporáneas. Quiero, en cada caso, destacar el tipo de pruebas que pueden utilizarse en pro o en contra de una interpretación concreta o de un principio general. Siguiendo el espíritu mismo de la ciencia

natural, en mi opinión, se debería intentar adquirir una impresión general de los hechos importantes antes de tratar de encajarlos en una teoría.

Me he esforzado principalmente en hacer cada ejemplo lo más concreto posible. El conocimiento científico, en su forma más pura y sublime, es un producto de la mente en tal grado, que tendemos a ignorar el cuerpo dentro del cual ha de vivir la mente. Por supuesto, me es imposible prescindir de mis prejuicios ideológicos al presentar esta materia, pero deliberadamente he escogido un enfoque más sociológico que filosófico. Debemos observar la investigación científica como la tarea diaria de algunas personas que tienen un lugar en la sociedad; debemos verla como el trabajo organizado de grupos de personas vinculadas a instituciones sociales como universidades y laboratorios de investigación, que se gufan unas a otros, se pagan y cobran salarios y usan equipamientos técnicos caros. Para poner de relieve que este modo de vida es concreto y real, el texto está profusamente ilustrado con dibujos, retratos, fotograffas, viñetas, gráficos y tablas estadísticas -«detalles que corroboran e intentan dar un aire de verosimilitud a una narrativa que de otro modo sería poco interesante y nada convincente»-. De estas ilustraciones puede aprenderse tanto como del texto en que están encuadradas.

### *El lugar de la ciencia en la sociedad*

El esquema del mundo intelectual que aprenden la mayoría de los estudiantes de ciencias, se asemeja al de la figura 1.1. La historia de la ciencia, que abarca muchos siglos, se representa como una expansión continua a expensas de la religión, la filosofía y las humanidades, condenadas a arrastrar una existencia miserable en unos cuantos rincones estériles. Algunas partes de estas disciplinas han empezado a disfrazarse de ciencias sociales\*, pero solo se les otorga tal título cuando tienen el lenguaje formal de la teoría y el simbolismo matemático.

Esta interpretación ingenua y arrogante del lugar de la ciencia en la sociedad no se sostendría después de un estudio serio de los hechos. En la figura 1.2, he intentado indicar la complejidad de la relación entre las ciencias y las demás actividades humanas. *Ciencia* suele generalmente significar <<el arte de conocer>>. Es casi lo mismo que *investigación*, que es la acumulación del conocimiento a

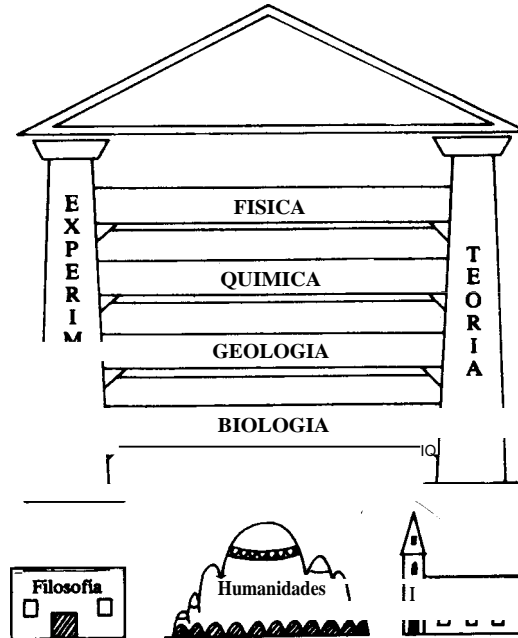


Fig. 1.1

traves de una *observación* sistemática, *experimentos* deliberados y una *teoría* racional. Pero esta actividad está íntimamente relacionada, por un lado, con las artes prácticas o técnicas, y por el otro, con la esfera espiritual -religión. Estas, a su vez, se vinculan con la *cultura material* de la sociedad, poniéndose al servicio de las necesi-

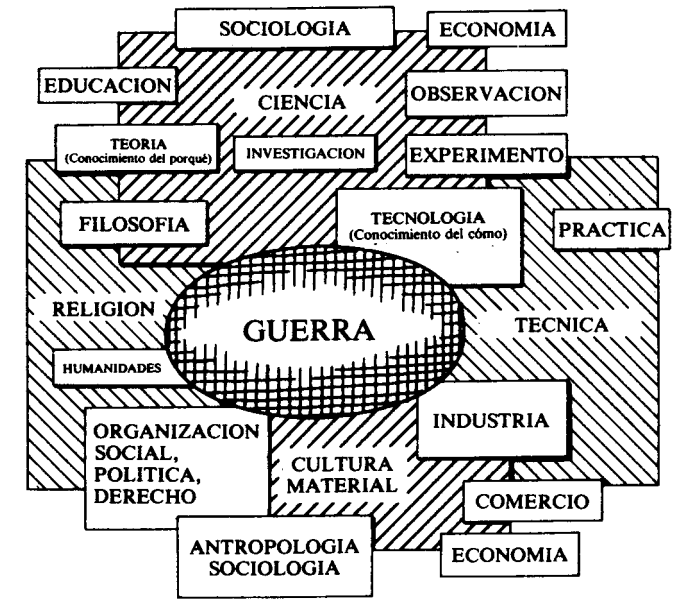


Fig. 1.2

dades humanas individuales: alimentación, salud y satisfacción psíquica.

Pero no hay divisiones definidas entre estos diferentes aspectos de la condición humana: cada actividad se entrecruza y combina con las demás actividades cercanas. Todos conocemos la dificultad práctica de trazar una línea divisoria entre ciencia y *tecnología*, <<arte de saber el cómo>>, aplicado a una técnica actual como la ingeniería mecánica o la agricultura. ¿Cómo hacer una distinción ulterior entre la técnica misma y la tecnología que la guía? ¿Cuál es la relación sutil entre una tecnología como la ciencia médica y la *práctica* de una técnica que llevan a cabo especialistas, médicos y cirujanos? Es más correcto afirmar que la medicina es tanto una técnica como una ciencia (para realzar sus aspectos teóricos, experimentales,

prácticos y de observación), que introducirla forzosamente en uno u otro cajón simplemente por seguir un orden mental? Mas bien que hacer confusa la argumentación con definiciones pedantes, dejemos que los territorios que gobiernan cada uno de estos términos se difuminen uno en otro y se entrecrucen sin limitaciones formales.

En el otro lado de la figura, la ciencia y la religión aparecen mezcladas en un área que ocupa también la filosofía, que tira con especial fuerza hacia la teoría —el arte especial de «conocer el por qué». Aquí nos ponemos en contacto con las *necesidades espirituales* de los hombres que sirve la *religión*, íntimamente relacionada a su vez con la *organización social* requerida para la satisfacción de nuestras *necesidades materiales*.

Para que nuestro esquema tuviera mayor realismo, debería cerrarse en sí mismo, como si estuviese dibujado en un cilindro o en una esfera. Necesitamos relacionar la *cultura material* con la *ciencia*, a través de la *educación*, la *economía* y la *sociología*. Esta última no pertenece ni a la tecnología ni a la filosofía; solo pretende, audazmente, consolidar, mediante la observación y la teoría, un cuerpo de conocimientos referido a la cultura, la religión y la técnica. ~Es la sociología una ciencia auténtica. La pregunta no es una cuestión de definición o prejuicio; están en juego reivindicaciones de especialidad, autoridad y poder. Quizá la situación ambigua de estas disciplinas en nuestro diagrama sea una indicación clara del incierto lugar que realmente tienen en el mundo intelectual.

Observese en el centro mismo del diagrama la más antihumana de las actividades: la *guerra*. Tómese nota de su interacción con todos los demás aspectos de la vida social. No quiero dar a entender con esta representación que la guerra ocupe el lugar central en la sociedad moderna; sin embargo, ha desempeñado y continúa desempeñando un papel importante en el desarrollo de la ciencia y la técnica, que no debemos arrinconar en nuestra mente **para poder** olvidarlo cuando nos convenga. En nuestro **perverso** mundo, la ciencia que no tiene relación con la

guerra casi coincide temporalmente con la guerra no científica.

Pero este esquema, producto del ocio, no pretende que se le tome literalmente. Hay muchos otros modos de analizar nuestra materia. Podríamos hablar de la jerarquía tradicional de las ciencias, desde las abstractas propiedades matemáticas de las partículas elementales, pasando por los átomos, moléculas, células y organismos, hasta llegar a la conducta política de las naciones. Podríamos hacer un análisis político que distinguiera cuidadosa (y desfavorablemente) la ciencia bajo el capitalismo de la ciencia bajo el socialismo, e hiciese notar especialmente las injusticias que las naciones colonizadas han sufrido bajo la dominación imperialista. Algunas veces es conveniente considerar la ciencia como un punto de equilibrio entre tres dimensiones de la existencia —la intelectual, la personal y la social— en tensión recíproca (figura 1.3). Este diagrama nos ayuda a entender la rela-

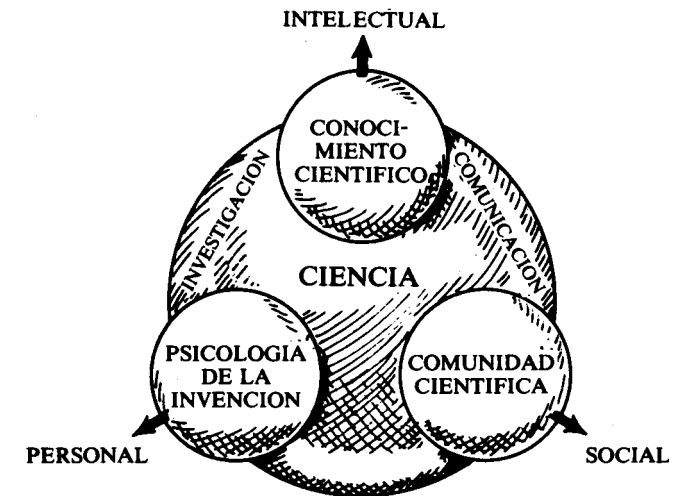


Fig. 1.3

cion compleja del científico individual con la comunidad científica. Por ejemplo, la «autoridad científica» puede ser un poder intelectual adquirido a través de la investigación o una posición social que otorga un liderazgo reconocido en la comunidad científica. Una cuestión que podía describirse en este diagrama, es el interés especial de la disciplina ahora llamada *sociología de la ciencia*, aunque evidentemente solo es una pequeña parte de la materia total.

Sin embargo, hay, en todos los asuntos humanos, una singular variante dominante: el tiempo. Para entender la situación actual de la ciencia, necesitamos saber como ha llegado a ser lo que es; no podemos dispensarnos de un relato *histórico*. En lenguaje de la física, para extrapolar al futuro debemos ver retrospectivamente al pasado de tal modo, que estimemos las derivadas temporales de nuestras funciones. En lenguaje biológico, debe existir una *embriología* de la ciencia, que explique la forma mediante el crecimiento y el crecimiento mediante la forma.

Pero la historia detallada de la ciencia es muy sutil y frecuentemente equivoca. Cuanto más profundamente inquirimos, menos vemos la estructura o el principio. Cuanto más atrás retrocedemos, más inciertos son los hechos y más ingeniosa su interpretación. ¡Tema propio de mentes académicas, da más placer al escritor o conferenciante que al lector o al estudiante!

En la primera mitad del libro, echaremos una mirada retrospectiva al pasado -que abarca con frecuencia muchos siglos- para escoger episodios conocidos y característicos que ilustren cada tema. Su principal propósito es demostrar tanto la continuidad como el cambio; en algunas de sus características --el sistema de comunicación formal, por ejemplo-, la ciencia ha cambiado muy poco desde el siglo diecisiete; en otros aspectos -la escala y la organización interna, por ejemplo-, ha cambiado totalmente a lo largo de una generación humana. La historia contribuye a la sociología propiamente estableciendo las escalas temporales del cambio y la variabilidad de las cir-

cunstancias dentro de las cuales las instituciones sociales pueden subsistir.

Pero estas astillas de historia no reemplazan el conocimiento general del desarrollo real de las diversas ciencias que un estudiante serio puede adquirir en pocos años por la lectura sistemática y variada. Los ejemplos no son, en sí mismos, importantes; son simples sugerencias de lo que tal lectura podría buscar.

En capítulos posteriores, nos concentraremos en el siglo actual, en unas cuantas décadas pasadas y en el día presente, que -por desgracia- nos ha tocado vivir. Este material no es fácilmente asequible en fragmentos elaborados académicamente, pero basta con buscar en laboratorios, periódicos y unas cuantas revistas especializadas, para encontrar gran cantidad de pruebas de los diversos fenómenos a los que se hace referencia. Al estudiante agudo puede recomendarse también la práctica de la lectura de algunos de los libros más doctrinarios sobre el tema «ciencia y sociedad» y la búsqueda de ejemplos contrarios a las generalizaciones que sus autores propusieron con confianza.

En un libro con acento sociológico, gran parte del texto trata -sorprendentemente- de individuos particulares. Ello no significa que yo crea que la ciencia es la actividad de una élite, sino que, hasta hace poco, la investigación la hacían realmente individuos que trabajaban bastante por cuenta propia, reclamaban recompensas *personales* por sus descubrimientos y aplicaban un criterio independiente a los problemas que estudiaban. Principal tema de este libro es precisamente la transformación de este sistema «industria rural-mercado ciudadano» en el estilo contemporáneo de «producción fabril-economía planificada».



*La idea de que la ciencia es autárquica (Hla ciencia por la ciencia misma), es ingenua; confunde las pasiones subjetivas del científico profesional, que trabaja en un sistema de profunda división del trabajo, bajo condiciones impuestas por una sociedad dividida, en la que las junciones sociales del individuo van cristalizando en una diversidad de tipos, psicologías, pasiones (ya lo dice Schiller: «La ciencia es una diosa, no una vaca lechera»); con el papel social objetivo de esta clase de actividad, que es una actividad de vasta importancia práctica.*

N. I. BUJARIN

### Medición de la tierra

Todo escolar aprende el «teorema de Pitágoras», que se refiere al cuadrado de la hipotenusa de un triángulo rectángulo. Como lo indica el nombre, se supone que fue descubierto alrededor de 500 a. C., por un famoso filósofo griego, o por algún miembro de su escuela. La demostración que aprendemos es idéntica a la que dio Euclides de Alejandría, en su famoso compendio de teoremas geométricos, escrito alrededor de 300 a. C., que nos transmitieron los intelectuales musulmanes de la Edad Media. Pero el mismo teorema, probado de una manera ligeramente diferente (fig. 2.1) fue sin duda conocido en la China antigua. (Esta figura muestra un ejemplar primitivo de la impresión con molde china, cuyo autor es Chou Pei, un contemporáneo de Pitágoras.) La matemática es, con toda seguridad, la más antigua y pura de las ciencias.

Sin embargo, durante varios milenios, se ha construido enormes pirámides y templos de Egipto y Mesopotamia; se ha vigilado los territorios y se les ha obligado a pagar

tributos; se han hecho mapas de los cielos, útiles para el calendario. Los hábiles constructores en piedra que usaron estas herramientas debieron sin duda estimar el uso práctico del triángulo (3, 4, 5) para construir un ángulo recto. La misma palabra *geometría* no significa otra cosa que «medición de la tierra». La habilidad intelectual de los matemáticos griegos que transformaron este arte práctico en un sistema lógico, es digna de admiración; pero la técnica, cuyas reglas descubrió la experiencia, debió preceder a la teoría filosófica.

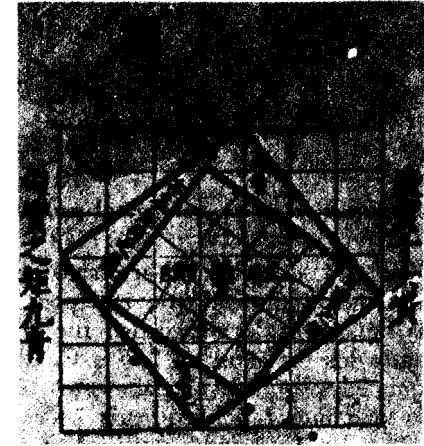


Fig. 2.1. *Texto matemático chino. Primitiva impresión china con molde. Una demostración del teorema de Pitágoras, atribuida tradicionalmente al matemático Chou Pei, probablemente contemporáneo de Pitágoras.*

### Armas, herramientas, técnicas

Una tecnología avanzada acompañó los logros extraordinarios de los griegos en la ciencia teórica y en las bellas artes. La búsqueda de pruebas tiene que dirigirse a un lugar obvio: la ingeniería militar.

Un arma para el asedio de fortalezas como la que

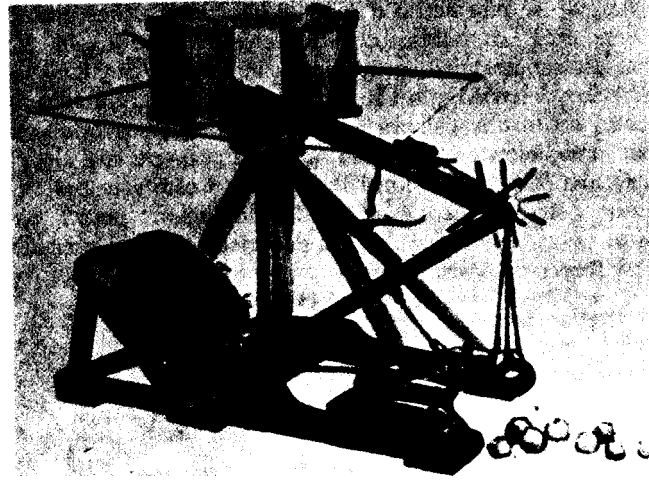


Fig. 2.2. Reconstrucción de un arma griega para sitiar.

muestra la fig. 2.4, era quizá el artefacto más grande y más cuidadosamente diseñado de su época. La hazaña técnica más famosa de la antigüedad fue la defensa de Siracusa contra los romanos, en 215 a. C. El gran matemático Arquímedes (que despreciaba estas técnicas bajas a tal grado que nunca publicó nada sobre este tema) tomó a su cargo las operaciones y utilizó su conocimiento sobre palancas y poleas para diseñar arpeos para sacar los barcos del agua y destruirlos (fig. 2.3).

Pero esto fue un ejemplo aislado de una nueva técnica

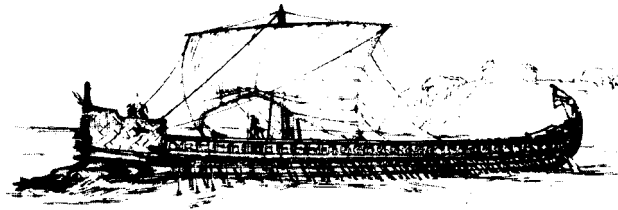


Fig. 2.3. Dibujo de una galera griega del siglo IV a. C.

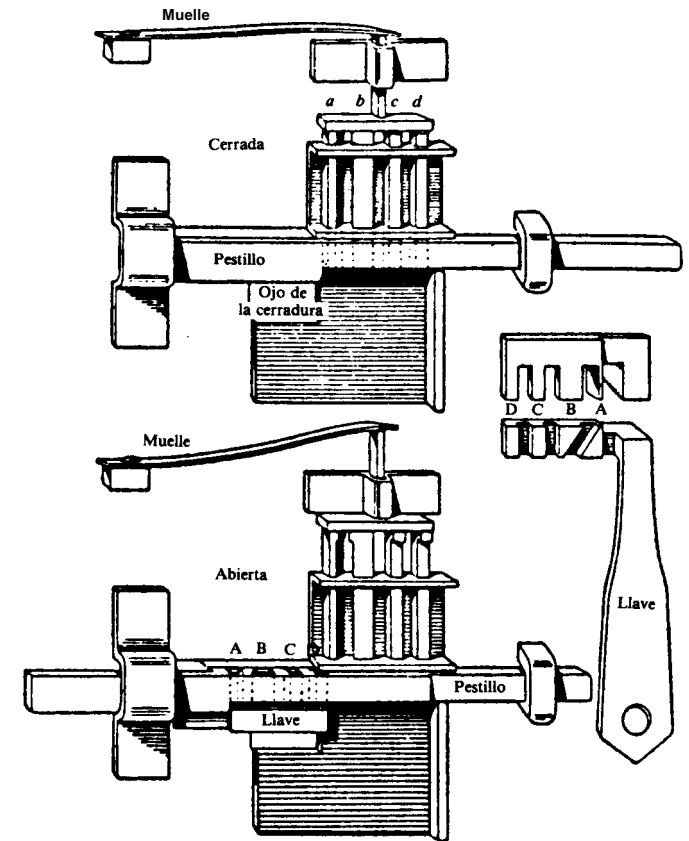


Fig. 2.4. Cerradura romana. Modelo de una cerradura romana con llave, cerrada (arriba) y abierta (abajo). El pestillo se desliza sobre un par de guías, cuando se empuja la llave curiosamente tomada, cuyas proyecciones se adaptan a las hendiduras hechas a través del pestillo. Para evitar que el pestillo se deslice sin la llave, cuatro clavos (a, b, c, d) lo mantienen dentro de las hendiduras mediante un resorte; los clavos liberan el pestillo, cuando se introduce la llave adecuada.

que se funda sobre una teoría científica. La civilización romana duró siglos y llevó a cabo maravillas de habilidad técnica, sin interesarse significativamente por la ciencia teórica. Su capacidad, refinada y creativa, para el trabajo del metal no fue igualada: el artesano que pudo diseñar y construir esta cerradura y esta *Have* (fig. 2.4), hubiera podido fácilmente hacer instrumentos de precisión útiles para la navegación. Pero los romanos carecieron de incentivos para servirse de la teoría astronómica. Una técnica avanzada que se domina en un período de aprendizaje y experiencia, no se basa necesariamente y conscientemente en un cuerpo de principios abstractos.

Para apreciar el nivel de habilidad que puede lograr el desarrollo continuo de una técnica, solo tenemos que pensar en las catedrales medievales, cuyos diseños no debieron nada al cálculo matemático deliberado de pesos y tensiones, que levantaron artesanos analfabetos, bajo la dirección de monjes arquitectos, con rudimentarias grúas de madera y herramientas manuales (fig. 2.7).

O contemplemos esta máquina espléndida para fabricar pesado alambre de hierro (fig. 2.5), que fue desarrollada en el siglo xvi. Mírese ahora con que eficacia y ahorro de

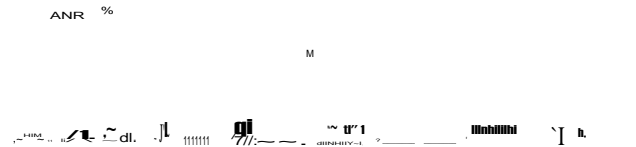


Fig. 2.5. Restirador de alambre mecánico. Una rueda hidráulica mueve una manivela que, a cada media vuelta, permite que el alambre sea estirado a través de la hilera. De Biringuccio, *De la Pirotechnica*, 1540.

energía el hombre opera en el columpio como unidad de control que conecta la fuerza de la rueda hidráulica con el trabajo por realizar. Cuando se balancea hacia adelante, coge el alambre que, entonces, el golpe hacia atrás de la manivela restira firmemente a través de la hilera. Esta máquina es un producto evidente de la imaginación creadora de varias generaciones de artesanos, cada una de las cuales iba mejorando un poco la técnica que habían heredado. Hasta el Renacimiento, la existencia y características de tales artefactos —molinos de viento y agua, barcos, equipo de minas, máquinas militares, etc.— caían fuera del campo de intereses de los hombres cultos, cuya física teórica dominaban sutiles cuestiones teológicas y traducciones tergiversadas de la cosmología griega.

### *Alquimia*

Pero, ¿qué idea tenía de lo que estaba haciendo el alquimista de esta xilografía del siglo xv (fig. 2.6). ¿Estaba simplemente obsesionado por el sueño goloso de



Fig. 2.6. «Un alquimista en acción». Xilografía de H. Weiditz, *Tornado de Petrarca Trostspiegel*, Augsburgo, 1535.

hacer oro? ¿O tenían sus investigaciones un propósito filosófico más elevado? La alquimia sigue siendo un misterio para nosotros, porque no podemos hacernos una opinión acerca de si su intención era sincera o fraudulenta. Pero observense los aparatos que el alquimista había construido para sus investigaciones: los prototipos auténticos de los matraces, vasos de filtración en caliente, retortas y destiladores del químico moderno. El alquimista estaba lleno de curiosidad por experimentar y observar, y una teoría sistemática expresada en un simbolismo cuasi-religioso, guiaba su investigación. ¿Fue precisamente un caso primitivo de una ciencia sería que la fe en una teoría confusa y desorientadora llevó a un callejón sin salida, del que no pudo salir a través de la discusión abierta y la crítica mutua, porque precisamente se trataba de un «arte secreto»? ¿O creían los que practicaban la alquimia, que esta debía ser una técnica práctica, aunque estuviese envuelta por un halo de misteriosa superchería, que no llegó a producir frutos solamente por razones accidentales? La alquimia tiene elementos de ciencia auténtica y de técnica genuina y, sin embargo, no es ni completamente científica ni puramente técnica. Hay aquí, pues, un desafío para cualquier respuesta simplista a las preguntas: ¿Cómo distinguir entre ciencia y técnica? ¿Cuál es primero?

#### Farmacia y botánica

Las ramas de la ciencia que suelen llamarse «historia natural» dependen mucho de la exploración de la tierra y de la observación de plantas, animales, minerales y objetos naturales similares. La colección botánica (fig. 2.7) tallada en las paredes de un templo egipcio, en 1450, fue traída de Siria por el Faraón Tutmés III. ¿Era la curiosidad el único motivo para coleccionar especímenes de plantas raras?

Los dibujos de plantas de la farmacopea china de 1600 son meticulosos y perfectamente reconocibles. El dibujo

del extremo superior derecho corresponde a *Artemisia alba*, recomendada como un específico contra los gusanos intestinales. La medicina «moderna» ha confirmado siempre la eficacia de esta planta medicinal para este propósito. La botánica sistemática empieza, por lo tanto, como en el «herbario» medieval, a partir de la técnica prác-

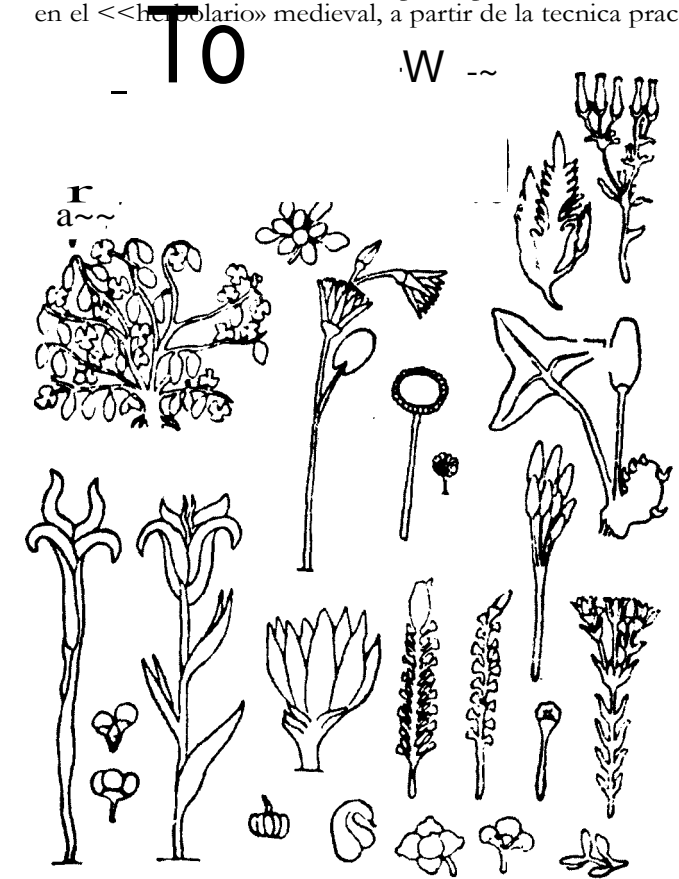


Fig. 2.7. Una antigua colección botánica. Plantas y semillas raras traídas de Siria por Tutmés III. Bajorrelieves de las paredes del templo de Karnak, Egipto, alrededor de 1450 a. C.

tiquisima de la farmacopea medica: el medico necesita reconocer exactamente las plantas con las cuales elabora sus remedios. Los primeros jardines botanicos obedecian originalmente al proposito de obtener las materias basicas para la preparacion de medicinas, pero pronto quedo demostrado su valor como colecciones de plantas que podian por si mismas ser objeto de estudio. Una disciplina cientifica surgio de una tecnologia util.

#### *Los fundamentos de la ciencia moderna*

Si estuviera tratando de escribir un esquema de historia de la ciencia, empezaria en este momento por hablar del espiritu del Renacimiento, del nuevo humanismo, de la filosofia de Francis Bacon (1561-1626) y del surgimiento del metodo experimental en oposicion al aprendizaje libresco de la escolastica medieval. Pero esta historia es demasiado conocida, en diferentes versiones contrapuestas, para repetirla aqui. La pregunta se plantea asi: ¿Cuanto estuvo relacionada con las tecnicas y tecnologia de su epoca, la moderna filosofia natural del siglo xvii?

No hay duda de que los fundadores de la *Royal Society* (Sociedad Real) desearon aplicar su nueva manera de pensar al mejoramiento de las artes practicas. Como to muestran los influjos economicos y sociales en la investigacion publicada (Tabla 2.1), los <<filosofos>> y los <<sabios> del

TABLA 2.1

*Resumen de datos sobre el agrado aproximado de influjo social y economico en la selección de problemas cientificos hecha por los miembros de la Royal Society de Londres*

Ciencia pura	41%
Mineria	21%
Transporte maritimo	16%
Tecnologia militar	11%
Industria textil	3%
Tecnologia en general y agricultura	8%

<sup>1</sup> Tornado de R. K. Merton, *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England* (Ciencia, tecnologia y sociedad en la Inglaterra del siglo xvii), Nueva York, Howard Fertig, 1970.

siglo xvii se interesaban muy activamente en toda suerte de proyectos de este tipo, en los asuntos militares, navales, industriales y agricolas. Pero encontraron el camino mas escarpado de lo que esperaban: poco produjeron esos esfuerzos, si se exceptua la astronomia y la mecanica, que ya se basaban en una sana teoria. Como veremos en capitulos posteriores, la tarea de dar una base <cientifica>> a una tecnica bien desarrollada es mucho mas dificil de lo que parece a primera vista. La nueva filosofia tuvo logros mas importantes y duraderos, por ejemplo, en la sintesis newtoniana de la fisica matematica o en el descubrimiento del mundo microscopico de la biologia.

#### *El telescopio*

Recordemos, sin embargo, uno de los mas famosos experimentos de ciencia <<pura>> de ese tiempo: Newton dio cuenta, en una carta (fig. 2.8) del descubrimiento de la

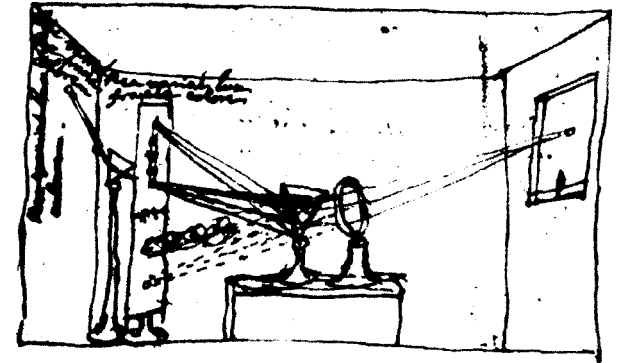


Fig. 2.8. Experimento del prisma de Newton.

naturaleza compuesta de la luz blanca: un rayo de sol que entra por el agujero hecho en una ventana tapada, se hace pasar a traves de una lente y un prisma que lo

esparce en arco iris sobre la pared. ~COmo se relaciona esta investigacion <<pura>> con la tecnologia?

El mi a<sup>2-9</sup> 1671, primer telescopio (fig. ), p edecesor de la mayor parte de nues-

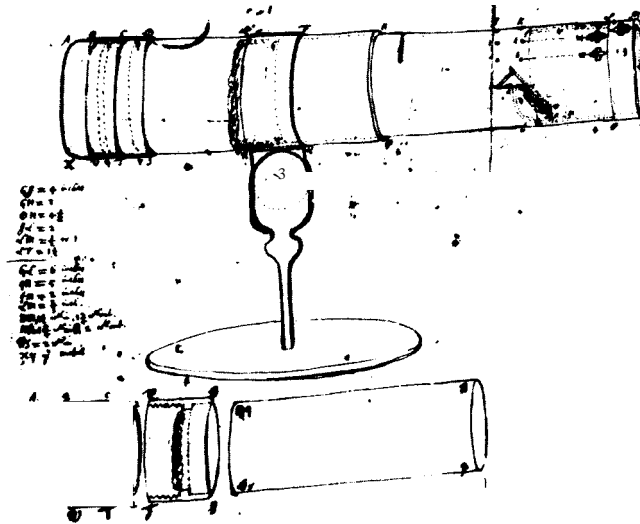


Fig. 2.9. Telescopio de reflexi6n de Newton. Su propio dibujo.

tros modernos telescopios astronomicos. Por aquel entonces, el telescopio era bien conocido como instrumento cientffico. Se ha dicho que fue inventado, mas o menos accidentalmente, en '1608, por Lippershay, un holandés que fabricaba anteojos. Galileo (1564-1642) se apodero inmediatamente de este <<curioso juguete>>, mejoro en gran medida el diseno y lo empleo para transformar la astronomfa. Pero, a pesar de mejoramientos posteriores (basados en las teorfas opticas de Kepler (1571-1630), los primeros telescopios del siglo xvii no tuvieron gran aplicacion practica. El problema estaba en que un sistema simple de lentes sufre muy severamente de la <<aberracion cromatica>> que producen las diferencias de refraccion de

la luz de diversos colores. El instrumento debfa ser demasiado largo y de muy estrecho campo de vision. El experimento del arco iris puso de relieve la causa de las dificultades y Newton fue asi capaz de superarla usando la reflexion en espejos curvos en lugar de la refraccion a traves de lentes. Los telescopios de reflexion no llegaron, de hecho, a ser de use comun; pero, a finales del siglo, mediante el metodo de prueba por errores de los fabricantes comerciantes y la aplicacion de los principios teoricos de la optica, se produjo instrumentos que podfan emplearse, con cierto exito, en la guerra por tierra y mar. En unas cuantas decadas (1731), encontramos un telescopio compacto incorporado al octante de Hadley, instrumento de navegacion muy preciso, con una exactitud cercana a una fraccion de grado. El comercio internacional se beneficio enormemente con este aparato que permitfa encontrar la ruta en los oceans con un margen de error de una o dos millas, mientras que antes podia haber errores de cientos de millas al establecer la proximidad a tierra.

Pasaron 120 anos desde que se invento el telescopio hasta que llego a tener un use practico significativo. Durante esta larga gestacion, habfa estado en manos de los cientfficos puros antes de pasar a ser domino del diseno matematico racional. La historia de otras aportaciones a la tecnica de la navegacion -tablas astronomicas, logaritmos, descubrimiento de la longitud, cronometro- esta formada de muchas secuencias similares de pollos cientfficos y huevos tecnologicos.

#### La energia vapdrica

La introduccion de la energfa vaporica, a lo largo de un perfodo de 200 anos, es una historia conocida (figura 2.10). Hasta mediados del siglo xIx, este desarrollo tlcnico -el mas importante de toda la historia de la moderna civilizaci6n industrial- tuvo lugar sin apenas ayuda de la ciencia «pura». El incentivo original fue

estrictamente comercial e industrial: resolver el problema técnico de extraer el agua de las minas. La única contribución importante de la teoría fue el invento del James Watt (1769-1819), que había sido profesor auxiliar de Joseph Black (1733-1800), profesor de filosofía natural en la Universidad de Glasgow. Las mediciones del calor latente realizadas por Black sugirieron a Watt que era importante evitar la tremenda pérdida de calor que resultaba del calentamiento y enfriamiento de la máquina de Smeaton. Aparte esto, inventores prácticos sin ninguna formación en matemáticas o física inventaron y mejoraron sucesivamente la máquina de vapor de agua. En efecto, Stephenson (1781-1848) y Trevithick (1771-1833) eran considerados << escasamente alfabetizados >> .

Sin embargo, desde el punto de vista cuantitativo, cada paso adelante representó una mejoría sustancial en la eficacia teórica (fig. 2.11). Los fabricantes de máquinas empezaron pronto a utilizar un lenguaje de simple economía y alrededor de 1800 llamarían << rendimiento >> do cada modelo a la cantidad de millones de litros de agua bombeados por kilogramos de carbón quemado en el horno. La cita más perfectamente << marxiana >> con la que me he topado en la historia de la ciencia es de Thomas Young (1807). Escribe, en efecto:

<<El trabajo diario de un caballo es igual al de cinco o seis hombres, la fuerza de una mula es igual a la de tres o cuatro hombres. El gasto para mantener un caballo es generalmente dos o tres veces mayor que el alquiler de un jornalero. Siendo esto así, la fuerza de los caballos puede estimarse en un medio menos cara que la de los hombres. Según la opinión autorizada del Sr. Boulton, un bushel (84 libras) de carbón equivale al trabajo diario de 8 1/3 hombres, o quizá más; el valor de esta cantidad de carbón es rara vez mayor que el del trabajo diario de un solo trabajador. Sin embargo, el gasto de la maquinaria hace generalmente que una máquina de vapor sea, en algo más de la mitad, más cara que el número de caballos por los que es substituida. >>

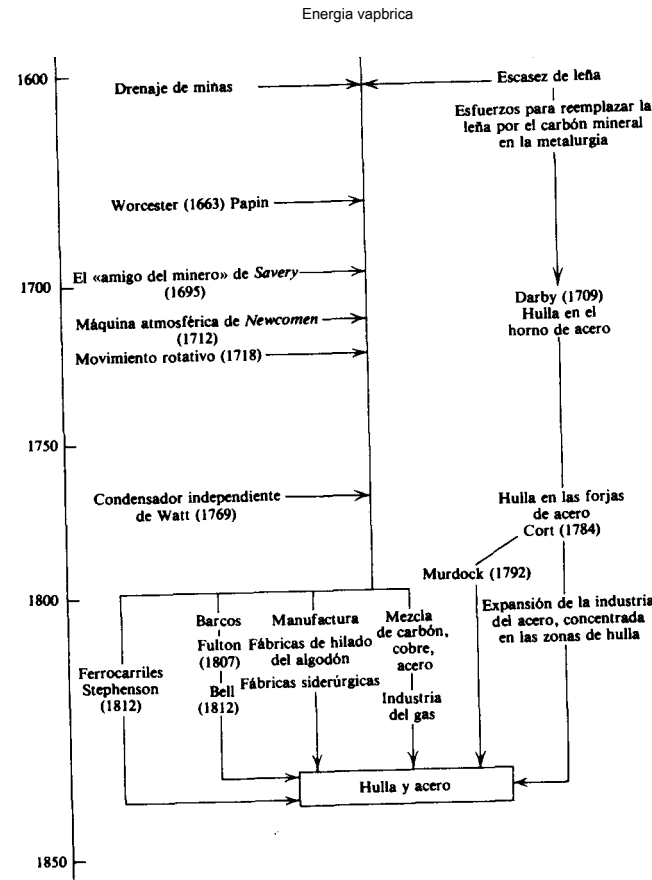


Fig. 2.10. Desarrollo de la energía vaporífica.

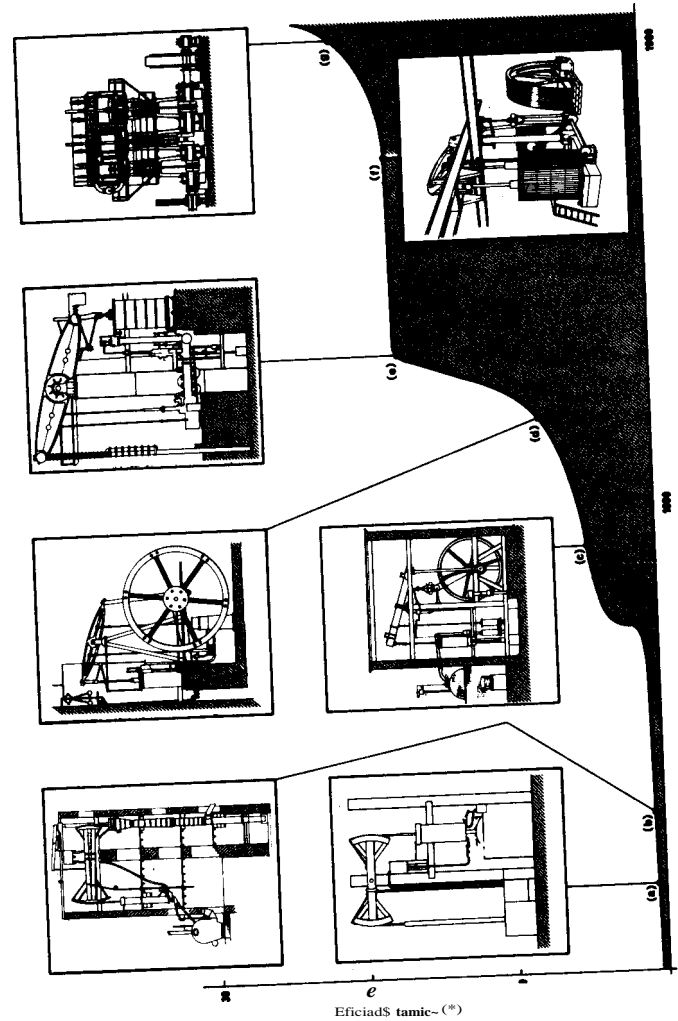


Fig. 2.11. Mejoras en la eficiencia térmica de las máquinas de vapor. Datos de Singer, et al., History of Technology (Historia de la Tecnología), Vol. IV, pág. 100.  
 (b) Smeaton (1734). Máquina de bombeo acuosa compuesta.  
 (c) Watt (1792). (d) Woolf (1818).  
 (e) Máquina de Cornwall, mejorada por Taylor (1834). (f) Máquina Kirk-Caldy (1877). (g) Máquina de expansión construida para la central eléctrica de Kiev de la Compañía Rusa de Electricidad, por Tosi de Legnano, Italia (1903).

Este tipo de cálculos cíclicos condujeron a los experimentos de joule (1818-1889) (fig. 2.12) sobre la cantidad

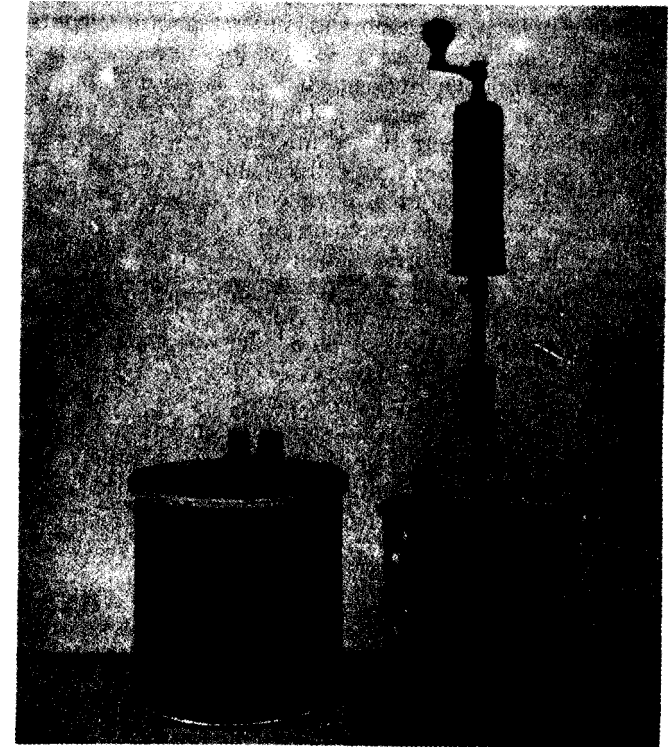


Fig. 2.12. Aparato de joule para medir el equivalente mecánico del calor.

de calor que podía producir una cantidad dada de trabajo y de estos, alrededor de 1850, a la formulación de la primera ley de la termodinámica: el principio de la conservación de la energía. Científicos especialistas en



matemáticas y física aplicadas, como Lagrange (1736-1813) y Laplace (1749-1827) hubieran podido, en cualquier momento del siglo anterior, derivar fociamente esta ley como simple consecuencia de las leyes de Newton sobre la dinámica; correspondió, sin embargo, a la contabilidad de costos practicada por los ingenieros sacarla a la luz como una ley fundamental de la naturaleza. De modo semejante, la segunda ley de la termodinámica emergió históricamente de las meditaciones de Sadi Carnot (1796-1832) sobre los posibles límites teóricos de la eficiencia de las máquinas térmicas. Después de 1850, la teoría general de la termodinámica podía ser empleada para diseñar mejores máquinas de vapor -aunque observemos que la máquina de dos expansiones alternativas no era, de hecho, más eficaz que su congénere de 1834. Hasta la primera mitad del siglo XIX, la máquina de vapor hizo más por la ciencia pura, que esta por la técnica de la ingeniería de la energía. Hasta finales de este siglo, el diseño termodinámico racional no pudo mejorarse tomando como base la experiencia, la prueba por errores y la invención intuitiva en este campo de la tecnología.

### *Electromagnetismo*

Consideremos, por otro lado, la historia del electromagnetismo. En 1820, en el curso de una lección universitaria para demostrar las propiedades peculiares de la corriente eléctrica, Oersted (1777-1851) descubrió que una corriente estable producía un campo magnético (figura 2.13). Pocos meses después Schweigger (1779-1857) había diseñado un *galvanómetro* sencillo para medir la corriente, que fue la base de muchas propuestas para construir un sistema de telegrafía eléctrica. Este diseño de Schilling (1786-1837) (fig. 2.14) no resultó, en 1825, comercialmente viable, pero, en 1837, varios inventores habían desarrollado independientemente sistemas prácticos. Se trata, pues, de un caso claro de un



*Fig. 2.13* Dando una clase a un grupo selecto de estudiantes, la primera vez de 1820, Oersted se dio cuenta que la aguja de una brújula próxima se desviaba cuando el circuito de una pila voltaica se completaba. El 21 de Julio, fue anunciado el descubrimiento del electromagnetismo.

descubrimiento imprevisto en el campo de la «filosofía natural», aplicado a un uso socialmente útil. Un intervalo de 17 años transcurre entre un descubrimiento de investigación fundamental y su aplicación técnica real, que no es excesivamente largo para tiempos de paz. Una nueva tecnología de cables y bobinas, baterías e interruptores debía crearse: se debía diseñar y construir nuevos equipos y formar nuevos técnicos. Toma tiempo pasar de la escala de laboratorio a la escala industrial y del

estilo experimental al estilo de pensamiento usual en ingeniería.

En el caso de la inducción electromagnética, el intervalo entre el descubrimiento científico y su completa

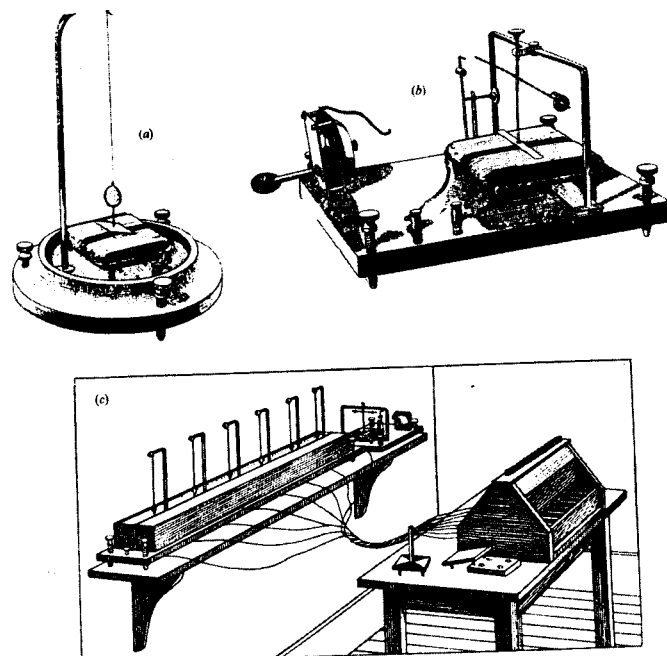


Fig. 2.14. *Telegrafo de Schilling, alrededor de 1825: (a) indicador, (b) mecanismo de alarma, (c) instalación completa.*

aplicación fue algo más largo. Faraday (1791-1867), epítome del científico puro, estaba interesado en estudiar la relación fundamental entre electricidad y magnetismo. En 1831, descubrió en el transcurso de una serie de investigaciones preestablecidas, con aparatos muy simples, que el movimiento de un imán cerca de un cable <<induce>> una corriente eléctrica. Inmediatamente ideó un < mag-

neto>> -versión primitiva de un generador eléctrico, que transforma la energía mecánica en electricidad en una moderna central eléctrica. En 1833, Hippolyte Pixii construyó efectivamente en París una central. Sin embargo, esta maquinaria fue utilizada principalmente para fines <<medicos>>: se creía, en efecto, que los shocks que produce la corriente alterna de un <<fluido eléctrico>> eran saludables. Hasta cerca de 1860, los grandes generadores eléctricos que alimentarían las lámparas de arco voltaico de uso doméstico, no fueron construidos. Las primeras centrales públicas de energía no fueron construidas hasta los años 1880, después de que se inventó la bombilla de luz eléctrica. Tenemos, pues, un intervalo de 50 años entre un descubrimiento científico básico y su explotación técnica a gran escala. En este intervalo, físicos académicos, como Maxwell (1831-1879), desarrollaron plenamente las leyes fundamentales de la electricidad y del magnetismo y dejaron expedita la vía para la invención de la radio a finales del siglo. Por lo tanto, en el caso del electromagnetismo, la teoría iba por delante de la práctica: se dio primero el paso científico que no fue útil para las necesidades sociales ni para las técnicas prácticas.

#### *Cultivo de plantas y genética*

Finalmente consideremos el caso de la técnica del cultivo de plantas y cría de animales, arte tan viejo como la civilización misma. No es fácil juzgar, al leer las descripciones de un catálogo moderno, si las variedades de melón incluidas en él, son superiores a las que se anunciaban en 1873. En efecto, algunas de estas variedades que se ofrecen a la venta con términos rimbombantes, son simplemente un mejoramiento modesto, bajo nombres fantásticos, de cepas establecidas largo tiempo atrás. En la horticultura doméstica ordinaria, las mejoras introducidas en los pasados 150 años son difícilmente más impresionantes que las alcanzadas en la época anterior de 1600

a 1800, durante la cual el cultivo comercial de plantas llego a set una profesion reconocida.

Las tecnicas para cria de animales, de modo similar, no hicieron grandes progresos en el mismo periodo, aproximadamente hasta la ultima decada. En 1820, los metodos basicos de hibridacion experimental al azar habian sido



Fig. 2.15. *Pichones de Darwin. Pouter ingles. Tornado de Darwin.* Variation of Animals and Plants under domestication (*Variación de animales y plantas bajo domestication*), vol. I, fig. 18, Londres, Murray, 1868.

perfeccionados de manera empirica para fijar una nueva raza tras una seleccion cuidadosa de las cualidades deseadas. Se fue acumulando un conocimiento detallado que se referia, por ejemplo, a las reglas de polinizacion de las manzanas o a las caracteristicas tipicas heredadas por linea masculina o femenina -especie de tradiciones peculiares que seguirla aun ahora el tataranieto del fundador victoriano de la empresa, en su laborioso programa de cultivo, mediante prueba por errores, para producir una nueva rosa o coliflor.

Recuerdese, sin embargo, que la experiencia practica de los criadores de animales y de los cultivadores de plantas tuvo, a principios del siglo xix, sus consecuencias cientificas teoricas. Un activo periodo de observacion y especulacion acerca de los mecanismos de la herencia culminaron en las revoluciones del pensamiento que asociamos con Darwin (1809-1882) y Mendel (1822-1884). Darwin mismo experimento con la cria de pichones (figura 2.15) y se dio cuenta de que la gama de variaciones dentro de las poblaciones naturales era un factor clave en la tasa de evolucion de nuevas especies. De las observaciones numericas de Mendel sobre la herencia de caracteres especificos en los guisantes (fig. 2.16) provino la totalidad de nuestra moderna ciencia genetica, que actualmente es casi tan analitica y matematicamente refinada como la fisica teorica. Desde los años 1950, el descubrimiento de la estructura molecular del ADN y del codigo genético ha dado a esta teoria su fundamento material. Se trata de una ciencia pura en la cima maxima de sutileza y refinamiento, intelectualmente irresistible.

Pero hasta hace muy poco tiempo, esta revolucion del conocimiento no tuvo mucho efecto en las tecnicas practicas. Ocasionalmente, en los laboratorios y universidades con investigacion agricola, podia uno encontrar cultivadores de plantas que tuviesen un conocimiento suficiente de la genetica mendeliana y suficiente habilidad practica para unir la ciencia con la tecnica. Esto fue un factor importante en la larga investigacion emprendida para obtener un nuevo tipo de maiz con vigor hibrido. Cuando

este fue introducido, por los años treinta, en el cinturón de maíz de los Estados Unidos, produjo abundantes cosechas (vease fig. 289). Hablando en general, sin embargo, el cultivo de plantas se sirvió directamente de la

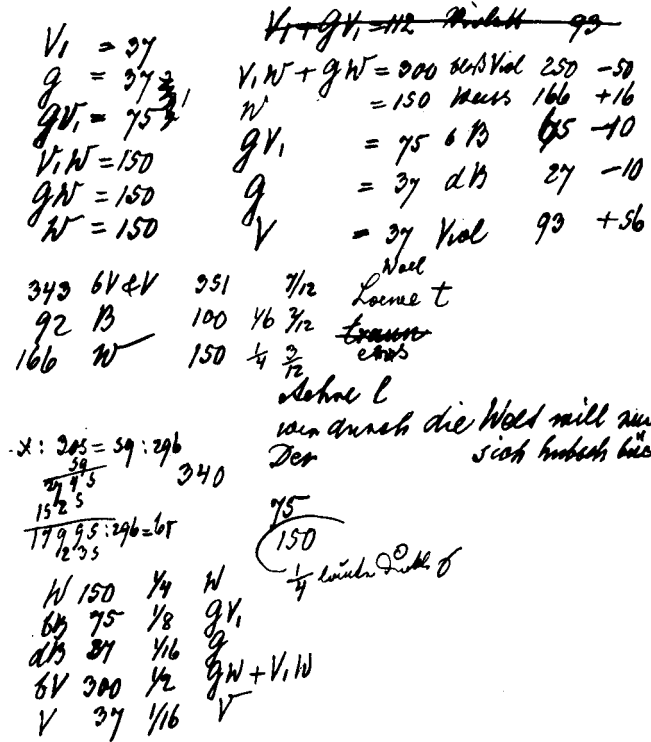


Fig. 2.16. Mendel: unico registro conservado de los experimentos de Mendel, conocido como <<Notizblatt>>. Segun R. A. Fisher, se refiere al fenomeno de la epistasis recesiva en Phaseolus.

teoria genetica, si bien en pequenas dosis. (Este hecho fue clave para el encumbramiento del charlatan T. D. Lysenko al poder dictatorial sobre la genetica teorica y practica en la Union Sovietica, durante la era staliniana). Solo en

los ultimos años, la <<ingenieria>> de nuevas y valiosas combinaciones de cualidades, como el <<enanismo>> o la resistencia a hongos en los cereales comerciales, han utilizado procedimientos deliberados, basados en el estudio detallado de la constitucion genetica de variedades diversas. La <<Revolucion Verde>> es una consecuencia directa de esta revolucion tecnologica -y puede ser solo el comienzo de un proceso de transformacion biologica del hombre y de su medio ambiente. En casi un siglo, de 1850 en adelante, hemos visto como la ciencia genetica basica se separa de las tecnicas afines e hila alrededor de si misma un capullo de experimentacion academica y teoria abstracta. Ahora bien, en nuestro tiempo, esta disciplina ha vuelto a nacer al mundo de la practica y esti generando una nueva tecnologia para el cultivo de plantas y la crfa de animales, con una prediccion y un poder superiores.

Practica y teoria

Se han elaborado muchas teorfas generales que se refieren a las relaciones historicas entre ciencia y tecnologia. Los ejemplos presentados no se conforman, en mi opinion, con ningun modelo teorico unico. A veces, una tecnica precede a una ciencia; otras, una tecnologia nueva se desarrolla a partir de una serie de descubrimientos que tuvieron por motivo una simple curiosidad. Algunas tecnicas se desarrollan en intima conexion con ciencias puras paralelas; en otros casos, la practica y la teoria pueden vivir por muchos años separada e independientemente, hasta combinarse de un modo fructifero. Segun Popper, el conocimiento cientffico se desarrolla buscando pruebas que demuestran la falsedad de ciertas hipotesis propuestas; en este capftulo, hemos presentado pruebas suficientes para demostrar la falsedad de casi todas las hipotesis simplistas acerca de la necesidad historica. Lo

que quizá podamos aprender es que la historia de la ciencia y la tecnología es suficientemente rica y diversa para que pueda resumirse en una fórmula abstracta. Los ejemplos que he elegido, no son más diferentes en su estructura histórica y sociológica que otros casos que pueden fácilmente encontrarse con una pequeña investigación personal.

*Un monarca puede, con una sola palabra, hacer surgir un palacio de una pradera; pero una sociedad de literatos no es lo mismo que una cuadrilla de peones excavadores.*

DIDEROT

Para entender la relación entre <<ciencia>> y <<sociedad\*>, necesitamos saber algo acerca de la posición del *científico* en la comunidad general. ~ Quien es? | Que acciones se espera que realice? ~A que grupo social, rango, clase, organización o institución pertenece?

Aquí otra vez necesitamos poseer cierto sentido histórico. El *crob* social del científico ha evolucionado a lo largo de un período plurisecular y algunas instituciones de la comunidad científica son realmente muy antiguas. Muchas universidades europeas, por ejemplo, son tan antiguas como cualquiera de nuestras organizaciones políticas y religiosas, y las academias científicas mucho más antiguas que cualquiera de nuestras corporaciones industriales.

Pero la tarea de describir las vidas de los científicos de forma detallada estaría fuera de nuestro propósito. Fueron personas muy *individualizadas*, que dejaron frecuentemente pilas de materiales acerca de sí mismos y de sus descubrimientos. Un intelectual moderno puede dedicar su vida entera al trabajo de desenterrar las joyas

que deben ocultarse en los documentos de un Newton o de un Faraday. Yo escogere simplemente tres fechas -1670, 1770 y 1870- e intentare pasar revista a algunos científicos típicos (si bien no muy famosos) que ejercieron su actividad en esos tiempos. Un siglo -periodo un poco más largo que el tiempo de vida de un individuo- es un buen intervalo de tiempo para observar los cambios sociales reales. En este capítulo no hablare de su trabajo de investigación como tal; tratare más bien de describirlos como podría haberlo hecho alguno de sus contemporáneos comunes y corrientes. Veremos también el proceso a través del cual llegaron a organizarse en grupos más autoconscientes para formar una *comunidad científica* dentro de la sociedad de su tiempo. Esto será el telón de fondo para el estudio que haremos, en capítulos posteriores, acerca de la posición del científico en el mundo contemporáneo.

#### *Científicos del siglo xvii*

Robert Boyle (1627-1691) es famoso por sus descubrimientos en el campo de la física de los gases y por su tratado de química, *The Sceptical Chymist* (*El químico esceptico*). Fue el decimocuarto hijo del conde de Cork y vivió toda su vida al estilo aristocrático de su tiempo. Puede verse una esquina de su enorme mansión en este diagrama de su famoso experimento (fig. 3.1). Ha sido llamado «padre de la química y "itio del vizconde de Cork! "». Fue niño prodigio y académico brillante que consagró sus últimos años a la defensa intelectual de la cristiandad.

Marcello Malpighi (1628-1694) ha sido llamado «padre de la microscopia» por sus numerosas investigaciones anatómicas y botánicas con el microscopio que acababa de ser inventado (fig. 3.2). Tuvo formación modica y pasó gran parte de su vida como profesor de medicina en la Universidad de Bolonia, hasta que fue nombrado médico privado del papa Inocencio XII, en 1691. En ese

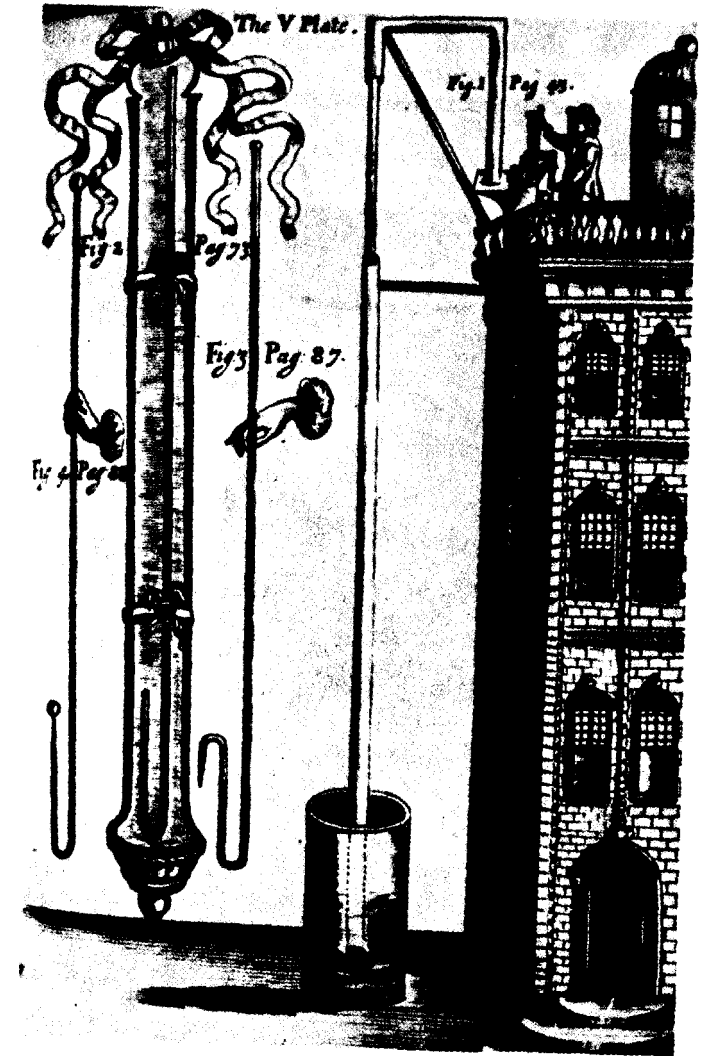


Fig. 3.1. R. Boyle, *A Continuation of New Experiments Physico-Mechanical touching the Spring and Weight of the Air* (*Una continuación de los nuevos experimentos físico-mecánicos referentes a la elasticidad y peso del aire*), Oxford, 1669.

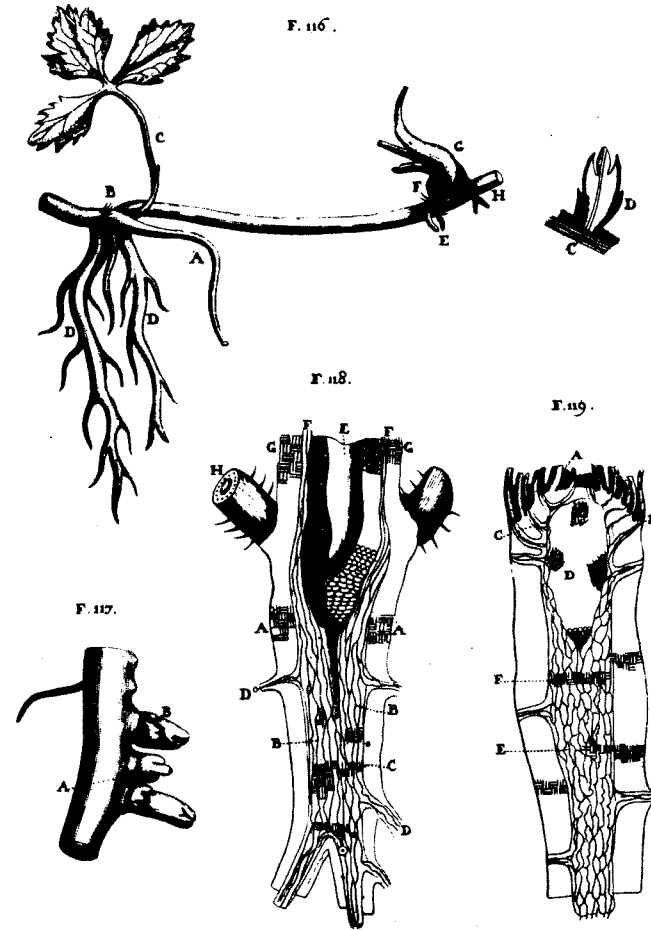


Fig. 3.2. *Malpighi: estudios microscópicos de plantas.* De *Anatome Plantarum cui subjungitur Appendix heratas et auctas ejusdem Authoris de Ovo Incubato observationes continens, tab. XXX en el Apendice, Londres, John Martyn, 1675.*

periodo, Italia tenía el lideraigo científico de toda Europa; las facultades de Medicina de las universidades italianas estaban ya constituidas en centros de investigación académica (vease cap. 6).

John Ray (1628-1705), autor de uno de los primeros

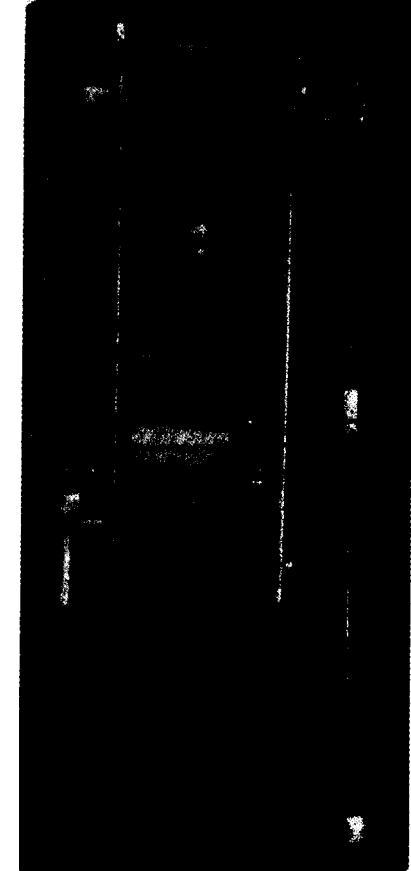


Fig. 3.3. *Reloj de Huygens. Hecho por Salomón Coster, La Haya, 1657.*

tratados sobre la clasificación sistemática de las plantas, era hijo de un herrero, que pudo estudiar en Cambridge y llegó a ser miembro directivo del *Trinity College* (Colegio de la Trinidad). En este puesto tuvo total libertad para dedicarse a la historia natural, que era su afición favorita; pero, en 1662, se le hizo dimitir por negarse a aceptar las pruebas religiosas de la Ley de Uniformidad. Afortunadamente, para entonces, contaba ya con la protección de amigos ricos y pudo continuar con sus investigaciones.

Christiaan Huygens (1629-1695) vivió en el confort de una vida aristocrática. Su padre, un distinguido diplomático, es más conocido en Holanda como poeta, que su hijo como científico. Huygens logró pronto una reputación de matemático y astrónomo, construyendo, por ejemplo, el primer reloj exacto de péndulo (fig. 3.3). En 1666, la *Académie Royale* (Academia real) de París lo recibió como miembro de número; lo cual era un puesto remunerado. Pero, en 1681, volvió a Holanda, quizá por la persecución que Luis XIV hizo sufrir a los protestantes. Nunca se casó.

Antonius Leeuwenhoek (1632-1723) es una de las figuras científicas más atractivas de su época. Era propietario de una pequeña tienda de telas. Tenía poca educación escolar, pero le apasionaba la historia natural. Con un fino globo de vidrio, que usó como lente, exploró el mundo microscópico y descubrió organismos unicelulares. La ciudad de Delft, como reconocimiento público de su fama, le nombró portero honorario del Ayuntamiento. Así Leeuwenhoek pudo dedicarse por completo a su afición. Envío innumerables informes sobre sus observaciones a la *Royal Society* de Londres. Este (fig. 3.4) es el aparato que empleó para estudiar los vasos sanguíneos en la cola de un pez vivo.

Robert Hooke (1635-1703), por otro lado, fue un hombre lleno de cualidades. Parece que su actividad principal la ejerció como supervisory arquitecto, pues fue el principal colega de Wren en la reconstrucción de Londres tras el Gran Incendio. Como auxiliar de investigación de

Boyle y, más tarde, como <<curator de experimentos>> en la *Royal Society*, pudo realizar una amplia gama de investigaciones biológicas y físicas. Su descubrimiento de las células vegetales microscópicas es tan genial como sus novedosas ideas: por ejemplo, el diseño de una arti-

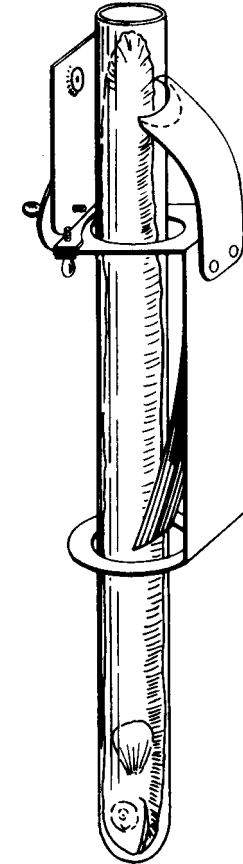


Fig. 3.4. *Circulación sanguínea en la cola de una anguila, demostrada con uno de los microscopios de Leeuwenhoek.*



culacibn universal (fig. 3.5) y un esquema para registros metereologicos regulares (fig. 3.6). Como consecuencia de sus disputas con Newton, la historia no le ha otorgado la fama de tortes, pero, en realidad, fue uno de los hombres mas inteligentes y sociales de su epoca.

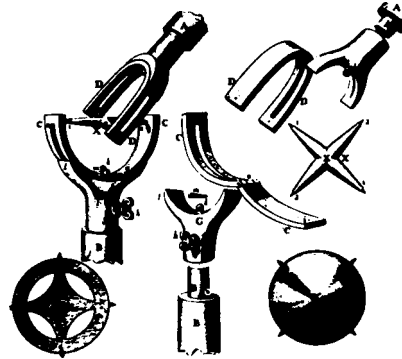


Fig. 3.5. Junta universal de Robert Hooke, alrededor de 1676.

Isaac Newton (1642-1727) no requiere presentation. Con sus proezas matematicas gang pronto un puesto en la Direction del *Trinity College* en Cambridge y pronto la cathedra de Geometria, cuyas tareas no eran demasiado exigentes. ~Que moderna cathedra de investigation podria ofrecer a un bachiller distraido y solitario una combinacion tal de comodidad domestica y libertad para proseguir con sus estudios? (Fig. 3.7). Newton era muy sensible y no toleraba las criticas, pero, tras la publicaci6n de los *Principia*, en 1687, gozo de gran fama y, en 1695, fue nombrado jefe de la Casa de Moneda donde mandb volver a acunar todas las monedas de plata. En los ultimos 25 anos de su vida, maestre de la Casa de Moneda, presidente de la *Royal Society* y honrado con el titulo de Sir Isaac, fue considerado, en Inglaterra y en Europa, uno de los hombres mas ilustres de su tiempo.

Gottfried Leibniz (1646-1716), rival de Newton como

# S C H E M E

At one View reprefting to the Eye the Observations of the Weather for a Month.

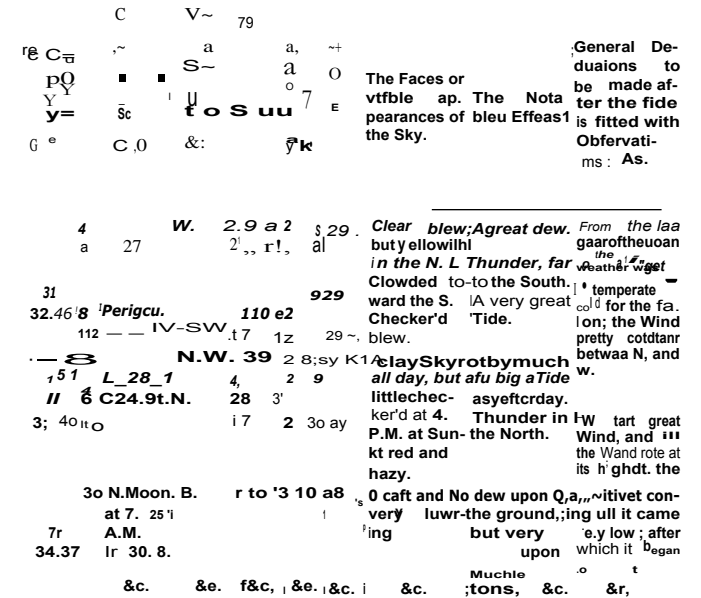


Fig. 3.6. Esquema meteoroldgico de Hooke.

inventor independiente del calculo, fue su antitesis como hombre de negocios. Nino prodigio y genio universal, desprecio las promociones meramente acadmicas para dedicarse a la diplomacia y a la alta politica. Bibliotecario de la Corte de Hannover, sirvio a los duques de Brunswick ininterrumpidamente durante 40 anos como funcionario civil y como intelectual famoso. Su maquina de

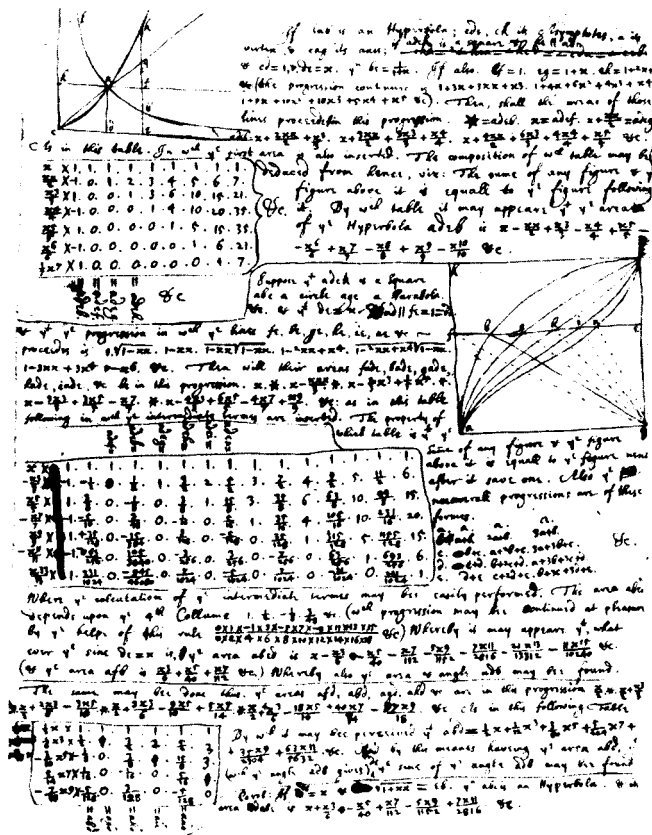


Fig. 3.7. Descubrimiento de Newton de la serie binomial por extrapolación de una sucesión, en Arithmetica de Wallis, Winter, 1664/5.

calcular (fig. 3.8) impresionó enormemente a la Royal Society, cuando visitó Londres en 1673. Sin embargo, su contribución a la filosofía sobrepasa aún su excelente trabajo matemático. A pesar de todo ello, su muerte pasó casi desapercibida para su amo que acababa de convertirse

en Jorge I de Inglaterra. Fue, al parecer, un hombre de maneras suaves, tolerante, cortés y quizás un poco demasiado astuto.

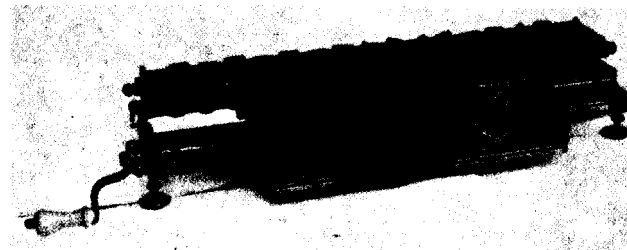


Fig. 3.8. Mquina calculadora de Leibniz.

John Flamsteed (1646-1719) fue el primer astrónomo de la Corte inglesa. Este cargo era ya costumbre secular en otros países europeos (prueba de ello, Tycho de Brahe (1546-1601) en Copenhague y Praga). Carlos II obtuvo grandes beneficios del dinero invertido en la fundación del Observatorio Real en Greenwich, en 1676. Flamsteed, de salud precaria, mal pagado, trabajo, no obstante, incansablemente para construir, por cuenta propia, instrumentos como el arco mural (fig. 3.9) y para catalogar un número inmenso de estrellas. Como muchos observadores meticulosos, no se llevo bien con los teóricos; Newton lo consideraba como un simple técnico y quiso emplear sus datos antes de que el mismo Flamsteed los hubiera reducido y comprobado.

Esta lista no pretende ser completa. Muchos otros científicos que vivieron y trabajaron en 1670, contribuyeron a la revolución científica europea. Pero, sin considerarlos, es un grupo pequeño, marginal, respecto de las fuerzas e instituciones principales de la sociedad. Cien nombres entre italianos, franceses, holandeses e ingleses serían la casi totalidad de los científicos serios de esa época. A estos debo añadir cierto número de aficionados que gustaban de jugar a la investigación: observaban a través de microscopios o telescopios, hacían colecciones

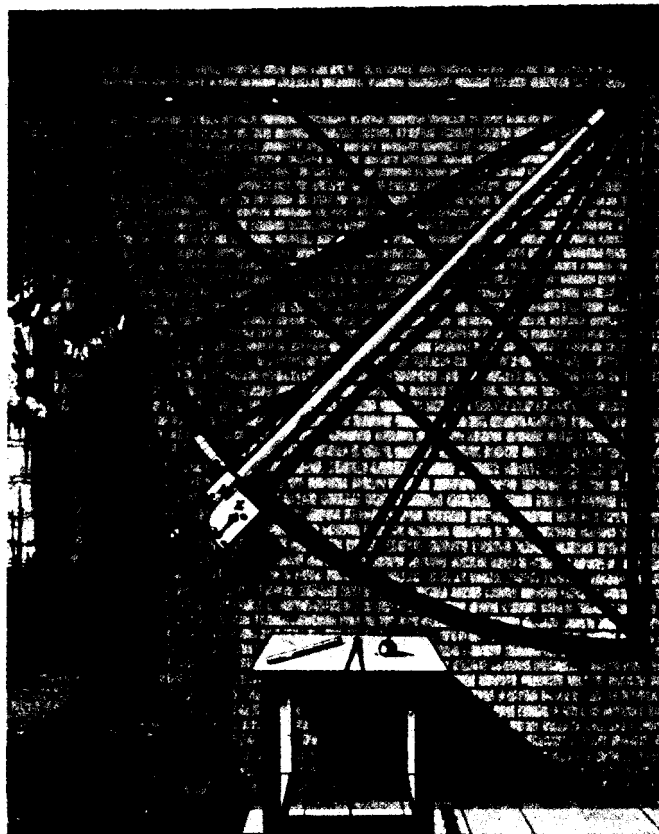


Fig. 3.9. Arco mural de Flamsteed, en Greenwich.

de plantas y conchas, realizaban vagos experimentos en agricultura o medicina.

Había muy pocos puestos de tiempo completo para la investigación profesional. Hooke y Flamsteed estaban mal retribuidos, a pesar de sus grandes logros. Lo mejor era haber nacido rico, como Boyle y Huygens, o tener la suerte de encontrar un mecenas, como Ray. Fue casi

accidental que profesores como Newton y Malpighi hicieran esplendidos descubrimientos científicos; en aquellos días, la investigación activa se esperaba del profesor universitario, tanto como actualmente del maestro de escuela básica. La filosofía natural era esencialmente una afición compulsiva, a la cual podía dedicarse un físico, un profesor, un sacerdote, un monje, un aristócrata o un tendero, tal como actualmente cualquiera puede practicar el alpinismo o jugar al ajedrez. En ese tiempo, muchos miembros de las clases media y alta disfrutaban de un ocio auténtico; la investigación era casi por entero una actividad de aficionados, de unos cuantos entusiastas bien educados o provistos de una viva curiosidad intelectual.

~Que elementos en el clima social, económico, religioso, político y/o filosófico de la Europa del siglo xvii retrajeron a tales personas de otras aficiones privadas como la excentrica teología, la poesía mística, la intriga política o los negocios para conducirlos por estos nuevos caminos de pensamiento y acción? No hay ninguna respuesta satisfactoria a esta pregunta. Algunos intelectuales se refieren al «infame» capitalismo; otros discuten el efecto del protestantismo. ¿fue un movimiento esencialmente filosófico desencadenado por el Renacimiento y la Reforma? ¿O los impulsaron nuevas técnicas como la imprenta, la minería y la navegación oceánica? Como un problema principal de historia o sociología, esta cuestión es de gran interés académico, pero cualquier respuesta plausible casi no tendría consecuencias importantes para la situación actual de la ciencia.

#### *Las academias científicas*

De esa época sin embargo, heredamos una de las instituciones más importantes de la comunidad científica: la sociedad erudita o *academia científica*. Es bastante lógico que los sabios (que más tarde fueron llamados científicos) se reunieran en pequeños clubs para hablar sobre sus investigaciones o para realizar experimentos. La pri-

mera sociedad científica propiamente constituida en Europa, fue probablemente la *Accademia dei Lincei*, fundada en Italia, en 1603, de la que fue miembro Galileo. Aunque esta academia desapareció en poco tiempo, grupos informales de científicos comenzaron a tener encuentros regulares en Oxford y en París, en los años 1640, y formaron el núcleo de la *Royal Society* de Londres (1662) y de la *Académie des Sciences* (1666).

La portada (fig. 3.11) de *History of the Royal Society* (Historia de la Real Sociedad) del obispo Sprat lo expresa del modo más conciso: el fundador es el rey Carlos II. No son nada claros los motivos que tuvo para otorgar a la Sociedad una licencia real. ¿tuvo su tío, el príncipe Ruperto, tecnólogo militar e intelectual de consideración, alguna influencia en ello? En todo caso, a Carlos II casi no le costaba nada y debió pensar que en ese momento le era útil. Lord Brouncker (1620-1684), competente matemático, fue el primer presidente y dio un toque aristocrático o todos los debates. La *Royal Society* continúa siendo parte del *Establishment* y sigue estando convenientemente relacionada con las personas más influyentes. La figura más importante de la portada representa a Francis Bacon. Notemos de nuevo que si nos ocupáramos de los orígenes filosóficos de la ciencia europea, el canciller lord Bacon (muerto en 1626) sería el eje alrededor del cual giraría todo. Sus escritos sobre la filosofía experimental, en los años 1620, dieron origen a una manera nueva de pensamiento inglés. La *Royal Society* fue considerada casi como la realización del «Palacio de Salomón» descrito en *New Atlantis* (Nueva Atlántida). Bacon argumentaba, en la más elegante prosa inglesa, que la experimentación y observación metódica llevaría infaliblemente a nuevos descubrimientos científicos y a valiosos avances técnicos. La historia no ha justificado enteramente su optimismo. Bacon, en efecto, subestimó el papel de la teoría formal y no tuvo en cuenta la dificultad que entraña mejorar los métodos prácticos existentes mediante la experimentación al azar. A pesar de todo, la *Royal Society* fue fiel al programa

implícito en la filosofía de Bacon y hacemos bien en honrar a este como el profeta del método científico.

Los encuentros de la *Royal Society* estaban realmente consagrados a la realización de experimentos. El programa que cita Sprat (fig. 3.10) (es solo un párrafo de un

*Experiments of the Propagation of Sounds through common, rarify'd, and condens'd Air : Of the congruity, or incongruity of Air, and its capacity to penetrate some Bodies, and not others : of generating Air by corrosive Mesfirrms out of fermenting Liquors, out of Water, and other Liquors, by heat, and by exhaustion : of the returning of such Air into the water again : of the vanishing of Air into water exhausted of Air : of the maintaining, and increasing a Fire by such Airs : of the fitness, and unfitness of such Air for respiration : of the use of Air in breathing.*

Experiments of keeping Creatures many hours alive, by blowing into the *Longs* with Bellows, after that all the *Thorax*, and *Abdomen* were open'd and cut away, and all the Intraills save *Heart*, and *Longs* removed : of reviving *Chickens*, after they have been strangled, by blowing into their *Lungs* : to try how long a man can live, by expiring, and inspiring again the same Air : to try whether the Air respired, might not by several means be purify'd, or renew'd to prove that it is not the heat, nor the cold of this respired Air, that chocks.

Fig. 3.10. Experimentos realizados en las reuniones de la Royal Society.

texto que tiene muchas páginas), muestra la gran variedad de experimentos. A nuestros ojos, estos son más bien absurdos; pero debemos recordar que la sabiduría convencional de aquel tiempo era un saco que contenía fragmentos de cuentos de viejas, brujerías y dogmas heredados de Aristóteles y diversas antigüedades intelectuales. Estas investigaciones desempeñaron un papel importante en el destierro de la superstición y en el establecimiento de los simples hechos. La Sociedad era muy activa en coleccionar objetos naturales y libros, organizaba expediciones y

proporcionaba personal para realizar las encuestas oficiales y otros asuntos de utilidad.

Desde nuestro punto de vista, sin embargo, la importancia real de la *Royal Society* radica en set lugar de reunion de la comunidad científica. Los sabios ya no eran individuos aislados; pertenecian a un grupo social reconocido. Como veremos en el capitulo 5, las nuevas

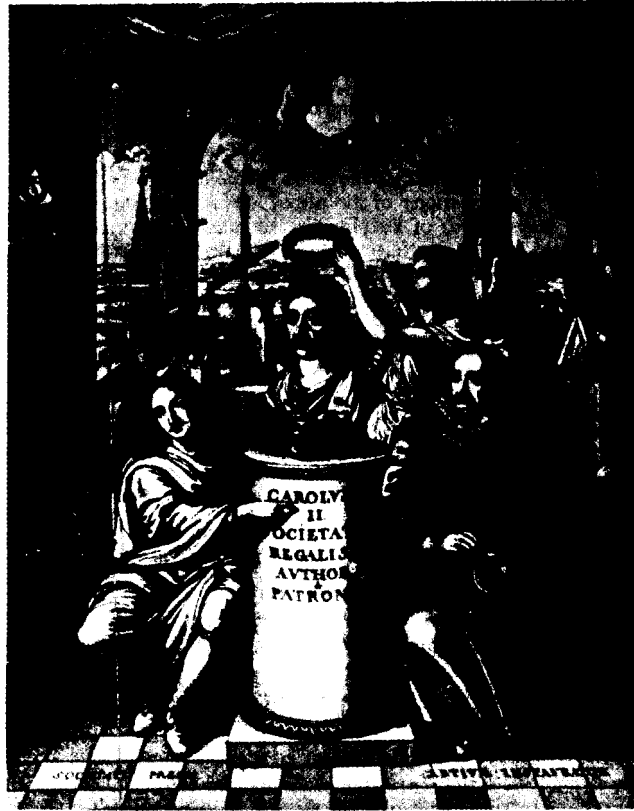


Fig. 3.11. *Thomas Sprat, History of the Royal Society. Portada de la edición de 1667.*



Fig. 3.12. *Luis XIV y Colbert caux jardins du Roy>> para una reunion de la Academie de s Sciences. Al fondo, el Observatorio de Paris en construccion. Grabado según modelo de Sebastian Leclerc.*

academias se constituyeron de inmediato en centros de comunicacion del conocimiento cientifico. Desde entonces, la ciencia puede considerarse como una actividad social *organizada*.

A pesar de su licencia real, la *Royal Society* fue, desde su fundacion, una asociacion autogobernada que se mantenía a si misma sin el poder oficial. Sus fondos nunca fueron abundantes. Como todo club privado, obtenía sus ingresos de las cuotas de sus socios, cuyo unico privilegio era el derecho de ostentar las Tetras *FRS* (Miembro de la Royal Society) despues de su nombre.

La Academia de Paris, por el contrario, tuvo un status oficial como organismo del Estado. Luis XIV, siguiendo el estilo propio de su gobierno, hizo visitas oficiales (figura 3.12), pago pensiones a sus miembros y proporciono fondos para la investigacion. Cuando la Academia fue reconstituida en 1699, se fijo un numero limitado de miembros: tres academicos a sueldo en cada uno de los siguientes campos: Geometria, Astronomia, Mecanica, Anatomia y Quimica. Cada academico pudo disponer de dos auxiliares y un alumno, acorde con el autentico espiritu aristocratico y burocratico. La *Academie des Sciences*, por lo tanto, era mas semejante a una institucion de investigacion gubernamental, que su contemporanea inglesa. La Academia de Berlin, organizada en 1700 por Leibniz, que fue su primer presidente, siguio una pauta similar. Esta diferencia entre los estilos ingles y continental en la organizacion de la ciencia -reflejo de la diferencia entre un gobierno parlamentario y otro autocrático- persiste todavia despues de 300 años. Sin embargo, el importante principio de que los nuevos academicos fueran elegidos por los miembros existentes, fue establecido desde el comienzo.

### *Científicos del siglo XVIII*

La lista de los científicos (tabla 3.1) activos en 1770, aunque muy incompleta, es demasiado larga para estu-

TABLA 3.1  
*Lista de los «filósofos de la naturaleza»*

Bernouilli (D)	1700-1782	Matemáticas	Suizo	Impresor
Franklin	1706-1790	Electricidad	Americano	Profesor
Linneo	1707-1778	Historia Natural	Sueco	Académico
Euler	1707-1783	Matemáticas	Suizo	Medios propios
Buffon	1707-1788	Historia Natural	Francés	Médico
Darwin (Erasmus)	1731-1802	Historia Natural	Inglés	Médico
Haller	1708-1777	Fisiología	Suizo	Fabricante
Hutton	1726-1797	Geología	Escocés	Profesor
Black	1728-1799	Química	Escocés	Sacerdote
Spallanzani	1729-1799	Fisiología	Italiano	Tutor
Messier	1730-1817	Astronomía	Francés	Noble
Lambert	1728-1777	Matemáticas	Alemán	Ministro unitario
Cavendish	1731-1810	Física	Inglés	Charlatán
Priestley	1733-1804	Química	Inglés	Académico
Mesmer	1734-1815	Psicología	Austríaco	Ingeniero
Lagrange	1736-1813	Matemáticas	Francés	Profesor
Coulomb	1736-1806	Física	Francés	Académico
Galvani	1737-1798	Anatomía	Italiano	Profesor de Música
Wolff	1733-1794	Embriología	Alemán	Farmacéutico
Herschel	1738-1822	Astronomía	Inglés	Medios propios
Scheele	1742-1786	Química	Sueco	Sacerdote
Banks	1743-1820	Botánica	Inglés	Financiero
Häuy	1743-1822	Mineralogía	Francés	
Lavoisier	1743-1794	Química	Francés	

diarla en detalle. La comunidad científica en Europa habia crecido constantemente a lo largo del siglo, no solo en numero, sino en extension, pues habia difundido la ciencia en paises como Suiza, Suecia, Escocia y Estados Unidos. El internacionalismo de la ciencia del siglo xviii es patente, si estudiamos las biografias de hombres como Lagrange, que trabajo tanto para la Academia de Berlin como para la de Paris, y de Euler, que fue, de hecho, el pilar de la Academia Imperial de Ciencias de San Petesburgo, que, en 1725, establecio Catalina la Grande, segun el modelo frances. Esta institucion, aunque muy distinguida y de gran significacion para la cultura rusa, estaba casi completamente regentada por un personal que no era ruso, bien retribuido para servir a un gobierno extranjero. La analogia con los refugiados alemanes que, despues de 1930, contribuyeron en tan gran medida a las ciencias inglesa y americana, no es muy correcta; pero el principio de que el conocimiento cientifico no reconoce fronteras, no es nuevo.

Es notable la continuidad de las organizaciones cientificas a traves de revoluciones politicas. La Academia Imperial rusa fue un cuerpo de trabajadores profesionales de la investigacion, mds o menos independiente de las universidades; el modern academico sovietico no es solo un cientifico distinguido, sino el director a sueldo del laboratorio de investigacion que estd bajo el control de la Academia. En la Union Sovietica y en los paises de Europa Oriental que han adoptado el modelo sovietico, las universidades son primariamente instituciones de enseianza, con recursos minimos para la investigacion. ¿Puede esto interpretarse como un reflejo de un sistema de gobierno mds centralizado y racionalizado propio de los paises comunistas? ¿O es la diferencia con la prdctica de los paises occidentales un mero resultado de la evolucion historica de un modelo tradicional de cada gran país?

Por aquel tiempo, la *Royal Society* (fig. 3.13) habia degenerado en una especie de club de moda, abierto en general a personajes distinguidos sin ningun interes cien-

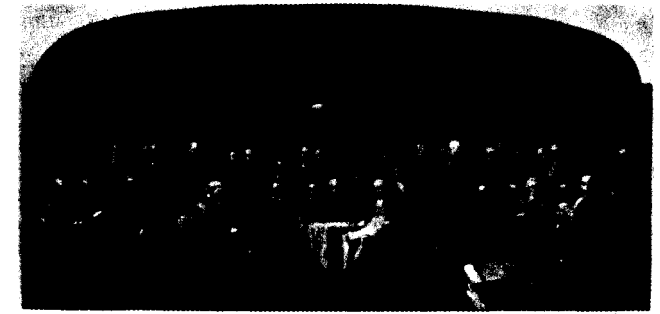


Fig. 3.13. *Hombres de ciencia vivos en 1807-1808. Grabado de W. Walker y G. Zobel.*

tifico. Por ejemplo, ¿que aportacion pudo hacer lord Byron en las reuniones de eruditos? William Smith (1769-1839), cuyas observaciones de los estratos geologicos, y sus mapas fueron la base de toda investigacion geologica, fue solo un inspector de canales. Sir Joseph Banks (1743-1820), presidente de la *Royal Society*, lo ayudo economicamente; pero Smith nunca llego a acreditar suficiente nobleza para ser elegido miembro de la *Royal Society*. Banks ganó renombre de botdnico en el viaje de James Cook a los Mares del Sur, en 1768 -expedicion que organizo la *Royal Society* para el Gobierno britdnico-, pero no hay que olvidar que era tambien un hombre extremadamente rico (vease p. 116).

Ademds de los academicos, la comunidad cientifica de 1770 incluia cierto numero de profesores universitarios. Algunos, como Linneo, Black, Galvani, ensenaron efectivamente las materias sobre las que investigaron. Pero los cursos de la mayor parte de las universidades europeas estaban aun organizados segun el modelo medieval que hace hincapie en la Teologia, los Cldsicos y la Filosofia, con las escuelas profesionales de Derecho y Medicina. Una ctedra de Matemdicas, Historia Natural o Anatomia podia dar un apoyo adecnado a un posible intelectual lleno de originalidad, pero habia muy poco



aliciente para la investigación científica. De modo similar, la mayor parte de las universidades españolas reclutan aun hoy sus profesores eligiéndolos por su habilidad en aprobar exámenes y por otras aptitudes sociales menos importantes, sin considerar su capacidad para la investigación, y espera de ellos, a la larga, que se dediquen a enseñar materias cuya permanencia e importancia continuadas se acepta sin discusión.

Al finalizar el siglo xviii, la ciencia era ampliamente respetada y oficialmente alentada. Sin embargo, la mayoría de los científicos en activo eran todavía aficionados que contaban con otros medios de subsistencia. Era una época de relativa paz y prosperidad, en la que la vida placentera de la nobleza y de algunos profesionales, como doctores y clérigos, daba facilidades y tiempo para la investigación privada. Jugar a los experimentos químicos o eléctricos, leer una o dos obras de divulgación científica, asistir a una *conversazione* en la *Royal Society*, eran aficiones de moda, acordes con la opinión pública en la «era de la ilustración». Fue también una época de grandes avances técnicos en ingeniería e industria, pero este mundo era diferente y estaba escasamente relacionado con el reino de la filosofía natural.

#### La ciencia en el siglo xix

En 1870, la comunidad científica se había transformado bastante. En este siglo, la ciencia se *academizó* totalmente.

La ciencia había crecido mucho. Es difícil estimar la cantidad real de personas que contribuían seriamente a la ciencia en la última mitad del siglo xix, pero debió ascender a muchos miles. Ya no podemos esperar que sean completas las listas de científicos famosos en las historias y bibliografías. Esta es una conclusión obvia del cómputo de revistas científicas que hace Derek de Solla Price (fig. 3.14). Si, en efecto, había aproximadamente 5.000 ó 10.000 revistas eruditas en 1870, debe,

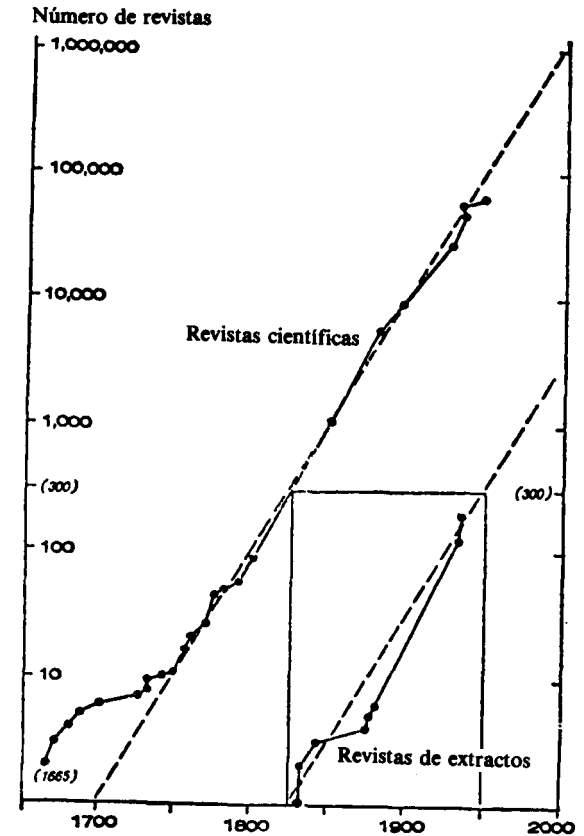


Fig. 3.14. Número total de las revistas científicas y de extractos fundadas, en función de la fecha. Observemos que las revistas de extractos empiezan cuando el número de revistas llega a cerca de 300. Las cifras consignadas se refieren más bien a las revistas nuevas, que a las antiguas que habían sobrevivido; a todas las revistas periódicas algo «científicas», más bien que a las revistas estrictamente científicas\*. Definiciones más rigurosas reducen la cantidad en números absolutos, pero la tendencia general permanece constante en todas las definiciones.

entonces, con seguridad, haber habido por lo menos el mismo número entre lectores y suscriptores.

Esta curva, que muestra el crecimiento de la actividad científica en los tres últimos siglos, es uno de los hechos cuantitativos más importantes presentados en este libro. Expresado en logaritmos, encaja muy bien en una ley simple: <<el "tamaño" de la ciencia aumenta al doble ininterrumpidamente en periodos de 15 años>>. Esto implica un exponente de 100 para cada siglo. Por un trabajo científico o por un científico individual en 1670, hubo 100, en 1770; 10.000, en 1870 y 1.000.000 en 1970. La extrapolación al pasado no es muy exacta y presenta fluctuaciones en la curva principal, pero la descripción general -con todas sus implicaciones- es correcta. Queda por ver si en 2070 haya 100.000.000 de científicos y 10.000.000.000, en 2170. En todo caso, la expansión rápida y uniforme que viene del pasado al presente, es un hecho significativo con el que hay que contar.

En este momento, es imposible presentar una lista de nombres para una discusión concreta. Tenemos que disponer de análisis estadísticos acerca del status profesional o social de los científicos en activo durante el siglo pasado, pero, hasta ahora, nadie ha hecho el esfuerzo de hacer un cómputo pormenorizado.

#### *Academización*

Es bastante claro que la ciencia se había trasladado, con armas y bagaje, a las universidades. La mayoría de las personas que hacían alguna aportación a la ciencia pura, se dedicaban al trabajo académico: eran profesores o aspirantes al profesorado. Unos cuantos aficionados con recursos económicos, como Fizeau (1819-1896) y Darwin pudieron continuar independientemente cultivando sus aficiones; Mendel, por su parte, como es bien sabido, era monje. En medicina, sin embargo, no era insolito que un médico experimentara con nuevas técnicas científicas y también hubo, por supuesto, un pequeño

número de funcionarios que el Gobierno empleaba como especialistas en astronomía, geología, agronomía. Pero decir que un hombre era un «científico» (la palabra la inventó realmente William Whewell, en 1840), implicaba casi automáticamente que tenía un cargo académico.

~Que hacían estos profesores de Física, Química, Zoología? En Inglaterra, se dedicaban a la docencia, en las nuevas universidades que habían empezado a ofrecer títulos científicos. Hasta alrededor de 1850, no era posible recibir una formación regular en las ciencias experimentales. Un joven rico podía adquirir conocimientos superficiales asistiendo a lecciones especiales en las antiguas universidades; un joven pobre, como Miguel Faraday, solo podía ingresar en la profesión científica sometiendo a un período de aprendizaje (1813) como ayudante de laboratorio. Faraday tuvo suerte: Humphry Davy (1778-1829), director de la *Royal Institution* (Institución Real), reconoció el genio de su ayudante (véase página 40) y lo preparó para sucederle. Hacia finales del siglo XIX, el título de Bachiller en Ciencia (o su equivalente el *Triplos* de Ciencias Naturales, en Cambridge), había llegado a ser la cualificación ordinaria requerida para la investigación y la enseñanza científicas. Otro joven pobre, H. G. Wells (fig. 3.15), pudo estudiar Biología en la Universidad de Londres, gracias a una beca de un maestro; pero al no obtener el título, en vez de hacerse profesor, inventó el Futuro. Las ciencias naturales fueron ganando terreno gradualmente hasta convertirse en <<materias>> de los cursos de las escuelas y universidades, de tal modo que fueron impartidas a una parte considerable de la juventud de la nación (fig. 3.16). Desgraciadamente, en Inglaterra, esto tuvo lugar con la creación de una «formación científica» opcional, que corría paralela a los cursos sobre los clásicos y <<modernos>> en los grados superiores de las escuelas públicas y de las escuelas de Gramática. Del fracaso en incorporar la ciencia en el curso literario antiguo proviene la deplorable separación actual de las artes y las ciencias en <<Dos Culturas>>. Resolvieron estos problemas de mejor ma-



Fig. 3.15. H. G. Wells, estudiante.

nera en la mayor parte de los países europeos, que combinan las materias científicas y humanísticas en la formación escolar de los estudiantes hasta su ingreso a la universidad.

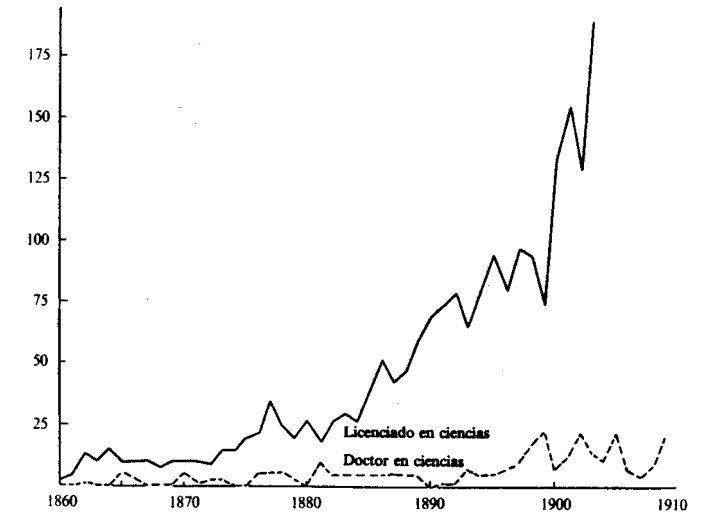


Fig. 3.16. Numero de estudiantes que recibieron el titulo en Ciencias anualmente.

#### Ciencia alemana

En Alemania, la ciencia sufrió una academización integral, durante el siglo xix. Fueron fundadas muchas universidades, que competían entre sí para captar a los estudiantes más capaces, juzgándolos más por los resultados de sus investigaciones, que por su habilidad como profesores. Por primera vez, la habilidad científica original fue valorada como la cualificación principal para la promoción académica.

Desgraciadamente, no había puestos de trabajo retribuidos por debajo del rango de profesor. Un titulado formado básicamente en Ciencia y Filosofía, tenía que arreglárselas de la mejor manera posible para sobrevivir, mientras preparaba una disertación para obtener el título de doctor en Filosofía — así llamado porque la Filosofía había sido la disciplina más importante en la universidad

medieval; en Oxford y Cambridge le llamaron doctor en Artes. A éste se le permitía entonces, tener discípulos como *Privat Dozent* (enseñante privado) o *Private Tutor* (tutor privado). Pero necesitaba este ingreso privado, porque no percibía ningún salario regular, aunque debía dedicarse a la investigación y a la enseñanza. La competencia por ascender en el escalafón académico era feroz, pero, con suerte, el titulado podía eventualmente tener acceso a un nombramiento de profesor. Esta plataforma que conseguía a los 30 ó 40 años de edad, era bastante cómoda y conllevaba un status social elevado; sin embargo, el profesor tenía todavía un incentivo para continuar investigando, pues podía aspirar a una cátedra superior en alguna universidad más famosa.

En muchos aspectos, este sistema era cruel y convertía la ambición personal y la perseverancia durante la juventud en objeto de comercio. Sin embargo, sirvió para transformar el estilo académico en todas las ramas de la *Wissenschaft* -término alemán con el que se significa tanto la ciencia natural como las humanidades. Desde mediados del siglo XIX, la ciencia alemana dio un salto hacia delante, haciéndose más rigurosa, competitiva y profesional. Logró también que la investigación se realizase, cada vez más, en equipo. Cada profesor tenía un grupo de auxiliares que constituía su *Seminar* -lo que hoy llamaríamos un «grupo de investigaciones». Estos auxiliares dependían casi totalmente de la buena voluntad y patronazgo del profesor titular, pues solo con la recomendación de éste, tenían garantizada su promoción a una cátedra. Bastante lógicamente, el *Seminar* se hizo una «escuela» de investigación, fiel a los métodos y opiniones científicas del profesor y dedicada a resolver los problemas que éste proponía. La totalidad de la universidad era poco más que una federación de tales grupos, a los que acudían los estudiantes para lecciones avanzadas o para supervisión de sus investigaciones. Se acentuaba así la relación entre investigación y enseñanza especializada en detrimento de una formación integral.

### *La escuela de graduados*

Esta fue -y ha seguido siendo- la estructura característica de la organización académica en Alemania' y otros países del Norte y Centro de Europa. En 1870, la Universidad Johns Hopkins la imitó deliberadamente y transformó rápidamente el estilo de la educación superior en las principales universidades de Estados Unidos. Este fue el origen de la *escuela de graduados* moderna, en la que se combinan cursos formales y exámenes con unos cuantos años de investigación casi original, que se presenta en una disertación escrita para obtener el título de doctor en Filosofía. La influencia alemana fue resistida en Inglaterra hasta los primeros años de este siglo, pero actualmente es la forma ordinaria de la formación superior en la investigación en todo el mundo de habla inglesa. En Francia e Italia hay tradiciones diferentes, pero la sucesión real de ciclos >> y grados tiene prácticamente el mismo contenido que la escuela de graduados americana.

La ciencia ha estado, pues, íntimamente relacionada con las universidades casi a lo largo de todo este siglo. Nadie intenta hacer investigación, si no tiene, <sup>por lo</sup> menos, una formación en la disciplina de su elección, acreditada por el título correspondiente. La mayoría de los investigadores, trabajen o no en las universidades, han pasado por la escuela de graduados y han aprendido las técnicas de investigación para obtener el título de doctor en Filosofía. Los maestros universitarios de Ciencia deben dedicarse, la mayor parte de su tiempo, a la investigación, y los líderes de la comunidad científica, respetados y honrados por sus aportaciones al conocimiento, tienen generalmente un puesto de profesores universitarios. Hasta en una ciencia aplicada como la medicina (véase cap. 7), donde la práctica profesional juega un papel importante, la investigación clínica está muy concentrada en los hospitales de enseñanza. Hoy en día, nos es difícil imaginar un mundo en el que la investigación

científica no era un aspecto principal de la vida académica y en el que las universidades no estaban constituidas en la fuente principal del conocimiento científico básico.

Al convertirse en actividad profesional, la investigación adquirió sus edificios especiales. El Laboratorio Cavendish en Cambridge, fundado en 1871, por un benefactor privado, fue uno de los primeros edificios dedicados especialmente a la investigación en ciencia pura. El primer profesor de Cavendish, James Clerk Maxwell, no tuvo estudiantes graduados, pero, al finalizar el siglo, bajo el liderazgo de J. J. Thomson (1856-1940) el Laboratorio era uno de los principales centros mundiales de investigación en física. Allí llegó, en 1895, Ernest Rutherford (1871-1937) de Nueva Zelanda, con una beca, para empezar las investigaciones sobre radiactividad que lo hicieron famoso (vease fig. 239). En su nuevo edificio, el Cavendish es todavía uno de los más importantes laboratorios de Física del mundo. El Instituto Pasteur se estableció en París, en 1888, alrededor del gran Louis Pasteur (1822-1895), que había descubierto el papel de las bacterias en las enfermedades. El objetivo inmediato de este Instituto fue tratar los casos de hidrofobia, usando las técnicas de Pasteur, pero los médicos investigadores empezaron pronto a reunirse allí hasta hacerlo un centro mundial de las nuevas ciencias biológicas: bacteriología, microbiología y biología molecular.

### *Las sociedades científicas*

Como hemos visto, la *Royal Society* se había convertido en un centro de moda, a finales del siglo xviii, aunque estaba en plena decadencia; en 1870, estaba completamente reformada. En efecto, ya no abrfa sus puertas solo a la riqueza y a la nobleza de nacimiento; para ser elegido, el futuro miembro de la *Royal Society* debía tener una significativa y activa investigación y haber hecho contribuciones positivas a la ciencia. Había toda-

via, entre los miembros, muchos aficionados, como Darwin y Sorby, por ejemplo (vease cap. 7), pero la mayoría eran académicos profesionales. Eruditos victorianos, como T. H. Huxley (1825-1895) (vease fig. 117) utilizaban la *Royal Society* como una plataforma dentro del sistema para organizar lo que estaba desorganizado en la educación, la industria y el gobierno.

Pero era necesario (y todavía hoy lo sigue siendo), pagar un precio por estos altos niveles científicos y por esta influencia oficial. Los temas que trataba la *Royal Society* se escamoteaban al público profano; la Sociedad se hizo más bien esotérica, encerrada en sí misma, ocupada de los asuntos oficiales de la comunidad científica y técnica. Simultáneamente, por el número limitado de sus miembros, era demasiado exclusivista para actuar como una asamblea de esa comunidad. A todo lo largo del siglo pasado, podemos observar que la *Royal Society* fracasó en crecer en la proporción en que crecía la comunidad científica general y quedó convertida, cada vez más profundamente, en una aristocracia, una elite y no en un cuerpo que representara ampliamente la ciencia y tecnología británicas. De muchas maneras, la *Royal Society* está hoy, más que en el pasado, ocupada en sí misma y en mantener su propio status mediante la cuidadosa selección de los que propone para otorgarles el honor de ser sus miembros. El trabajo que hace, administrando fondos diversos o asesorando en este o aquel asunto, es más bien insignificante en comparación con el orgullo desordenado y el prestigio de ser uno de sus miembros. ¡Es más parecida a la Cámara de los Lores que al Senado de los Estados Unidos! Buscando la influencia más bien que el poder, la *Royal Society* no es corrupta, pero sí frecuentemente ineficaz.

Su fracaso en dirigir el movimiento científico en el siglo xix lo prueba la creación de nuevas sociedades académicas de las principales ramas de la ciencia (tabla 3.2). Estas comenzaron a cumplir, en el campo de su especialización, todas las funciones para las que habían sido originalmente fundadas las antiguas academias cien-

TABLA 3.2

*Fechas de fundacion de las sociedades eruditas de Londres*

Colegio Real de Medicos	1518
Sociedad Linneana	1788
Colegio Real de Cirujanos (Sucesor del Colegio de Barberos cirujanos)	1800
Sociedad Geologica	1807
Sociedad Real de Astronomia	1820
Sociedad de Zoologia	1826
Sociedad de Entomologia	1833
Sociedad de Quimica	1841
Institucion de Ingenieros Mecanicos	1847
Institucion de Ingenieros en Gas	1863
Sociedad de Fisica	1874
Sociedad de Fisiologia	1876
Sociedad Faraday	1903

tificas. Como la *Royal Society* no daba las facilidades adecuadas para que los cientificos se reunieran y publicaran sus trabajos, los geologos, quimicos, zoologos, etc., se reunian por su lado y formaban sus propias sociedades con el mismo proposito. En cierto grado, ello era consecuencia natural de la especializacion creciente que conducia a la creacion de < disciplinas >> separadas en el mundo cientifico y academico. Sin embargo, debe mencionarse que este proceso no ocurrio, como podria haber acontecido, bajo el patrocinio general de la *Royal Society*. Las sociedades eruditas son muy importantes en el mundo cientifico moderno como el medio a traves del cual se realiza gran parte del trabajo practico de publicaciones, conferencias, consultas profesionales y sobre educacion, etc. La Sociedad Americana de Quimica es una organizacion con un ingreso anual de muchos millones de dolares, que publica miles de paginas sobre investigacion cientifica. Ni en Inglaterra, ni en Estados Unidos, hay ninguna federacion que agrupe todas estas sociedades, donde los asuntos generales de toda la comunidad cientifica puedan ser discutidos y representados ante el mundo. En cuanto a la Academia Francesa de

Ciencias, su situacion actual y su prospectiva futura se resumen en la figura 3.17 que muestra como han ido evolucionando las edades promedio de ingreso y muerte de los academicos, en los tres siglos de existencia de la mencionada Academia.

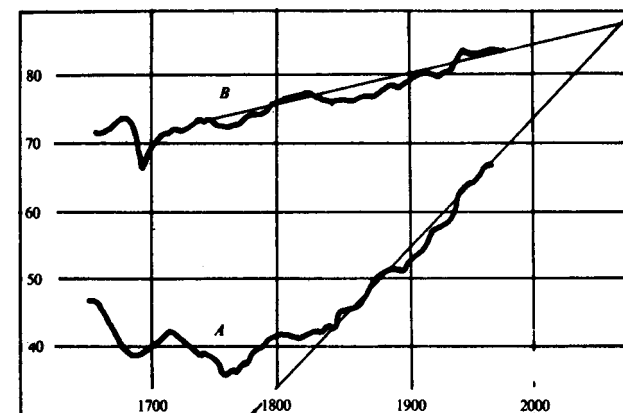


Fig. 3.17. Edad promedio de ingreso (A) y muerte (B) de los miembros de la Académie des Sciences, desde su fundacion.

### Investigacion industrial

A finales del siglo xix, mientras la ciencia academica estaba en plena floracion, la ciencia industrial solo tenia algunos botones. Deliberadamente se investigaba muy poco en la industria. Inventores privados como Thomas Edison (1847-1931) levantaron sus propios talleres de investigacion (fig. 3.18) y aplicaron los principios cientificos al mejoramiento tecnico de la manufactura, la agricultura, la mineria, etc., pero rara vez hicieron alguna contribucion a la ciencia basica. No habia nacido todavia la idea moderna de que cada fabrica cuente con un departamento de investigacion. Los gobiernos empleaban astrónomos, geólogos, funcionarios de sanidad publica y

que puede escoger libremente su propia línea de investigación. Esta es la base histórica de nuestra posición social hoy en día; son estos los presupuestos implícitos de las relaciones entre ciencia y sociedad, según los cuales pretenden vivir muchos científicos modernos. Como veremos, la realidad presente no se conforma totalmente con esta noble mitología.

*Todo aquel que esta seguro de su propia opinion, orgulloso de su profesion o anheloso de cumplir con su deber, asume una mascara tragica. Esta le substituye y a ella transfiere casi toda su vanidad. Mientras esta vivo y sometido, como todo lo que existe, al flujo que mina su propia substancia, ha hecho cristalizar su alma en una idea y, mas orgulloso que doliente, ha sacrificado su vida en el altar de las Musas.*

SANTAYANA

Set un científico es investigar. No es una actividad evidente por sí misma, dirigida a un objetivo obvio, como plantar patatas o pilotar un avión. La investigación exige equipamiento y técnica; exige también un propósito interno. Como vimos, en el capítulo anterior, el profesionalismo de la ciencia moderna ha surgido recientemente. Hasta nuestra generación, no se tomó la investigación como un trabajo semejante a la contabilidad o la arquitectura, del que pudiera obtenerse, mediante un esfuerzo honesto, un salario decente. ~Cudles fueron los motivos que tuvieron tantos hombres hábiles, los siglos pasados, para llevar una vida esforzada con tan pocas recompensas materiales?

Los motivos explícitos se manifiestan con verdad, poco frecuentemente. ¿Quién sabe por qué hace aquello que siente más profundamente deber hacer? Sin embargo, podemos mirar desde fuera la carrera de un hombre y preguntar qué fines parece buscar y qué tipo de vida representa. Unos cuantos ejemplos del pasado y del presente ilustrarán de inmediato la riqueza y variedad de

las maneras personales e intelectuales en que puede realizarse un trabajo científico de primera calidad. Necesitamos basarnos en esos ejemplos para tratar de los esquemas de vida que, hoy en día, la sociedad y sus propias exigencias técnicas han impuesto al científico.

### *Leonardo*

Leonardo da Vinci (1542-1519) es el nombre científico más famoso del Renacimiento. No solo fue uno de los artistas más celebrados de su tiempo, sino que consagró una parte considerable de su vida activa a la investigación en muchas ramas de la ciencia. En los numerosos apuntes que han venido editándose desde su muerte, se encuentran innumerables observaciones originales e ideas teóricas que otros descubrieron solo años o siglos después.

Este «torso transparente», por ejemplo (fig. 4.1), que muestra con realismo, los órganos internos en su relación correcta, es uno de los cientos de dibujos y bosquejos anatómicos que hizo Leonardo basándose en sus propias disecciones. Comparadas con estos, todas las representaciones y descripciones anatómicas anteriores son simple juego de niños. Solo al publicarse, cincuenta años más tarde, el gran tratado de Vesalius (véase cap. 5), se realizó algo de perfección equiparable. Ocultas en las mismas notas, encontramos la primera observación sobre la arterioesclerosis, la primera representación de los senos craneales (las cavidades del cráneo), la idea de estudiar el movimiento de la sangre en un modelo de corazón, etc. Si solo hubiese sido un estudioso difícil y espinoso de la anatomía humana, habría sido uno de los mayores que han existido.

Todos reconocen la fama de Leonardo como ingeniero mecánico. Quizá muchas de las máquinas ingeniosas que bosquejó en su cuaderno de apuntes, ya existían en el mundo medieval, pero su captación de los elementos fundamentales de un mecanismo es patente en estas su-



Fig. 4.1. Leonardo da Vinci: «torso transparente».

gerencias sobre varios tipos de engranaje (fig. 4.2). Algunos mecanismos que estudió -por ejemplo, los rodamientos cónicos-, no fueron reinventados hasta el siglo XX, cuando lo requirió la fabricación de instrumentos delicados como la brújula giroscópica.

Asimismo en mecánica de fluidos, los dibujos del



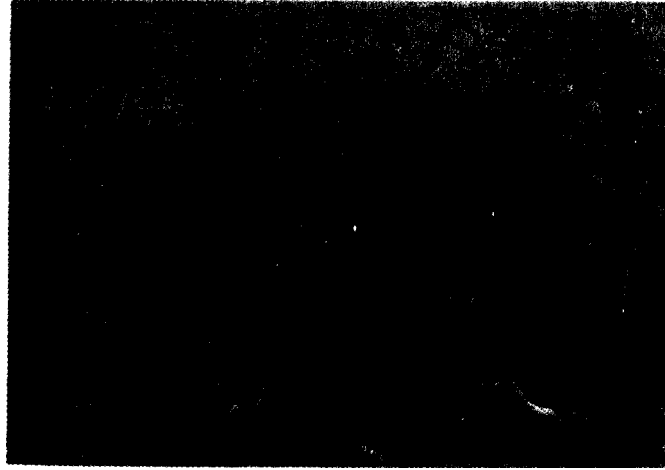


Fig. 4.2. Leonardo da Vinci: algunos ejemplos de engranaje de su cuaderno de apuntes.

movimiento ondulatorio y de remolino (fig. 4.3) de Leonardo no solo poseen una gran belleza artística, sino que revelan un conocimiento de las fuerzas en acción. Observe que las ondas de agua transportan movimiento, no materia; que los remolinos se forman al ensancharse un canal; que, en un río, hay un movimiento más fuerte cerca de la superficie y muchas otras características de gran importancia teórica. En su obra, en efecto, dejó consignados no solo los hechos, sino las cuestiones fundamentales que jamás se habían planteado hasta entonces; se ocupó asimismo de encontrar el significado profundo de todo lo que estudiaba.

Lastima que -como sabemos- este maravilloso esfuerzo intelectual no haya servido de nada. El tratado de Anatomía que proyectaba, no se publicó nunca; sus inventos nunca fueron construidos; las preguntas científicas que planteó no fueron escuchadas y no podían tampoco ser contestadas. Desde el punto de vista de un historiador de la ciencia -concebida esta como la em-

presa colectiva del hombre occidental-, Leonardo pudo no haber existido. Podemos seguir solo las huellas de algún pequeño influjo en otros anatomistas, ingenieros, físicos, botánicos o matemáticos. Como sucedía con sus

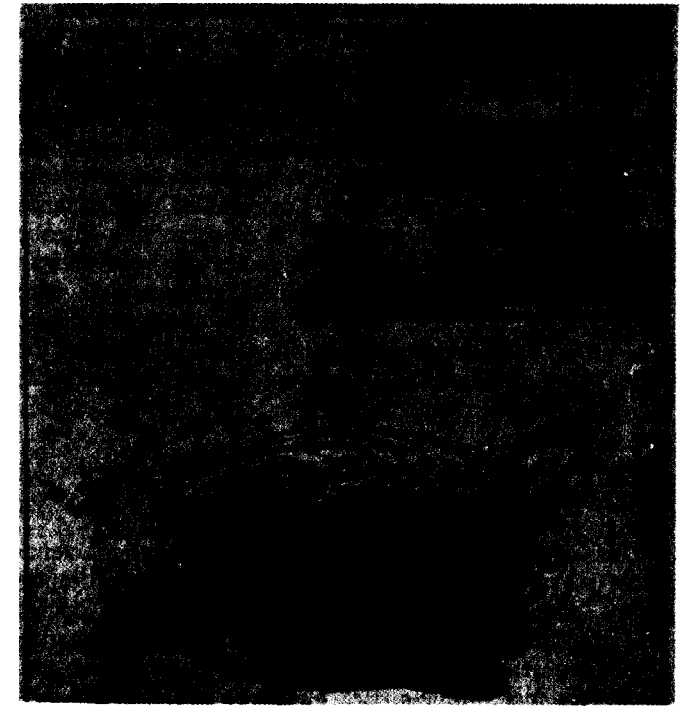


Fig. 4.3. Leonardo da Vinci: Caída de agua.

escasas e inmensas obras de arte, Leonardo no terminaba nada; todo lo tenía en su mente, en sus bosquejos, en sus apuntes privados. La carrera de Leonardo es un ejemplo perfecto del papel fundamental de la *comunicación* en el mundo científico (véase cap. 5).

Ejemplifica también la investigación como una afición personal. Leonardo buscó lo imposible: quería abarcar

todo el conocimiento sobre la naturaleza en sus aspectos visuales, realistas. Con una capacidad genial para la observación y la representación artística, profundizó cada vez más en los objetos de todo tipo que le salieron al paso -el cuerpo humano, los animales, las plantas, las rocas, los ríos, las máquinas. No podía completar nunca su enciclopedia, porque era demasiado inquieto, demasiado indisciplinado, demasiado perfeccionista para hacer un alto y escribir comunicando a los demás una visión parcial. Es erróneo afirmar que fue sólo un artista genial que incidentalmente se interesaba en las máquinas y en los fenómenos naturales. Los apuntes de Leonardo son registros que nos descubren el esfuerzo más intenso de investigación que haya hecho nunca un hombre solo y están completamente imbuidos del verdadero espíritu de *busqueda*, que es el vestíbulo de la ciencia moderna. En 1600, Francis Bacon filosofó sobre la ciencia; un siglo antes, Leonardo da Vinci había vivido ya el estilo de vida que Bacon aconsejaba.

#### Cavendish

Una experiencia común, característica de los científicos, es su fracaso en publicar descubrimientos importantes. Henry Cavendish (1731-1810) fue uno de los más grandes científicos de su tiempo, que hizo contribuciones numerosas y fundamentales a la física, la química y la meteorología. Era primo de un duque y muy rico; por ello, pudo dedicar toda su vida a la investigación científica. Cavendish fue, en efecto, un solitario excéntrico, que no caso nunca y evitó toda compañía femenina. Desprovisto de toda sociabilidad y sentido estético, vivió, al parecer, una vida fría y monótona, sin nada que lo distrajera de sus investigaciones. Su retrato fue pintado clandestinamente, gracias a la connivencia de sir Joseph Banks, presidente de la *Royal Society*.

Sin embargo, dentro de su laboratorio, Cavendish realizó algunas de las más refinadas y meticulosas investiga-

ciones experimentales acerca de los problemas fundamentales de la electricidad y de la química. Su experimento más famoso consistió en medir directamente la fuerza de gravedad que actúa entre dos bolas de plomo suspendidas a cables de torsión (fig. 4.4). Las mediciones

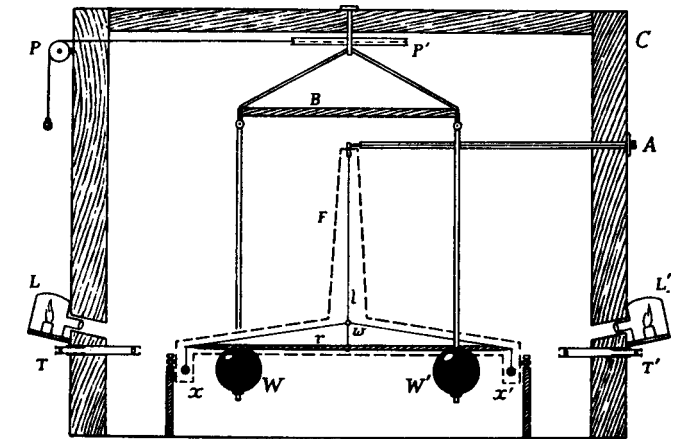


Fig. 4.4. Diagrama del aparato que usó Cavendish para determinar la densidad de la Tierra: C, cubierta exterior. PP' Poleas de rotación del balancín B, del cual penden dos grandes bolas (los pesos) WW'. F (línea punteada), cubierta interior para proteger la balanza de torsión de corrientes de aire y cambios de temperaturas. A, tornillo de palometa para ajustar la balanza de torsión. t, cable de torsión. r, varilla de torsión, sujeta firmemente por los cables w, que llevan dos bolas x, x', en los extremos. LL', linternas. TT', telescopios.

mas modernas de dicha magnitud apenas han mejorado el valor que Cavendish obtuvo hace casi dos siglos. Pero lo que le valió un lugar en la historia, fue su descubrimiento de que el agua podía descomponerse eléctricamente en dos gases, o sus elegantes estudios sobre las leyes de la electrostática y de la conducción eléctrica. Cavendish no fue, en mi opinión, ni un innovador de conceptos como Faraday, ni tampoco un genio matemático como Newton; sin embargo, es uno de los físicos

eximios porque su estilo de investigación es preciso y de claros objetivos. Creía, según la teoría clásica, que la ciencia era el estudio de los aspectos *cuantitativos* de la naturaleza y se consagró totalmente a este exigente objetivo.

El hecho de que Cavendish solo haya publicado una parte de los resultados de su investigación, no debe interpretarse, por lo tanto, como falta de aplicación o autodisciplina. En sus apuntes, registro y dejó claramente establecidas observaciones fundamentales como el principio de la equivalencia química, la ley de la resistencia eléctrica (es decir, la <<Ley de Ohm>>) y los conceptos de calor específico y latente, que entonces eran desconocidos, que, sin embargo, no redactó para publicarlos. Ello se debió simplemente a que nunca se preocupó mucho del resto del mundo y a que perseguía el conocimiento científico por el placer que le procuraba. Una vez observada y dilucidada una relación cuantitativa, quedaba satisfecha su propia curiosidad y se ocupaba de otro problema. La investigación era un pasatiempo privado al que se consagraba compulsivamente para dar gusto a su particular personalidad introvertida.

### *Rumford*

Contemporáneo de Cavendish, Sir Benjamin Thompson, conde de Rumford (1753-1814) fue un personaje de carácter muy diferente. No era un misántropo, pero ciertamente poco le importaban sus prójimos. Siendo niño campesino de New England, sin educación formal, accedió a través de la intriga y la traición -matrimonio con viudas ricas, espionaje, chantaje político y otros métodos sin escrúpulos- a la riqueza, al poder y al título de conde del Sacro Imperio Romano. En su juventud, conquistó a sus superiores; en su vejez, cosechó el odio de sus contemporáneos por su manera de ser pesada y egoísta.

Sin embargo, este hombre ambicioso, desagradable,

egocéntrico, fue uno de los científicos de su tiempo con mayor <<responsabilidad social>>. Hoy se le recuerda especialmente por el experimento con el cual demostró que el calor no puede ser una especie de fluido, pero que sí puede producirse casi indefinidamente por el movimiento de fricción. Este experimento nació de que Rumford, entonces ministro de Guerra del elector de Baviera y ocupado principalmente en equipar y entrenar a su ejército, había observado que se producía calor al barrenar un canon.

En efecto, precisamente el intelecto frío y calculador de Rumford y su amor a la eficacia y al orden motivaban gran parte de su investigación. Quería vestir a sus hombres con el menor gasto posible y, por ello, empezó a investigar sobre la conducción del calor en diferentes clases de telas. Asombrado por las anomalías y fallos de la teoría, descubrió casualmente el fenómeno de la transferencia del calor por convección y, por tanto, la explicación que hoy todos conocemos, de la capacidad de aislamiento que poseen algunos materiales como las pieles, que atrapan el aire en innumerables bolsillas. Motivos semejantes determinaron su invento de la estufa para cocinar, del radiador de vapor para calefacción central, de las lámparas mejoradas de aceite, de las chimeneas sin humo, etc. Estos inventos sencillos, que consideramos casi obvios y que han sido un auténtico beneficio para la existencia humana, tuvieron su origen en su excelente captación de los últimos principios científicos, así como sus investigaciones más fundamentales en la ciencia del calor las motivaron frecuentemente problemas prácticos. Es difícil discernir la presencia de una mente filosófica en sus investigaciones; sin embargo, el ingenio simple que revelan sus experimentos y el valor práctico de sus inventos, son prueba de una inteligencia extraordinariamente poderosa. Llegó a inventar hasta el <<colador>> gota a gota para hacer café (fig. 4.5).

Podría decirse que Rumford fue el precursor de los *tecnócratas* benévolos que gozan poniendo en orden a la humanidad para satisfacer su propio ego. El < elogio >>

funebre, a su muerte, que presento el baron Cuvier (1769-1832) a la Academia Francesa, lo expresa perfectamente.



Fig. 4.5. Cálculo portátil del coude Rumford.

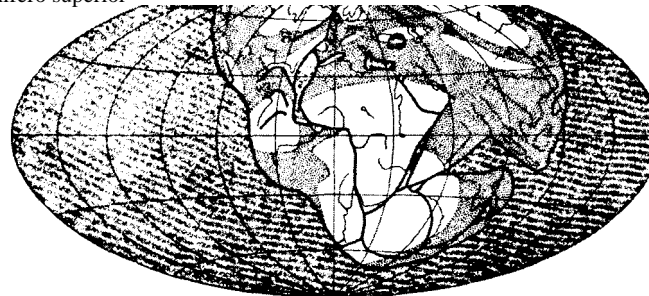
*<<Nada habría faltado a su felicidad, si un trato agradable hubiera igualado su celo por el bienestar público. Pero debe reconocerse que su trato y toda su conducta revelan un sentimiento que debe parecer muy extraordinario en un hombre a quien todos trataron siempre bien y que hizo tantas obras buenas. No amaba ni estimaba a sus semejantes, a quienes había hecho todos estos servicios. Evidentemente, las pasiones viles que había observado en los miserables encomendados a sus cuidados o aquellas otras pasiones que su buena fortuna había suscitado en sus rivales, lo habían predispuesto en contra de la naturaleza humana. Tampoco creía que debiera*

*confiarse a los hombres en general el cuidado de su propio bienestar. El deseo -que parece congenito- de examinar la manera en que son gobernados, era, en su opinión, solo un producto ridículo del falso conocimiento. Consideraba al gobierno chino como el más próximo a la perfección, porque entregando al pueblo solo al poder absoluto de los hombres de conocimiento y elevando a cada uno de estos en la jerarquía, según el grado de su conocimiento, lograba en cierto grado que muchos millones de manos fueran los órganos pasivos de la voluntad de unas cuantas buenas cabezas. Un imperio, tal como el lo concebía, no habría sido más difícil de gobernar que las barracas y casas de pobres a su cuidado. Para ello, confiaba especialmente en el poder del orden. Llamaba a este auxiliar necesario del genio, único instrumento posible del bienestar real y casi divinidad subordinada, encargada de regular este mundo inferior. El mismo era en todos los puntos imaginables de su persona, un modelo de orden. Sus necesidades, sus trabajos y sus placeres eran tan calculados como sus experimentos. En breves palabras, no se permitía a sí mismo nada superfluo, ni siquiera un paso o una palabra, y tomaba la palabra superfluo en su sentido más estricto. Ello le sirvió sin duda para dedicar toda su fuerza a fines útiles, pero no pudo hacer de él una persona agradable en la sociedad de sus compañeros. El mundo necesita un poco más de libertad y tiene tal constitución que una perfección de cierta altura le parece con frecuencia un defecto, si la persona que la posee no se esfuerza en ocultar su conocimiento tanto como se esfuerza en adquirirlo. »*

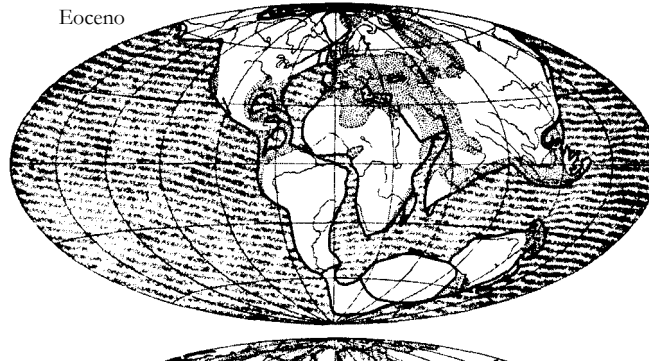
Wegener

Alfred Wegener (1880-1930), es un ejemplo de la excentricidad de ciertas investigaciones. En 1910, siendo profesor de Meteorología y Astronomía en la Universidad de Marburgo, en Alemania, concibió subitamente una idea extraña. Todo el resto de su vida, aun perdido

Carbonifero superior



Eoceno



Bajo Cuaternario

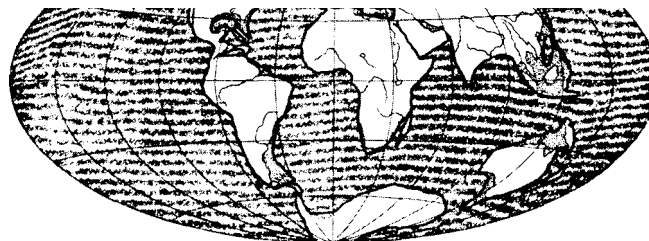
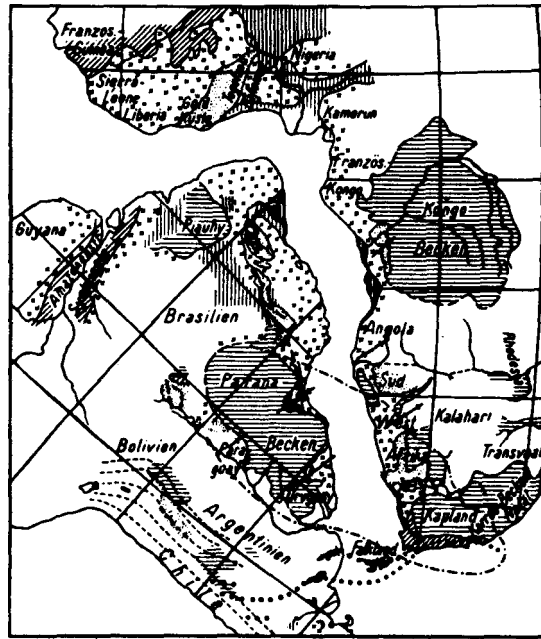


Fig. 4.6. Reconstrucción del mapa del mundo, según la teoría de la Deriva, en tres eras geológicas. Alfred Wegener, *Origin of Continents and Oceans* (*Origen de los Continentes y Océanos*).

en una expedición al Ártico, en Groenlandia, siguió desarrollando esta idea en sucesivas ediciones de un libro titulado *The Origin of Continents and Oceans* (*El Origen de los Continentes y los Océanos*).

La idea era bastante sencilla y no enteramente original. Los contornos geográficos correspondientes de América del Sur y África sugieren que estos dos grandes continentes estuvieron unidos algún tiempo, que se dividieron y que se separaron. Los demás continentes podían relacionarse de modo aproximativo, siguiendo el mismo esquema (fig. 4.6). Aunque no era geólogo, Wegener buscó pruebas que apoyasen esta hipótesis, partiendo de las estructuras geológicas existentes (fig. 4.7), de la información paleontológica sobre los climas anteriores, de la distribución de especies tales como la de los gusanos de tierra (fig. 4.8), de los terremotos, etc. Presento también pruebas geodésicas que sugerían que, en 50 años, Groenlandia se había desplazado aproximadamente un kilómetro hacia el oeste (fig. 4.9) y propuso un mecanismo basado en las fuerzas que produce la rotación de la tierra, según el cual podía darse la deriva continental. Tanto su libro como sus clases en la universidad y sin duda su personalidad toda, es directo, sencillo, modesto y de amplias miras. Su carácter extrovertido no descubría ciertamente al hombre de ideas fijas, que argüía machaconamente en favor de una teoría revolucionaria en un campo del que afirmaba no tener un conocimiento especializado.

Desgraciadamente, aunque la teoría de la Deriva Continental fue ampliamente debatida en los años 1920, pronto se demostró que los datos geodésicos eran demasiado inexactos y que las fuerzas dinámicas propuestas eran demasiado pequeñas —del orden de un millón, aproximadamente. Otros especialistas en paleontología, tectónica, geofísica, etc., develaron defectos similares en los argumentos de Wegener. Según la opinión de un opositor suyo, su investigación «no es científica, aunque siga el curso ordinario de una idea inicial; es una bitácula antológica a través de la literatura para



aa. ~ eucem  
 C. bo. w6ric. (ran.  
 y .e.mia.  
 mimie, i do y pn.d- - - ie.ra dd aae .no  
 h'oo'oo'oo'oo'oo  
 r--c-r is.ea.mino  
 paeif.ico  
 Go.d. . y peewa  
 dei Can. - - - P4epae de se.r  
 l.- p.a

Fig. 4.7. Antigua position relativa de Sudamerica y Africa, segun Du Toit. En Wegener, Origin of Continents and Oceans.

encontrar pruebas que corroboren esa idea, haciendo caso omiso de la mayor parte de los hechos contrarios. Termina así en un estado de auto-intoxicación, en el que la idea llega a ser considerada como un hecho objetivo». Después de la muerte de Wegener, su herejía desapareció de la enseñanza y de los libros de texto de geología. Es deber de la comunidad científica mantener abiertos mente, oídos y libros a toda clase de teorías especulativas, aunque sean aparentemente descabelladas, y prestarles

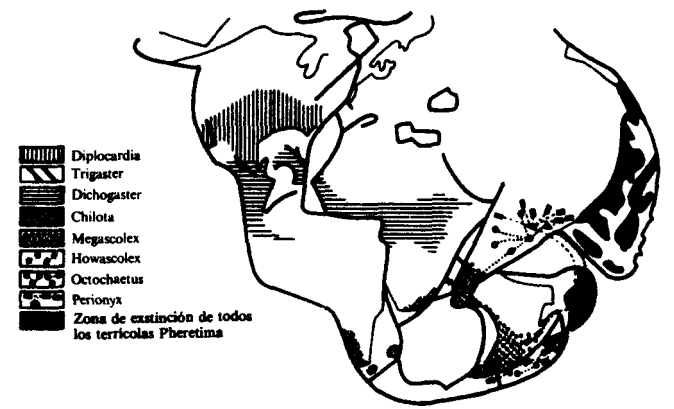


Fig. 4.8. Distribution actual de algunos generos de gusanos de la familia Megascolecina, sobre el mapa de reconstrucción del prejurásico, basada en la teoría de la Deriva (según Michaelson). En Wegener, Origin of Continents and Oceans.

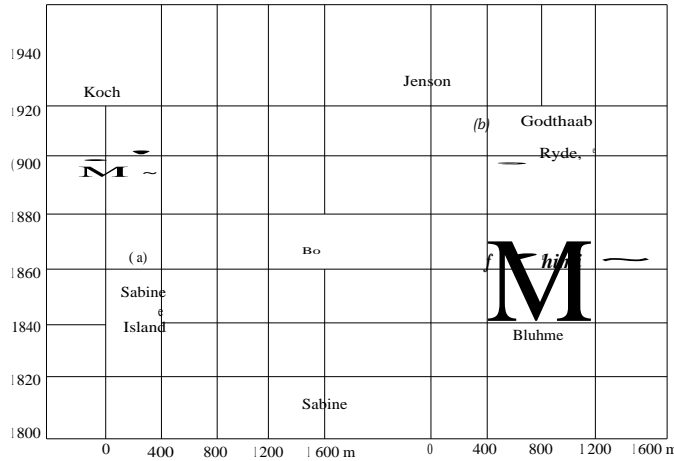


Fig. 4.9. Desplazamiento de Groenlandia a partir de antiguas determinaciones de longitud. Wegener, Origin of Continents and Oceans.

un oído serio y atento. Es también necesario mantener los más altos niveles de crítica intelectual y no permitir que meras conjeturas, aunque, en algunos aspectos, parezcan plausibles a una mirada superficial, sean tomadas por verdaderas. El peligro de una investigación excéntrica, como ejemplifica la carrera de Alfred Wegener, es casi tan serio como la estupidez contraria: la oposición conservadora a las nuevas ideas.

Indiquemos de paso que la teoría de la Deriva Continental se considera, hoy en día, perfectamente correcta.

### *Ramanujan*

Como afición personal perfecta, nada puede igualar a la matemática pura. La breve vida de Srinavasa Ramanujan (1887-1920), es un cuento de hadas dulcemente triste. Su padre fue un funcionario menor en una ciudad provinciana de Madras. Hizo estudios secundarios, pero fue suspendido en la universidad y aprovechó la oportunidad de un puesto burocrático menor. Cuando tenía 15 años, llegó a sus manos un ejemplar de *Synopsis of Pure Mathematics* (Sinopsis de Matemática pura), que no era ni libro de texto ni tratado, sino un compendio de 600 teoremas, pasado de moda y con escasas pruebas. Ramanujan inventó sus propias pruebas y continuó estableciendo y probando numerosos teoremas enteramente nuevos, sin basarse en ningún otro libro o consejero matemático. Estos teoremas no eran meros ejercicios escolares. Acompañados de una modesta carta, los sometió al juicio de G. H. Hardy (1887-1947), profesor de matemática pura en Cambridge. Este quedó sorprendido de la sutileza de los teoremas. En diez años, Ramanujan, trabajando solo, había descubierto muchos de los resultados más difíciles que toda la comunidad matemática europea había obtenido en los 50 años anteriores. En 1913, fue invitado a Cambridge. Fue nombrado miembro directivo del *Trinity College* y miembro de la *Royal*

*Society*. Se hallaba todavía en el culmen de sus capacidades matemáticas, cuando murió de tuberculosis.

La lección que nos deja todo esto es -quizas- que no se puede legislar sobre el genio. Los teoremas de Ramanujan no son -supongo- la panacea universal, pero son muy hermosos y es bueno no olvidarlos. Ramanujan era, según parece, una mezcla agradable del funcionario indio corriente y del perfecto marginado social. La próxima vez, cuando un hombrecillo ligeramente casposo husmee, en plan apologetico, por su puerta y diga que posee algunos resultados interesantes referentes al teorema de Goldbach o a la transformación del espacio en tiempo, o al modelo *quark* de las partículas elementales, será prudente, en beneficio de su propia reputación, que usted no lo arroje como si se tratase de un loco. Podría posiblemente ser Srinavasa Ramanujan o Albert Einstein.

### *Watson*

James Watson (1928- ), por su parte, es un caso único. Un joven inteligente, interesado por la ornitología y otros aspectos de la biología, poesía, a la edad de 22 años, un título de doctor por la Universidad de Indiana. Fue el primer estudiante serio que tuvo Salvador Luria, un excelente genetista. En ese momento, la investigación sobre mecanismos químicos de la herencia de genes específicos se acercaba a su climax. Luria envió a Watson a Copenhague para estudiar bioquímica. Con una confianza en sí mismo que le es característica, Watson decidió mudarse al famoso Laboratorio de Cristalografía de Sir Lawrence Bragg (1890-1971), en Cambridge; allí hizo equipo con un hombre mayor y más experimentado, Francis Crick (1916- ). Su libro, *The Double Helix* (La hélice doble), relata de forma vivida y muy personal, como Jim y Francis batieron a Maurice Wilkins (1916- ) del *King's College* (Colegio del Rey) de Londres, y a Linus Pauling (1901-

del Cal Tech. (Tecnologico de California) en la solución al problema de la estructura del ADN, la molécula vital de la herencia (fig. 4.10).

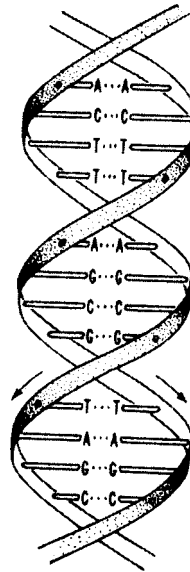


Fig. 4.10. Molécula de ADN.

Crick y Watson trabajaron esforzadamente en el problema; obtuvieron el reconocimiento personal por su solución y cada uno de ellos ganó un Premio Nobel. Pero, como muchos otros que han recibido este premio, habían tenido la asesoría y el consejo de muchos otros colegas científicos contemporáneos capaces. Se pudo reconocer públicamente este enorme logro de la comunidad científica solo mediante un premio especial a los individuos afortunados que finalmente rompieron los últimos sellos del cofre del tesoro, aunque toda una generación de genetistas, bioquímicos, microbiólogos y cristalógrafos habían contribuido, en varios niveles, al éxito de la empresa.

*The Double Helix* es un libro fascinante no solo por la exposición periodística de la vida científica, sino porque pinta una actitud respecto de la investigación que no es poco común en ciertos círculos. El libro retrata a un joven preocupado por la ambición de ganar un Premio Nobel, que dirige todas sus energías a la consecución de ese objetivo. La cuestión del ADN era, por supuesto, difícil y merecía la pena el esfuerzo científico total para resolverla, pero el lector se queda con la impresión de que el científico ha elegido este problema particular, por cuanto, si tiene éxito, cosechará fama. El autor aparece preocupado por la posibilidad tremebunda de que Linus Pauling, uno de los más brillantes químicos del mundo, que se encuentra lejos, en California, pueda adelantarse. Esta eventualidad habría entristecido a Jim Watson, pero no tiene la menor importancia para el progreso del conocimiento.

### Fermi

Enrico Fermi (1901-1954) demostró ya en sus años escolares una brillante inteligencia matemática que asombraba a todos. Pronto se convirtió en el más excelente estudiante de Física de la Universidad de Pisa. En unos cuantos años, había conquistado fama internacional por sus investigaciones en física teórica. A los 26 años, llegó a ser profesor de Física, en Roma. Algo debió al patrocinio de un anciano, Orso Corbino (1876-1937), pero esta promoción muy temprana fue solamente el reconocimiento de su maestría perfecta sobre toda la física de su tiempo.

Enrico Fermi poseyó la inteligencia más completa de su generación. Fue un teórico que podía hacer hermosos experimentos con sus propias manos. Igualaba su capacidad intelectual una modestia y simplicidad que sabía sacar lo mejor de todo el que colaboraba con él. Era físicamente incansable y podía ser una alegre compañía,



aunque conservaba siempre una gravedad y reserva internas. Poseía una inteligencia original y rapidísima, sabía todo sobre la física y aun daba, con máxima claridad, clases y conferencias (fig. 4.11). Estaba consagrado a la investigación y no se cuidaba en absoluto de la fama o del poder, aunque sobrellevaba con plena responsabilidad

Handwritten notes and diagrams by Enrico Fermi on quantum mechanics. The page is filled with mathematical expressions, diagrams, and handwritten text.

Top left:  $r_{pl} - \$1SL$

Top center:  $U_{za}t$  with a circled note: "hydrogen atom. Neglect nuclear motion.  $m$  will be reduced mass."

Top right:  $8--$

Middle left:  $X=22!$

Middle center:  $x_u = \sim \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{E}$

Middle right:  $A = \frac{e}{z \cdot 1E1} - \frac{sk ZL}{z \cdot 1E1}$

Bottom left:  $60 \frac{4}{az} + C + x \approx 0$  with a box containing  $+ \text{for } E > 0$  and  $- \text{for } E < 0$

Bottom center: A diagram showing a potential barrier. The left side is labeled  $E < 0$  and "distant". The right side is labeled  $E > 0$ . A wave function is shown passing through the barrier. A note says "adjustment".

Bottom right:  $\frac{du}{du} E > c$  and "of different values".

Bottom left:  $at4m, L, E < 0$

Bottom center:  $O; P \sim + ( \frac{+X}{X'} ) \sim \frac{Ott}{\sim}$

Bottom right:  $W \sim E^{-x/2}$

Fig. 4.11. Enrico Fermi, Notas sobre la mecánica cuántica.

las cargas administrativas que las circunstancias de su vida le impusieron.

Aun en sus ideas políticas, Fermi fue epitome del científico moderno. En su juventud, no se interesó en la política ni luchó abiertamente contra el fascismo de Mussolini, que entonces gobernaba Italia y demostraba tenerlo en gran estima. Pero los crímenes de Hitler le horrorizaron y tras emigrar a los Estados Unidos, en 1938, desempeñó un entusiasta papel en defensa de su país adoptivo, durante la guerra: el 2 de diciembre de 1942, el equipo de investigación de Fermi, en la Universidad de Chicago, construyó el primer reactor nuclear. Basándose en su experiencia en la maquinaria gubernamental, fue interesándose cada vez más, en las más profundas opciones políticas de la libertad, la guerra y la paz. Sin embargo, siempre siguió siendo moderadamente conservador y confiaba más en su integridad personal y en su juicio técnico, que en ningún sistema ideológico. Quizás finalmente se caracterizó principalmente por no decir nada ni acerca de la física ni del mundo en general, que no hubiese meditado perfectamente y de cuya verdad no estuviese seguro.

Haldane

Sin embargo, no podría decirse con honestidad que Fermi fuera un científico más sincero, sacrificado y creativo, que su contemporáneo, J. B. S. Haldane (1892-1964), de quien difirió en casi todo lo demás. Haldane tuvo también una brillante inteligencia matemática y una memoria proteica, pero sus aportaciones científicas pertenecen a las áreas de la genética y de la bioquímica. Su padre fue un distinguido fisiólogo, que atrajo a su inteligente hijo, aun niño, a su campo de investigación. Haldane salió de Eton y Oxford para entrar en la primera guerra mundial en la que luchó con una valentía personal, implacable y brillante. Durante toda su vida, demostró su total desprecio por la autoridad. Aprovechaba las

ocasiones mas triviales para enzarzarse en terribles peleas publicas con sus colegas mas antiguos o con los administradores. Esta belicosidad se compensaba con un ingenio para expresarse en publico. Pronto descubrio su talento para la divulgacion escrita de la ciencia y se convirtio en uno de los mas conocidos cientificos de su tiempo, tanto por su estilo vivido, simple e ingenioso, como por la franqueza escandalosa de las opiniones que expresaba.

En la Inglaterra de los años 1930, hubo muchos científicos excelentes que se vincularon con el marxismo, desilusionados por las tragedias del desempleo y los crímenes del fascismo. Pero pocos fueron miembros del Partido Comunista tan activos como Haldane, que se adhirió en 1938, y permaneció fiel a la política stalinista durante la guerra mundial y el periodo de la guerra fría. Durante muchos años, fue presidente del consejo editorial del periodico del Partido *-Daily Worker-*; allí eran de fiar sus populares artículos científicos que demostraban las estupideces del capitalismo y las virtudes superiores de un punto de vista socialista (fig. 4.12). Abandonó el Partido Comunista alrededor de 1950 y,

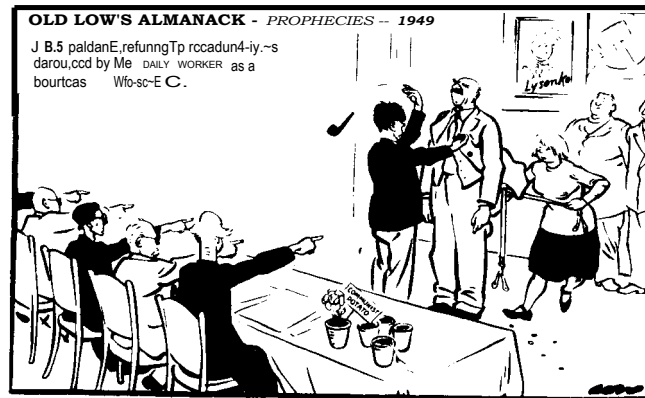


Fig. 4.12. [J. B. S. Haldane. Caricatura](#) de David Low, en Evening Standard, 2 diciembre 1948.

en 1957, sacudió ostentosamente de sus sandalias el polvo de Inglaterra para establecerse en la India. Hacia con ello otra trompetilla mas al *Establishment* aristocrático de cuyas raíces había surgido el mismo.

Tal era su imagen pública, vista quizás a través del cristal distorsionador de sus columnar en el *London Times*. En privado, podía ser simpático y amigable, y muchos de sus discípulos y colegas hablaban de él con amor y devoción. Sus causas fueron frecuentemente estúpidas, sus observaciones injuriosas fueron, con frecuencia, intentos infantiles de escandalizar y sus peleas con la autoridad, meros discursos quijotescos ingeniosos, sin un significado profundo. Sin embargo, no se puede menos que disfrutar de su ingenio, de la erudición, dureza y perversa lógica con que pulverizaba a sus contrarios, y admirarlo. Tras el *enfant terrible*, había una personalidad tímida y sensible, que encontraba en la agresión su única defensa segura.

Fue un gran científico. Nunca obtuvo un Premio Nobel (¡es fascinante imaginar el comentario que probablemente hubiera hecho, si lo hubiera obtenido!), pero fue uno de los primeros en demostrar que la evolución darwiniana y la genética mendeliana tenían consistencia matemática y en calcular las tasas de mutación necesarias para la evolución de una nueva especie. Aplicó estas ideas a la genética humana y demostró la manera en que podría surgir una proporción de defectos genéticos asociados a enfermedades serias como la hemofilia. Hizo aportaciones técnicas a la estadística matemática y se interesó en la cosmología, sobre la cual escribía con frecuencia para el gran público. Haldane delineó las opiniones que actualmente tenemos sobre los orígenes de la vida en la tierra, en 1928, independientemente del primer trabajo de Oparin (1894- ), que expresaba ideas semejantes.

Para darnos una idea de Haldane como científico, debemos leer sus experimentos fisiológicos en los que comúnmente era el mismo el conejillo de indias. A pesar de sus declaraciones públicas de 1940 contra la guerra

(recuerdese que Stalin estaba oficialmente aliado con Hitler, en esa hora tragica), Haldane se puso a si mismo y a sus amigos mas intimos en una situacion embarazosa y en serio peligro, a causa de una serie de investigaciones sobre los efectos que produce el vivir en espacios confinados, bajo altas presiones, con exceso de dióxido de carbono o con poco oxígeno, para no mencionar el frío y la humedad. Esta investigación fue básica para gran parte de la técnica moderna de la actividad humana submarina -submarinos y aparatos de buceo- y tuvo considerable importancia en la guerra misma.

Es también interesante estudiar sus reacciones en el asunto Lysenko, que fue, por supuesto, un ataque directo a los principios de su propia investigación genética, apoyado, al mismo tiempo, por Stalin y todos los partidos stalinistas, como un dogma de fe. Haldane manifestó un apoyo precavido a Lysenko (1898- ), como posible aportación al problema científico, y estuvo dispuesto a proponer que había mucho de valioso en sus teorías y experimentos. Pero como paso el tiempo y el mismo se vio obligado a tomar una posición contraria al <<mendelismo>>, rehusó comprometer su integridad científica y tranquilamente se retiró de las posiciones comunistas oficiales. Es fácil decir que Haldane debió haber sido más claro en defender, por ejemplo, la posición personal de Vavilov (1887-1943), el gran genetista ruso, que fue dimitido, encarcelado y asesinado por la policía de Stalin, en su cacería de brujas, en favor de Lysenko; pero aquellos no eran tiempos muy fáciles para un hombre que estaba políticamente comprometido con una causa muy exigente. En su entusiasmo por la responsabilidad social del científico, terminó encontrándose con algunos compañeros bastante sucios; su valentía no consistía en escaparse, denunciar a sus antiguos amigos y confesar que todo había sido una equivocación.

*Hoy en día, ser inteligible es cometer un delito.*

OSCAR WILDE

Los científicos no solo forman comunidades constituyendo sociedades eruditas o universidades para trabajar en ellas. Los vincula un interés común en problemas científicos particulares: la fractura de los metales, la dispersión de los piones, la tectónica de plataformas, la fotosíntesis, etc. De estos se dice que integran un *Colegio invisible*, pues pertenecen a este grupo por razón del intelecto, más que por las instituciones y edificios materiales en que trabajan. Este término lo ha resucitado Derek de Solla Price; originalmente correspondía al nombre del club científico que, en los años 1640, solía reunirse en Oxford y que, más tarde, se convirtió en la *Royal Society*.

Los vínculos que unen a los miembros de este grupo no son consignas o deberes legales o transacciones financieras, sino las *comunicaciones* de información y conocimientos. La ciencia depende mucho de la palabra impresa, por dos razones: es esencial formar un registro público permanente de resultados, observaciones, cálculos, teorías, etc., para que los científicos puedan más tarde

referirse a ellos. Es tambien necesario facilitar la critica, la refutacion y perfeccionamiento posterior de los su- puestos hechos. En la enseianza elemental de la ciencia, insistimos en registrar cuidadosamente nuestros resul- tados experimentales y las conclusiones que de ellos se derivan, y aprendemos a llevar ordenadamente un cua- derno de apuntes de laboratorio. Sin embargo, comunicar a los demas los resultados de la investigacion es aun mas importante. La ciencia, por su propia naturaleza, es un cuerpo *ptiblico* de conocimientos, al que contribuye personalmente todo investigador y que van corrigiendo y clarificando las criticas mutuas. Es una actividad gremial en la cual cada uno de nosotros construye sobre el tra- bajo de nuestros predecesores y colabora y compite con nuestros contemporaneos. Por lo tanto, la naturaleza del sistema de comunicacion es vital para la ciencia; esti en el corazon del Hmetodo cientifico> .

Las formas reales de comunicacion son de diversa indole y cambian de acento a traves de los siglos.

*Cartas*

Para el historiador de la ciencia, las *cartas privadas* siguen siendo una de las fuentes mas importantes para situar historicamente los descubrimientos y la difusion de nuevas ideas. Esta carta (fig. 5.1) de Isaac Newton, fechada en 1671, dirigida a Henry Oldenburg (1615- 1677), secretario de la *Royal Society*, nos habla del ade- lanto que constituye su nuevo telescopio (p. 32). Es caracteristico que tales comunicaciones entre colegas -como entre amigos- den cierta idea de lo que estos estin realizando. Solo pretenden compartir ideas; estan escritas informalmente, sin premeditacion ni esquema.

Sin embargo, el siguiente ejemplo -otra carta de Newton a Oldenburg- es muy diferente. Esti escrita en latin, en 1674, y es mds larga. Contiene, de hecho, los comentarios ponderados de Newton sobre una larga car- ta de Leibniz (vease pig. 54); se refiere a varias series

algebraicas y esti tan cuidadosamente redactada que po- dria publicarse tal cual. En esta carta, podemos ver un simbolo de la universalidad de la informacion cientifica.

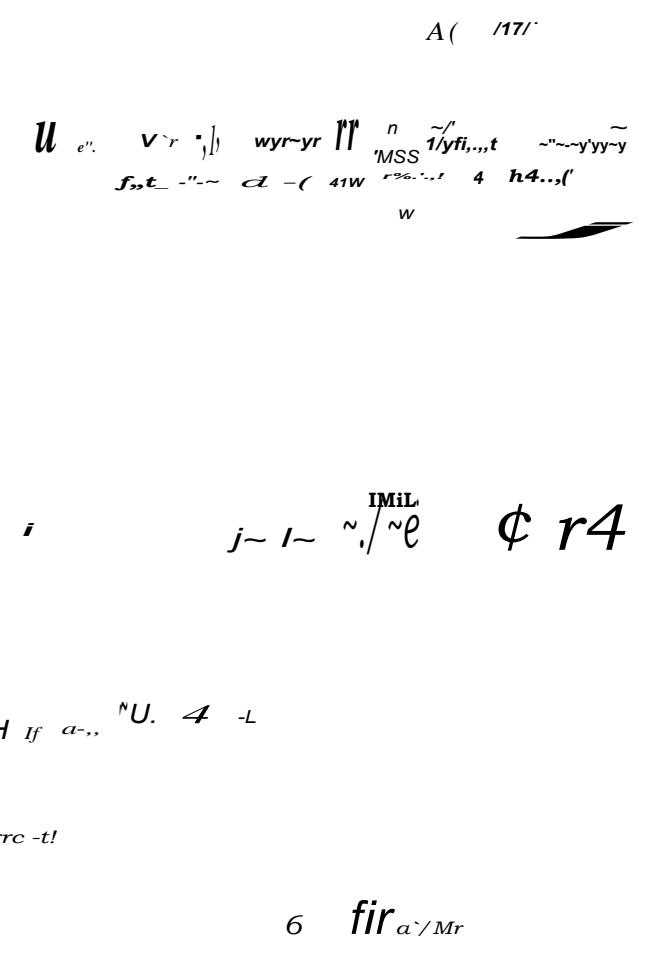


Fig. 5.1. Carta de Newton a Oldenburg del 16 de marzo de 1671.

El latín era todavía una *lingua franca* para todos los hombres cultos de Europa y el simbolismo matemático empezaba a imponerse. Hoy en día, un científico chino que escribiese a un ruso, emplearía el inglés (¿quizá, mejor dicho, un inglés champurrado!), con muchos símbolos matemáticos y químicos y nomenclaturas biológicas en latín. La carta está cuidadosamente redactada, porque Newton y Leibniz eran más bien rivales que colaboradores y a Newton le parecería importante establecer claramente sus propios resultados.

La importancia que continuamente han tenido las <<comunicaciones privadas>>, como se las llama en la literatura científica, aparece claramente en la carta de James Watson a Max Delbrück (1906- ), escrita el 12 de mayo de 1953. Habla del modelo de Crick y Watson de la estructura del ADN, que estos acababan de descubrir (página 100). Debe admitirse, sin embargo, que hoy se tiende a dar apresuradamente a la imprenta tales comunicaciones. Hasta tenemos revistas especializadas con el título de *Physical Review Letters*, donde se publican <<cartas>> breves que refieren descubrimientos científicos supuestamente importantes, para beneficio de toda la comunidad científica. La creación de este tipo de revista es meramente otro paso en el proceso por el cual las cartas privadas -antes único medio para la rápida transmisión de las ideas científicas- van siendo cada vez más del dominio público.

### Libros

Hasta la revolución científica del siglo xviii, la única manera de dar a conocer las ideas científicas era la publicación de libros impresos. La gran obra de Copérnico (1473-1543), *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Sobre las revoluciones de las órbitas celestes), apareció la semana de su muerte, en 1543, y se vendieron pocos ejemplares. Pero sus ideas se habían difundido entre los escasos astrónomos profesionales, aunque casi no llega-

ron al gran público. La importancia de su libro no fue captada hasta bien entrado el siglo xvii, cuando Kepler lo expuso a la consideración de todos los astrónomos serios y Galileo lo convirtió en el centro de su lucha por una nueva filosofía de la naturaleza. Por otro lado, *De Corporis Humani Fabrica* (Sobre la estructura del cuerpo humano) (fig. 5.2), escrito por Andreas Vesalius (1514-1564) y publicado el mismo año, causó un impacto inmediato y fue ampliamente divulgado. Durante siglos, retuvo su atractivo y función en la enseñanza de la medicina, no solo como el primer libro ilustrado correcto de anatomía humana, sino como la colección de ilustraciones mejor y más bella que haya sido publicada jamás. Recuerdese, sin embargo, que, 50 años antes, Leonardo (página 84) había hecho muchos de estos dibujos, pero no había tenido la paciencia, el sistema y la formación médica técnica para elaborar una obra completa. En el libro de anatomía, como en los *herbolarios* medievales o renacentistas vemos que el trabajo de impresión es algo más que un anuncio sobre un nuevo descubrimiento científico: es una herramienta práctica indispensable para la investigación, comparable con el computador o el microscopio modernos. La coincidencia del surgimiento de la ciencia con el descubrimiento de la imprenta no es, en absoluto, casual.

El libro científico más famoso de los tiempos modernos es *The Origin of Species* (El Origen de las Especies), de Darwin. Cuando fue publicado en 1859, causó un impacto tremendo no solo en la comunidad científica sino entre el gran público. De hecho, Darwin había estado, durante muchos años, coleccionando material para un gran tratado sobre su teoría de la evolución, pero aún no había publicado nada cuando recibió de A. R. Wallace (1823-1913) un breve ensayo académico presentando exactamente las mismas ideas. Este, junto con un trabajo paralelo de Darwin, fue publicado en *Journal of the Linnean Society*. Se puso entonces a trabajar sobre su pequeño libro delineando su teoría -un resumen del tra-



Fig. 5.2. Portada de *Fabrica de Cesalino*, Basilea, 1543. (Atribuida a Jan Stevenszoon van Calcar).

tado proyectado que nunca escribi6. Quizi por ello, *The Origin of Species* es tan ameno y fue entendido inmediatamente por el gran publico. Rara vez una nueva teoria cientffica ha sido establecida con tanta claridad por

su autor original y, por lo comun, tarda muchos afios en entrar en la conciencia publica.

Se sigue escribiendo, publicando y almacenando en bibliotecas los libros cientfficos, aunque cuestan mas de lo que facilmente puede pagar un investigador individual. Por supuesto, muchas obras cientfficas son, por naturaleza, *libros de texto*, que exponen opiniones generalmente aceptadas, dentro de un curso ordinario, para use de los estudiantes. Un libro de texto para estudiantes que aspiran a la graduaci6n, muy recomendado para un curso comun en muchas universidades, es una propiedad literaria valiosa y llega a ejercer una gran influencia. Los puntos de vista que defienda, llegaran a considerarse un conocimiento normal en tal materia; serA la fuente original de un paradigma del coal no escaparaa facilmente la generaci6n siguiente de investigadores. Un profesor universitario experimentado que habla a maestros de escuela, por ejemplo, puede prdcticamente datar sus afios de formaci6n escolar por los libros de texto, de los cuales ellos han sacado evidentemente sus opinions cientfficas.

Por otro lado, el *tratado acad6mico o monografis* va pasando de moda. El trabajo de recoger y comparar cada trozo de conocimiento sobre cierto tema cientffico, presentando quizis un nuevo punto de vista integrador o una nueva teoria bAsica, ha llegado a set muy largo y penoso. Nadie espera hoy -como Darwin- treinta afios para publicar la obra de su vida en un gran libro unico. QuizA la tasa de cambio en el conocimiento mismo es demasiado elevada para que pueda seguirla un autor individual trabajando por su cuenta y riesgo. Debemos contentarnos con *simposios* y otras compilaciones de artfculos de revistas, que constituyen un libro sin unidad ni coherencia, escrito por muchos y diferentes autores.

#### *Revistas especializadas*

El medio mas importante de comunicaci6n cientffica es el *ensayo primario*, publicado en una *revista* erudita. Esta

invention bastante novedosa data del siglo xvii. Debemos mas a las grandes academias cientificas por esta innovation que por todas sus otras actividades juntas (voase pig. 61). Es de hecho un desarrollo natural de dos tipos de comunicacion mas privada. Como hemos visto, el secretario de la *Royal Society*, Henry Oldenburg, recibio muchas cartas de miembros y corresponales cientificos, que contenfan information sobre sus descubrimientos mas recientes. Era natural que el empezara a imprimir las y divulgarlas, aunque la intencion de los cientificos fuera mas bien un trabajo de mayor extension en libros especialmente editados. Asimismo, las cronicas

(03 rtiotornldL T:ANaaCTtnla. ANNA /M9.

Extract of a Letter written to the Editor, from Ply,aouth, Nov 2, 1669, by Wccuaat Dt ps arv, M. D. concerning the Death of the big-breasted Koran, (Noticed in N° 52.) together adth what wan observed is her Body. N° 53, p. 1068.

Elizabeth Travers died on Thursday night, October 21. The neat morning I sent (or a surgeon, and some others to be present at the opening, and taking off her breasts; though we only took off the largest, which was the left, and having weighed it, we found it 64 pounds weight. Upon opening it, (which we did in several places) we could find neither water, nor cancerous humowm, nor any thing vicious, mre than the prodigious site; and the tubu6 and parenchymous flesh were mom white and solid, and no other than what we see in the soundest breasts of women, or the best udders of other animals. She had lost her appetite and rest several weeks before, and made great eomplaints of her breasts from their excessive distension, and her whole body was exceedingly emaciated. I have sent you inclosed one measure, which was the breadth of her two breasts (as she was laid out on a table being dead;) I mean, from the further end of the one to the other; which you will find three feet two inches and a half; and another measure showing the dimension of the breasts longwise, viz. near fur feet (our inches; and a thins, giving the dimension of the breadth, ciz, three feet fur inches sod a half

The right breast we took not off, but guess it might weigh 40 pounds. Some weeks since I began a salivation with her, which lessened her breasts in crrum(ference some inches; but she pmvng not conformable, I durst not proceed to keep op the flut. But she was wondrously revived a(teewarda for scone time. She being weary of that course, I cannad a rustic to be applied; upon which the eschar fell off, yet nothing issued out of the breast. Then I caused an incision-knife to be used, and made an incision two inches and a half deep (supposing the n...rse had not wrought deep enough) but to no more purpose than the former.

An 4comxtt of some Books. N° 53, p. 1068.

1. Certain Philosophical Essays, and other Tracte, by the Ilonovrsblc Robert Boyle, Fellow of the Royal Society. The second edition, enlarged. %n. 1669.

Tins edition is chiefly increased by the addition of a very philosophical dinuse on the absolute rest in bodies, wherein the noble autfor, with his uin idesty and acuteness, delivers his thoughts concerning the intestine mucuos

Fig. 5.3. Pdgina tipica de la primitiva "vista Philosophical Transactions of the Royal Society.

largas y detalladas de las reuniones -*Transactions* (colaboraciones) o *Proceedings* (actas)- se imprimia para archivo de las investigations y para use de los miembros que residian fuera (fig. 5.3).

Las revistas que compilaban estos variados articulos llegaron a ser pronto el medio normal de comunicar nuevos descubrimientos cientificos. Su formato general ha permanecido, tres siglos, casi inalterado (fig. 5.4). Al pensar en la information cientifica, consideramos primero las *revistas primarias o periodicos* que forman gran parte de toda biblioteca cientifica. Sus caracteristicas nos

Another three-chain structure has also been suggested by Fraser (in the press). In his model the phosphates are on the outside and the bases on the inside, linked together by hydrogen bonds. This structure as described is rather ill-defined, and for this reason we shall not comment on it.



This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolize the two phosphate-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis

We wish to put forward a radically different structure for the salt of deoxyribose nucleic acid. This structure has two helical chains each coiled round the same axis (see diagram). We have made the usual chemical assumptions, namely, that each chain consists of phosphate diester groups joining  $\beta$ -D-deoxy-ribofuranose residues with 3',5' linkages. The two chains (but not their bases) are related by a dyad perpendicular to the fibre axis. Both chains follow right-handed helices, but owing to the dyad the sequences of the atoms in the two chains run in opposite directions. Each chain loosely resembles Furberg's\* model No. 1; that is, the bases are on the inside of the helix and the phosphates on the outside. The configuration of the sugar and the atoms near it is close to Furberg's 'standard configuration', the sugar being roughly perpendicular to the attached base. There

Fig. 5.4. Extracto del trabajo de J. D. Watson y F. H. C. Crick que presentaba el descubrimiento de la estructura del ADN.

dicen mucho acerca de la comunidad científica y su funcionamiento.

En primer lugar, un «ensayo» es bastante breve y específico -unas cuantas páginas impresas que compendian el trabajo de pocas semanas o meses. Dentro de tan estrechos límites, es imposible exponer, como en un libro extenso, un sistema de pensamiento completamente nuevo, a partir de sus principios primeros. Un ensayo científico típico está lleno de *referencias o citas* a experimentos, a cálculos, a observaciones o a teorías ajenas (fig. 5.5). No nos arroja de golpe a lo desconocido;

King's College, London. One of us (J. D. W.) has been aided by a fellowship from the National Foundation for Infantile Paralysis.

J. D. WATSON  
F. H. C. CRICK

Medical Research Council Unit for the Study of the Molecular Structure of Biological Systems, Cavendish Laboratory, Cambridge. April 2.

- <sup>1</sup> Pauling, L., and Corey, R. B., *Nature*, **171**, 316 (1953); *Proc. U.S. Nat. Acad. Sci.*, **39**, 84 (1953).  
<sup>2</sup> Furberg, S., *Acta Chem. Scand.*, **6**, 634 (1952).  
<sup>3</sup> Chargaff, E., for references see Zamenhof, S., Brawerman, G., and Chargaff, E., *Biochim. et Biophys. Acta*, **9**, 402 (1952).  
<sup>4</sup> Wyatt, G. R., *J. Gen. Physiol.*, **36**, 201 (1952).  
<sup>5</sup> Astbury, W. T., *Symp. Soc. Exp. Biol.*, **1**, Nucleic Acid, 66 (Camb. Univ. Press, 1947).  
<sup>6</sup> Wilkins, M. H. F., and Randall, J. T., *Biochim. et Biophys. Acta*, **10**, 192 (1953).

Fig. 5.5. Referencias del trabajo ilustrado en la fig. 5.4.

aventura timidamente un pequeño paso adelante partiendo de la plataforma asegurada por investigaciones previas. En otras palabras, la ciencia moderna es una empresa de *colaboración*, a pesar de todas las competencias. Todo lo que hacemos en nuestro Colegio Invisible debe mucho a las realizaciones de nuestros predecesores y contemporáneos y en ellas se encuadra. Pero sin revistas y buenos tratados que integren todos estos esfuerzos individuales, el progreso del conocimiento tendería a la fragmentación y desintegración; por esta falta, algunas materias son más bien una miscelánea de hechos que un cuerpo organizado de conocimientos.

Por otro lado, un ensayo se puede terminar y publicar en unas cuantas semanas o meses; esto imprime una mayor velocidad al tráfico de ideas. Una controversia puede llegar al punto de ebullición, derramarse y resolverse en uno o dos años, en lugar de arrastrarse media vida. La velocidad en la publicación es también muy importante para establecer la *prioridad* de un descubrimiento. La sociología de la ciencia dedica mucho trabajo a esta cuestión que la estructura de motivaciones de la mayoría de los científicos exagera hasta hacerla obsesionante. Una publicación rápida y de amplia difusión es el medio más seguro que tiene el científico, para que *sus* ideas sean difundidas, tengan influencia y no se las apropie otro.

Una propiedad importante de la literatura científica primaria es la constitución de un *archivo* público de investigaciones. Una revista circula regular y automáticamente entre los miembros de la sociedad erudita que la publica, entre suscriptores privados y bibliotecas. Va así formando una serie completa, fácilmente catalogable por fecha, volumen y página. La manera convencional de citar emplea libremente las etiquetas: para todo físico, los símbolos cripticos *Phys. Rev.*, **120** (1969), **63**, significan una referencia precisa a la página **63** del volumen **120** de *Physical Review*, publicado en 1969. Las referencias a libros son más inciertas y difíciles de seguir, porque no hay garantía de que una obra en particular haya sido comprada por la biblioteca en la que uno investiga. Sin embargo, el número de revistas eruditas ha llegado a ser tan grande, que aquellos que debían conocer los ensayos científicos importantes, no los resenan todos. La famosa obra de Mendel (fig. 43) sobre la genética de los guisantes -un problema manifiestamente oscuro- fue publicada en 1866, en la revista *Transactions of the Briinn Natural History Society*, que no era probable que llegase a la mesa de trabajo de un Darwin o un Huxley. El mundo científico no reparó en esa obra hasta 1900. El trabajo de Mayer (1814-1878) sobre la conservación de la energía (fig. 5.6) fue publicado en una revista de química, en 1842, y, por tener una forma muy especula-



tiva, fue ignorado por los físicos, que, cinco o seis años más tarde, llegaron, por otro camino diferente, a las mismas conclusiones. El haber fracasado en el intento de

*Mo y e r, Bemerkungen fiber die Aın/te dcr webelebten Natur. 233*

aus einer Abkochwg sich abscheiden sah, bestand grdstenlbcils aus *pkosphorsawer Magnesia*, die ich in dieser Wurzel immer in grosfer Menge gefunden babe.

Ich werde mich "it einem uiihern Studium einiger der oben aufgefuehrten Stoffe beschiftigen. Ich glaubte, dais es zweek-nWsig sey, wcnn ich zuvor fiber ihre Existenz, ihre Darstellung and ihre allgemeinen Eigenschaften Gewitsheit erlange.

### Bemerkungen fiber die Krifte der unbelebten Natur;

von *J. R. Mayer*.

Der Zweck folgender Zeilen ist, die Beantwortung der Frage zu verauchen, was wir untcr „Kriften“ zu verstehen haben, and wie sich solche untereinander verhalieu. Wihrend wit der Benennung Materie einem Objecte sehr bestinnate Eigenubافتen, als die der Schwere, der Raumerfallung, zngutheit werden, knfipft sich an die Benennung Kraft vorzugsweise der Begriff des unbekannlen, unerforschlichen, hypo hetischcn, „Ein Versuch, den Begriff von Kraft ebenso pricis als den von Materie aufzufassen, find damit nor Objecte wirklicher Forschung zu bezeichnen, dfirfte wit den daraus fliefsenden Consequenzen, Freunden kbrer hypolhesenfreier Naluranschau g nicht unwillkommen aeyn.

Krifte rind Ursachen, mithin findet auf dieselbe voile Anwendung der Grundsatz: *caUSE aequat elfectran*. Hat die Ursache *c* die Wirkung *e*, so ist  $C = e$ ; ist a wieder die Ursache einer andern Wirkung *f*, so ist  $e = f$ , u. a. f.  $c = e = f... = r$ . In outer Kette von Ursachen and Wirkungen kann, wie aus der Natur einer Gleichung erhellt, nie ein Glied oder ciu Theil ewes Gliedes zu Null werden. Diese crate Eigenschaft slier Ursachen nennen wir ihre *Unaeritdrgckkea*.

Fig. 5.6. Artículo de Mayer sobre la conservación de la energía.

que se reconociese el mérito de su obra, puede haber sido la causa del hundimiento mental que obnubiló su mente de 1849 hasta su muerte, en 1878.

### Censores

Aun hoy, con las *revistas de extractos, artículos de revisión y sistemas informáticos*, es importante que el científico consiga que una revista científica reputada publique su investigación, para que ésta suscite alguna atención. Los periódicos eruditos intentan mantener un nivel garantizado de calidad científica en los trabajos que publican. Un trabajo publicado en una de las antiguas revistas editadas por alguna sociedad erudita estaría normalmente firmado por un miembro de la misma, que lo ha comunicado»; de esta manera, la tal sociedad certificaba la autenticidad científica del artículo. O el editor mismo podía establecer el nivel de la revista, confiando en su propio criterio para excluir obras triviales o irracionalismos excéntricos. Para asesorarse recurría a colegas, y de este modo se creó el sistema moderno de censores -especialistas anónimos queleen los trabajos recibidos para publicación y recomiendan su aceptación o rechazo. El editor o los censores de *Annalen der Physik* rechazaron, por ejemplo, el trabajo de Mayer, que sólo aceptó una revista de química, menos apropiada. La cuestión más discutida que da lugar a meses contenciosos en el asunto de la comunicación científica, es el papel de los censores, el peligro de que censuren las nuevas ideas, los procedimientos para apelar contra sus decisiones, etc. Sólo el hecho de que todo censor es eventualmente autor, conserva el equilibrio precario del sistema. Sin embargo, no podemos prescindir de tal sistema, porque es fundamental que el material que formará el archivo de la literatura científica, parezca honesto y plausible por lo menos a aquellos que, al mismo tiempo, pueden determinar su valor. El mero hecho de que un

autor tenga un Doctorado -o incluso sea un distinguido profesor-, no asegura que este exento de desviaciones mentales, estupideces, errores o aun locura leve.

### Productividad

En efecto, es interes personal de los científicos mantener un nivel mínimo de calidad científica en sus revistas, porque el material publicado servira para juzgar su propia calidad. Un trabajo significa ordinariamente cierto numero de investigaciones con exito realizadas por un autor individual. El número de trabajos publicados es, así, una medida burda de la «productividad» científica de cada científico. Observemos, de modo especial, que este indice varia enormemente (fig. 5.7). El número de los que producen por lo menos  $n$  ensayos, decrece rapidamente -de hecho, casi en proporción de  $1/n^2$ : un caso de la relacion general conocida como Ley de Lotka. En otras palabras, la mayoría de los «científicos» ha publicado solamente un trabajo científico; solo un 10 por 100 de la comunidad científica ha publicado mas de 10 ensayos (que seria lo menos que podia esperarse de un profesional); solo un científico entre mil publica 100 trabajos en su vida. Se dice que el número máximo de publicaciones que puede hacer un individuo, se aproxima a 1.000; es decir, un ensayo terminado en cada quincena durante cuarenta años!

Por supuesto, esta «productividad» medida solo por el número de trabajos publicados no es un indice absoluto de calidad científica. Con las palabras de Derek de Solla Price (*Little Science, Big Science* [Pequeña Ciencia, Gran Científica], pág. 40): «Quien osa equiparar un trabajo de Einstein con un ciento de John Doe, doctor en Filosofía, sobre la constante elastica de los diversos tipos -un trabajo sobre cada una- de maderas de las selvas de Basutolandia Inferior! ». Debe admitirse, sin embargo, que la capacidad científica autentica, como quiera que

se la estime, se distribuye de un modo similarmente desigual. Discutiremos sobre este tema en el siguiente capítulo.

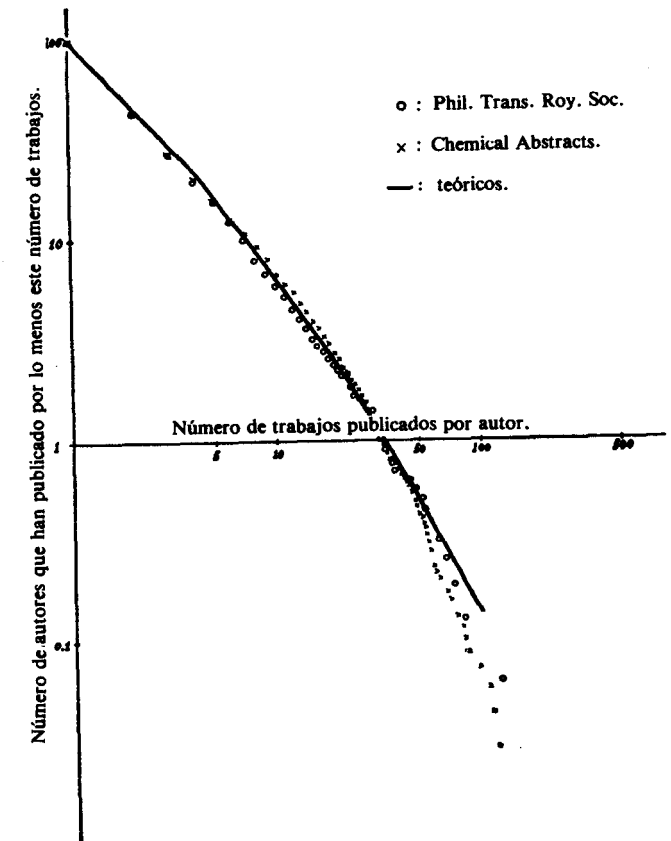


Fig. 5.7. Número de autores que han publicado al menos  $n$  trabajos, en función de  $n$ .

### *Crecimiento y diferenciación*

Traigase a la memoria la tasa de crecimiento de la ciencia (fig. 5.7), que trae consigo una gran tensión para el sistema de comunicación. Una revista dobla su volumen, cada diez años (fig. 5.8). Por supuesto, toda revista nueva empieza sirviendo a subdivisiones cada vez más afinadas del campo total del conocimiento. En un principio, teníamos las *Philosophical Transactions*, que cu-



Fig. 5.8. Páginas de revista publicadas por el American Institute of Physics (Instituto Americano de Física) en 1932 (bajo el brazo) y en 1970 (apiladas).

brian todas las ramas del saber. Mas tarde, fue dividida la revista en secciones de física y biología. Después, las nuevas sociedades eruditas comienzan a editar sus propias revistas de química, astronomía, geología, etc. Hoy en día, hasta las disciplinas mayores han sido divididas en secciones: la revista *Journal of Physics*, publicada por el Instituto de Física, en Inglaterra, tiene seis secciones que los suscriptores compran separadamente, según su interés especial. Hay además revistas comerciales con los siguientes títulos: *Journal of Electron Microscopy*, *Journal of the Physics and Chemistry of Liquids*, que sostienen peculiares colegios invisibles interdisciplinarios. Este proceso de crecimiento, diferenciación y división se da muy fácilmente dentro del sistema actual de revistas primarias, pero conduce, por supuesto, a una mayor fragmentación de los archivos eruditos.

Casi no hay duda de que este sistema de publicación de la literatura científica primaria tiene grandes ventajas prácticas. Es una prueba de su fuerza y flexibilidad el largo tiempo que ha sobrevivido y la adaptación funcional que ha ido experimentando, a través de revoluciones tan fundamentales como la academización del siglo XIX y la industrialización de la ciencia del siglo XX. Muchos se preocupan por el sistema y se quejan de desventajas tales como la cantidad de revistas, la mediocridad de muchos trabajos, la lentitud en la publicación, etc. Pero todas estas son meras consecuencias del tamaño gigantesco de la ciencia misma y de las capacidades modestas de la mayoría de los científicos. Medios modernos como revistas de «cartas» o la circulación de avances impresos de la publicación formal, no evitan realmente las dificultades y tienen sus propios defectos característicos. Lo que se gana en rapidez, se pierde por una impresión mal hecha, poco crítica según los cánones académicos, e imposible de citar. Varias «soluciones» técnicas al «problema de las comunicaciones científicas» se proponen: micropelículas, un almacén central, índices, fichas de datos programadas para computadoras, etc., pero ninguna toca las funciones clave del informe científico para archivo, atribuible, citable, valorado, que se hace realmente.

El problema mas serio, desde el punto de vista del científico practico, consiste en estar al tanto de la literatura publicada sobre su materia y conocer el trabajo recientemente editado que tiene relacion con su propia investigación. Aquí, de nuevo, la revista de extractos, que publica resúmenes de todos los trabajos científicos nuevos, con títulos cuidadosamente clasificados, es un medio bastante antiguo, que no mejora facilmente la informática de perfiles de intereses personalizados, etc. Para quienes gustan de diseñar y vender juguetes mecánicos, es un campo fértil. El esfuerzo real, sin embargo, es humano: consiste en la clasificación cuidadosa y meditada, en la elaboración de índices, en primer lugar, y en un poco de imaginación y conocimiento científico para investigar lo que se quiere. Una atención mas deliberada a la escritura de tratados y artículos críticos de revista, ayudaría también mucho al abrir los archivos y encontrar las partículas de oro entre la arena. En todo caso, es un problema técnico de la comunidad científica misma y tiene poca importancia para la sociedad en general. Es solo un síntoma menor de la obesidad y debilidad de la ciencia en el mundo contemporáneo.

#### *Comunicación informal*

Aunque el conocimiento científico se comunica <<formalmente>> mediante escritos, también se difunde ampliamente a través de la palabra hablada. El científico no solo describe\* sobre su investigación; con frecuencia habla sobre ella, da conferencias sobre ella y la discute con otros científicos de la misma especialidad. Como hemos visto, el propósito original de las primeras academias científicas era proveer de un lugar de reunión para tales informes y discusiones verbales. Todos los jueves, a las 4,30 p.m., después del te, se lee todavía un trabajo científico en la *Royal Society* de Londres, como ha sido costumbre desde hace 300 años. Pero esto no es nada comparado con los *seminarios y coloquios* innumerables

que sostienen conferenciantes de otros centros y aun de otros países, en toda universidad o instituto de investigación. Se espera que todo científico de regular renombre realice, cada año, varias visitas a tales centros, en su país o en el extranjero. Es una costumbre relativamente nueva, que han facilitado el transporte aéreo y el generoso financiamiento de la investigación moderna y que constituye un medio muy importante para la rápida difusión de las ideas.

A esto debe añadirse la oferta de subvenciones para profesores visitantes, esquemas de intercambio y otros medios que permiten a los científicos de todos los niveles pasar semanas, meses o años en instituciones extranjeras, aprendiendo nuevos métodos de pensamiento y enseñando las habilidades especiales que poseen. Ser internacional está implícito en la definición auténtica de la ciencia como cuerpo de conocimiento público. Colegas de todo el mundo, miembros de un Colegio Invisible, se conocen cooperando realmente en la investigación durante tales reuniones; se refuerzan vínculos personales que no existirían por la mera lectura de los trabajos científicos de los demás. Esto ha sido así siempre, pero la comunidad científica internacional, especialmente en Europa occidental y Norteamérica, se ha visto grandemente reforzada en las últimas décadas, por el constante trasiego de los trabajadores de la investigación de todas las nacionalidades. La generalización mas significativa posible sobre la comunicación científica es que las *ideas viajan dentro de las personas*.

#### *Congresos*

La manifestación mas inmediata de esta tendencia es la proliferación de *congresos científicos y escuelas de verano*. En la era del ferrocarril, las posibilidades de un viaje rápido para reunir a todos los expertos en un tema científico concreto, no fueron adecuadamente aprovechadas. Hasta los años 1920 y 1930 las *Conferencias Solvay*,

que se iniciaron en 1911 (fig. 5.9), financiadas por la gran corporación química Solvay de Lieja, eran las únicas

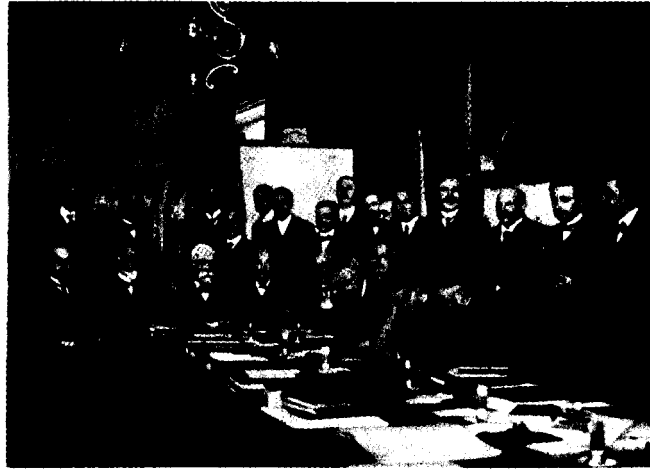


Fig. 5.9. La Conferencia de Solvay, 1911-1912. De izquierda a derecha: de pie, Goldschmidt, Planck, Rubens, Sommerfeld, Lindemann, De Broglie, Knudsen, Hasenöhrl, Hostelet, Herzen, Jean, Rutherford, Kamerling Onnes, Einstein, Langevin; sentados, Nerst, Brillouin, Solvay, Lorentz, Warburg, Perrin, Wien, Madame Curie, Poincaré.

conferencias internacionales regulares de físicos, que investigaban sobre problemas tan fundamentales como la estructura nuclear y la mecánica estadística. Sin embargo, después de la segunda guerra mundial, el cuadro cambia totalmente. Con fondos de varias fuentes -organizaciones de investigación gubernamentales, industria privada, fundaciones, organizaciones internacionales-, el calendario de reuniones sobre cualquier tema científico concebible se hacía cada vez más recargado. Hay desde conferencias muy especializadas y exclusivas de 50 a 100 expertos de alto nivel que se enzarzan en profundos debates en un hotel de los Alpes (con largas caminatas vespertinas para

propiciar la atmósfera de informalidad), hasta congresos de 5.000 cristalógrafos o bioquímicos de varias especializaciones, que se reúnen en interminables sesiones paralelas, en una docena de salas de estudio diseminadas en una gran ciudad como Viena o Tokio. Un científico de primera categoría, de fama internacional, puede ocupar su vida entera asistiendo a estas reuniones, saltando de un lugar a otro del mundo, de avión en avión, de hotel en hotel, leyendo una conferencia convencional, respondiendo a las preguntas de costumbre y cenando bien con un grupo de colegas de otros países, que hacen el mismo periplo. O puede estar en una escuela de verano, dando clase diaria, durante una o dos semanas, mientras disfruta de sus vacaciones en Florida, Sicilia, Noruega o Bangalore. Los más jóvenes escuchan, se reúnen con sus contemporáneos y empiezan a tener el sentimiento de que también ellos pertenecen a la comunidad internacional de la ciencia.

Es fácil ridiculizar las conferencias científicas. Hay obviamente demasiadas, los programas están sobrecargados, el nivel de discusión es, rara vez, muy elevado. Por una parte, se las toman demasiado en serio, como si fueran realmente importantes; por la otra, es frívolo suponer que pueda decirse algo útil en una charla de diez minutos o aprenderse en quince conferencias. Se han convertido en una trampa para la ciencia moderna -una excusa para que el *viajero notable* haga gastos suntuarios que simbolicen su poder y su éxito en el mundo.

Sin embargo, dichas conferencias están al servicio de una función vital en la comunicación del conocimiento, uniendo a la comunidad científica internacional con lazos de personal amistad y mutuo entendimiento. Si no podemos asistir a conferencias internacionales sobre nuestras especializaciones ni encontrarnos con los científicos contemporáneos del mundo, estaremos condenados al aislamiento, al provincianismo y eventualmente a la frustración de todos nuestros esfuerzos para mantenernos al tanto de las movidas fronterizas de la ciencia. Esta es la situación desventajosa de tantos científicos en los paí-

ses en desarrollo (vease cap. 11), que tienen que desplazarse a lugares lejanos con tan poco dinero para hacerlo. Es también, en grado considerable, la desgracia de la ciencia en la Unión Soviética y sus satélites, donde los obstáculos políticos para viajar, repercuten seriamente en la conducción real de la investigación más allá del daño evidente que padece la moral de los mismos investigadores.

#### *Divulgación de la ciencia*

He estado hablando sobre las comunicaciones dentro de la comunidad científica. ¿Que podemos decir de la divulgación del conocimiento científico al gran público? No es una tarea trivial, ni tampoco nueva. <<No es fácil encontrar un remedio para esta situación (la decadencia del gusto por la ciencia), pero el que parece más obvio es facilitar a las clases cultas una serie de trabajos sobre las ciencias populares y prácticos, escritos en un lenguaje simple y claro, sin símbolos matemáticos ni términos técnicos, ilustrados con hechos y experimentos adecuados a la capacidad de las inteligencias ordinarias.\* La cita está tomada de *Quarterly Review* de febrero de 1831. Si retrocedemos un siglo, nos encontramos a Swift, por quien habla Gulliver:

*<<En suma, su discurso tenía este propósito: hacia aproximadamente cuarenta años, algunas personas llegaron a Laputa, por razones de negocio o diversión. Después de estar allí cinco meses, volvieron con un muy pequeño y somero conocimiento matemático, pero llenos de espíritus volátiles adquiridos en aquella aireada región. Estas personas, a su regreso, empezaron a sentirse disgustadas por la manera en que se llevaban las cosas aquí abajo y concibieron el plan de dar una base nueva a todas las artes, ciencias, lenguajes y mecánica. Para este fin, se procuraron una licencia real para erigir una academia de proyectistas en Lagado. Este estado de ánimo prevaleció*

*tan fuertemente entre estas personas, que no hay ciudad de cierta importancia en el reino que no tenga una tal academia. En estos colegios, los profesores inventaron reglas y métodos nuevos de agricultura y construcción, y nuevos instrumentos y herramientas para todos los oficios y manufacturas; por lo cual, según su plan, un hombre haría el trabajo de diez; puede construirse un palacio en una semana con materiales que duren eternamente, sin necesidad de reparaciones; todos los frutos de la tierra madurarán en la estación que nos parezca bien escoger y aumentarán en cien veces lo que producen al presente; y otros innumerables propósitos dichosos. El tihico inconveniente es que todavía ninguno de estos proyectos ha sido perfeccionado, y, mientras tanto, todo el país yace miserablemente desperdiciado, las casas en ruinas y la población, sin comida ni vestido. A pesar de todo ello, en lugar de desanimarse, están cincuenta veces más fuertemente inclinados a proseguir sus proyectos, llevados simultáneamente por la esperanza y la desesperación. Decía que el mismo, no siendo un espíritu emprendedor, estaba contento con seguir las viejas formas, con vivir en las casas que sus mayores habían construido y actuar como ellos actuaron en cada edad de su vida, sin innovaciones. Otras cuantas personas de calidad y nobleza habían hecho esto mismo, pero eran miradas con desprecio y mala voluntad como ignorantes, enemigos de las artes y del bien común, que preferían su propia comodidad ociosa al mejoramiento general de su país.*

*Su Señoría a Madio que el no me impediría, por ningún otro medio, el placer que ciertamente tendría en ver la gran academia, a donde estaba resuelto a enviarme. Solo deseaba que mirara un edificio en ruinas, en la falda de una montaña a tres millas de distancia, sobre el cual me conto lo siguiente: Tenía un molino muy bueno, a media milla de su casa, movido por la corriente de un gran río, suficiente para su propia familia y para un gran número de inquilinos. Hacia aproximadamente siete años, un grupo de dichos proyectistas se dirigió a él para proponerle la destrucción del molino y la construcción de otro en la*

f alda de esa montana; sobre un gran reborde deberia excavarse un largo canal para depdsito de agua, del cual deberian salir los tubos que conducirian el agua, bombeada mediante maquinas, para proveer al molino, porque el viento y el aire, a determinada altura, agitaban el agua y, por lo tanto, la hacian mas adecuada para el movimiento, y porque el agua, descendiendo por una pendiente, haria dar vueltas al molino con la mitad de la corriente de un rio cuyo curso tenia varios niveles. Dijo que, presionado por muchos de sus amigos y no estando muy a bien con la Corte, habia aceptado la propuesta. Despues de emplear cien hombres, durante dos anos de trabajo, fracaso; los proyectistas desaparecieron, dejandole a el toda la infamia, pues, desde entonces, se le reprocha este asunto; y llevando a otros a realizar el mismo experimento, con la misma esperanza de exito y con el mismo desengan"o consecuente (...)

(...) volvimos a la ciudad y su Excelencia, considerando el mal ambiente que tenia en la academia, no iria personalmente conmigo, pero me encomendo a un su amigo para que me acompanara hasta alli. Mi Senor se alegraba en presentarme como un gran admirador de los proyectos y una persona muy curiosa y credula; lo cual, en efecto, tenia su verdad, porque yo habia sido una especie de proyectista, en mis anos mozos.

Esta academia no esta en un editicio tinico, sino que ocupa varias casas contiguas a ambos lados de una calle, que, estando desocupadas, fueron compradas y dedicadas a este fin.

Fui recibido muy amablemente por el director y asisti muchos dias a la academia.. En cada habitacion, vive uno o mas proyectistas y, me parece, no podia haber menos de quinientas habitaciones.

El primer hombre que vi, tenia el aspecto macilento, la cara y manos negras, el cabello y la larga barba chamuscados en varios puntos y en desorden. Sus vestidos, camisa y piel eran totalmente del mismo color. Habia estado ocho anos en un proyecto para extraer rayos del sol de

los pepinos; estos debian ser colocados en un botellin hermeticamente cerrado y permitirseles la salida en los inclementes veranos frios, para calentar el aire. Me dijo que no dudaba que, en ocho anos mas, seria capaz de proporcionar rayos solares al gobernador para sus jardines, a un precio razonable; pero se quejaba de que su almacen estuviera escaso y me suplicaba que animara en algo su ingenio, especialmente teniendo en cuenta que esta habia sido una estacion muy propicia para los pepinos. Le hice un pequeno presente, porque mi Senor me habia provisto de dinero a posta, pues conocia el habito que tenian de mendigar de los que iban a verlos.»

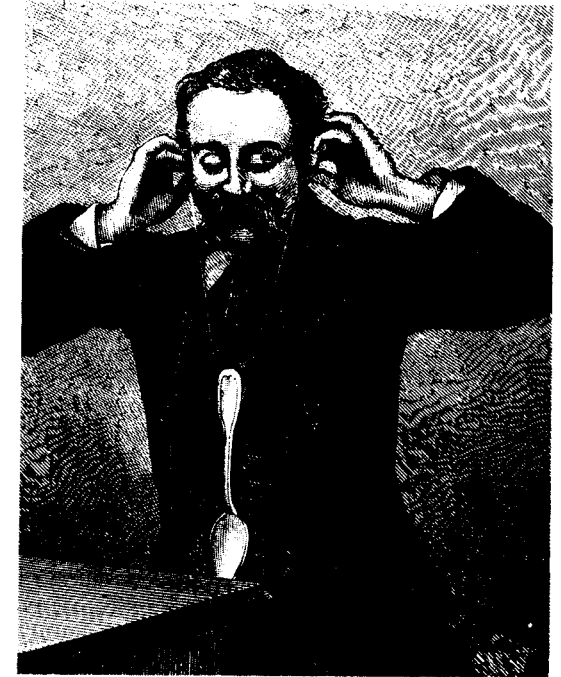


Fig. 5.10. Conduccion del sonido a traves de cuerpos solidos.

Resulta claro de este pasaje que los miembros de la *Royal Society* habían fracasado estentoreamente en hacer entender al decano la importancia profunda de su investigación y el beneficio que seguramente traería a la nación. Si hombre tan bien educado mostro ignorar la ciencia tanto como para ridiculizarla de esta manera, ¿cuál debió haber sido la situación del pueblo en general?

Los libros de ciencia popular no son un invento nuevo. Este (fig. 5.11) data de finales del siglo xix y está lleno



Fig. 5.11. Experimentos en la Royal Institution, 1802. Gilray, a; Investigaciones científicas! ¡Nuevos descubrimientos en PNEUMÁTICA!, o Una clase experimental sobre los poderes del aire».

de imágenes deliciosas y fórmulas para conjurar. La impresión en color es la aportación más importante de nuestra era a este tipo de literatura.

Otra especialidad del siglo xix fue la conferencia científica popular. La *Royal Institution* fue fundada en 1799 por el conde Rumford (pág. 90), como una especie de

colegio técnico, donde las ciencias socialmente importantes pudieran ser dadas a conocer al pueblo. De hecho, llegó a ser un pequeño, pero exitoso laboratorio de investigación donde Davy y Faraday (pág. 71) hicieron sus grandes descubrimientos. Aquí se desarrolló un estilo magisterial de conferencia popular (fig. 5.11), ilustrada con numerosas y elegantes demostraciones que pronto se puso de moda entre las clases educadas del Londres victoriano. Esta tradición se prolonga hasta nuestros días. Los programas de televisión de la *Royal Institution* -clases navideñas para niños- figuran entre los mejores programas de ciencia popular que se producen hoy en Inglaterra.

#### *La British Association (Asociación Británica)*

Otro desarrollo interesante fue el de la *British Association for the Advancement of Science* (Asociación Británica para el Progreso de la Ciencia). Fundada en 1831, alcanzó la cumbre de su poder y renombre en los últimos años del siglo. Como sugiere su nombre, la importancia social era su objetivo central e incluía tanto miembros profanos, como científicos profesionales y académicos. El reglamento de esta organización poco común prescribía especialmente reuniones anuales que debían celebrarse, durante una semana, en alguna ciudad provincial; en ellas, los expertos debían pronunciar numerosas conferencias sobre todo tipo de temas. Era su propósito unir ciencia y sociedad para bien de la nación; de hecho, su objetivo estaba muy cercano al ideal -de que la ciencia sea consciente de su responsabilidad social. Sin embargo, los profesionales tendían a considerar y tomar dicha asociación, como un lugar general de encuentro para la comunidad científica, donde podía darse cuenta de los nuevos descubrimientos y organizarse discusiones generales sobre cuestiones controvertidas. Para la ciencia britá-



nica en general era el equivalente de un conglomerado de conferencias anuales, que permitía a cada sección celebrar, con independencia, sus misterios particulares.

La reunión más famosa de la *British Association* fue en Oxford, en 1860, cuando el obispo de Oxford, Samuel Wilberforce (el «craso Sam»), acerbamente opuesto a la teoría de Darwin sobre la evolución de las especies, preguntó sarcísticamente si T. H. Huxley (véase fig. 157) remontaba su origen a los monos a través de su padre o de su madre. Huxley respondió que «si tuviera que elegir como ancestro a un miserable mono o a un hombre culto que osaba hacer tal observación en una discusión científica sería, escogería al mono.

La *British Association* comenzó a decaer recientemente; ello es una seria pérdida para la ciencia y para la sociedad. Es esencial para toda la comunidad científica contar con una tribuna general para expresar sus opiniones, que no tiene en la *Royal Society*, encumbrada en su altísimo pináculo, ni en las diversas sociedades eruditas más especializadas. Desafortunadamente, la reunión periódica anual ya no es una forma satisfactoria de asamblea, pues es pesada, exige demasiado tiempo y reacciona lentamente ante los desafíos externos. Si la *British Association* no hubiese existido, sería necesario inventarla, naturalmente, en una versión más moderna y eficaz, que sirviera de puente entre la ciencia profesional y la comunidad científica en general. La *American Association for the Advancement of Science* (Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia), con una constitución similar, parece irse adaptando mejor para desempeñar este importante papel.

#### *Periodismo científico*

Quizá este es solo un síntoma de una tendencia general. La tarea y la obligación de la ciencia explicativa se es-

capen de las manos de los investigadores y las asume un cuerpo de profesionales medios -periodistas de la ciencia, escritores de libros populares y productores de televisión. Los científicos de primera categoría están hoy, por lo común, demasiado especializados en sus campos de interés, demasiado metidos en la competencia, demasiado ocupados con la administración, los viajes y otros asuntos, para realizar el esfuerzo de interpretar sus descubrimientos para que el gran público los entienda. Así, encontramos ahora < expertos en comunicación > que se especializan en escribir columnas en los periódicos y en hacer programas de televisión sobre temas científicos. Tenemos también revistas especializadas -en particular la *Scientific American*- que se ocupan únicamente de la exposición de los trabajos científicos recientes, sin utilizar un lenguaje técnico. Las habilidades técnicas necesarias para el empleo de estos medios son indudablemente muy elevadas; los mejores programas y artículos están her-

mosamente ilustrados y poseen una gran precisión científica. No es claro en qué grado los ven y los leen los que no son científicos. El tiraje registrado de *Scientific American* se acerca al medio millón mensual de ejemplares. ¿No podría comprar tal cantidad la comunidad mundial de científicos profesionales, ingenieros y otros técnicos, además de los estudiantes de universidades, colegios técnicos y escuelas de bachillerato? Es ya para el especialista un trabajo de tiempo completo, mantenerse al día de la literatura sobre investigación en su propio campo; la «ciencia popular» de primera clase es inestimable como lectura fundamental para el trabajador científico mismo, aunque, por otra parte, desborde la capacidad del hombre ordinario.

#### *El problema de la comunicación*

Dar a conocer la ciencia moderna al ciudadano ordinario, aunque es una tarea necesaria, importante y deseable,

no puede considerarse fácil. El primer obstáculo es la falta de formación científica básica. Es casi imposible hablar de los descubrimientos nuevos más elementales a gente que no ha asimilado los conocimientos rudimentarios que, de antiguo, existen sobre un tema concreto. No es fácil enseñar la ciencia en las escuelas y rara vez se supera las primeras barreras de la ignorancia para empezar a estructurar un sistema coherente. El lenguaje en que se expresa y capta la mayor parte de las ideas científicas, se aprende en años y no puede ser parafraseado para hacerlo más fácilmente comprensible. Hasta los estudiantes de ciencias tienen una ignorancia supina sobre disciplinas diferentes de la suya: los estudiantes de física pueden conseguir un título académico sin tener en absoluto ninguna idea de la función del ADN en la reproducción; no cabe duda, por otra parte, que los estudiantes de zoología ignoran igualmente la naturaleza de las ondas de radio o la teoría electrónica de la valencia química. Hasta que no se provea de un curso completo de ciencia general en las escuelas secundarias, que esboce los caracteres principales del mundo de la naturaleza, como lo conocemos ahora, y preste cierta atención a la importancia histórica, social y tecnológica de este conocimiento, es un esfuerzo perdido hacer maravillosos programas sobre pulsates, la «deriva continental» o la estructura del cerebro, para el gran público.

Es también difícil lograr que la gente se interese y emocione con los descubrimientos científicos, sin degradarlos completamente desde el punto de vista intelectual. El investigador y el periodista tienen temperamentos incompatibles que crean problemas muy reales. Hay una contradicción real, en efecto, entre el sensacionalismo y la cautela científica, entre la exageración colorida y la precisión esceptica, entre la modestia e impersonalidad que se considera características del científico y el culto a la personalidad deslumbrante que promueve la prensa popular. Es una debilidad de la ciencia moderna que el científico se retraiga de este tipo de publicidad y de así la impresión de ser un mistagogo arrogante; pero es com-

preensible que tenga esta aversión genuina al estilo de persona y de literatura que debe aparentar en el mundo de los medios de comunicación de masas. Es esencial reconocer la profundidad y la anchura de esta brecha psicológica, si se quiere tender, con éxito, un puente sobre ella.

*Y así, en lo que se refiere a animales, vegetales y minerales, soy el auténtico modelo de un General en Jefe moderno.*

W. S. GILBERT

#### *Desigualdades en la república de la ciencia*

En principio, la comunidad científica es una república democrática. Cualquiera que tenga nuevas ideas o críticas válidas a las ideas corrientes, puede publicarlas. Los brillantes avances científicos los han realizado jóvenes de gran originalidad. En 1830, Evaristo Galois (fig. 6.1), estudiante de primer año de la *Ecole Normale*, murió en un duelo, a la edad de 21 años. La noche anterior escribió una carta explicando su teoría sobre la solución de ecuaciones algebraicas. Esta constituyó el fundamento de una rama enteramente nueva de la matemática pura -la teoría de grupos- que ha transformado completamente nuestras ideas acerca de la naturaleza del álgebra y de la geometría.

Esta genialidad temprana no siempre pasa desapercibida. B. D. Josephson (1941- ) no se había graduado todavía en Cambridge, cuando señaló que un importante experimento que empleaba el efecto Mossbauer para probar la teoría de la relatividad, estaba sometido a un



Fig. 6.1. Evariste Galois, a la edad de dieciséis años.

efecto significativo de temperatura -punto este que ha pasado por alto los físicos experimentados que habían planeado el experimento. Más tarde, siendo aún estudiante de investigación, descubrió un nuevo fenómeno cuántico fundamental en superconductores. Fue elegido miembro de la *Royal Society*, en 1970, cuando tenía 29 años, y, en 1973, le fue otorgado el Premio Nobel de Física.

En la práctica, sin embargo, el mundo científico está, como cualquier otro grupo humano, muy estructurado; unos cuantos científicos son más iguales que otros. Para entender la relación de la ciencia con la sociedad, debemos comprender el papel de los líderes o, como suele llamarseles, de las «autoridades» científicas.

Ya hemos observado la amplia gama de realizaciones científicas individuales. Aunque la medición cuantitativa del número de los trabajos publicados (fig. 6.2) es un índice de la capacidad científica en todo caso particular; una escala de 1.000 a 1 en logros alcanzados es tan normal en ciencia como en cualquier otra actividad hu-

mana creativa. V. Ginzbur, en su nota necrológica sobre L. D. Landau (1908-1968) decía que este había clasificado a los físicos, según una escala logarítmica.

«Esto significa que un físico de segunda categoría -por ejemplo- ha realizado (precisamente realizado, pues estamos hablando solo de realizaciones) un decimo de lo que realiza un físico de primera categoría. En esta

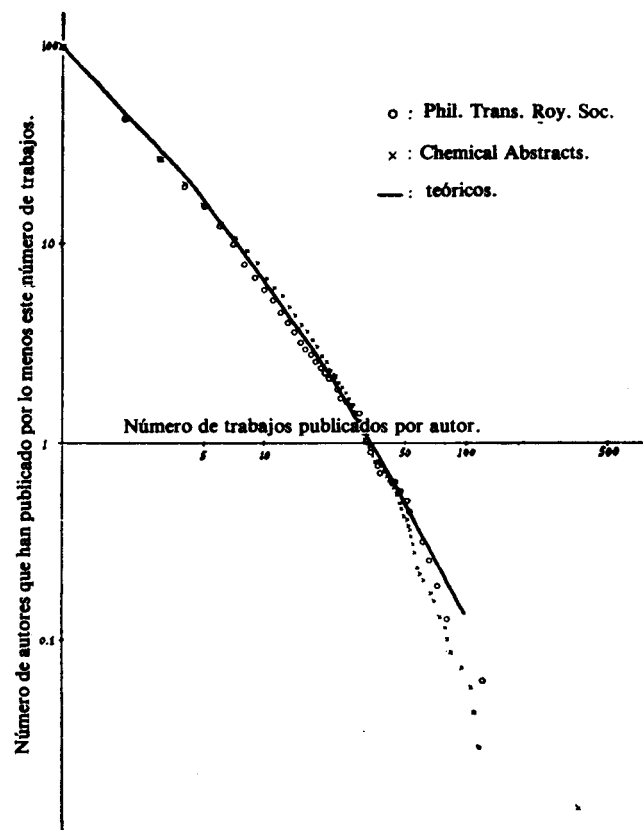


Fig. 6.2.

escala, Einstein estaba en la categoría de un medio, y Bohr, Schrodinger, Heisenberg, Dirac y unos cuantos mas en la primera categoría. Landau se coloco en la categoría de dos y medio (es decir, solo un centesimo de un Einstein!), y solo ha diez años, satisfecho con algunos trabajos (me acuerdo de esta conversacion, pero olvido el trabajo en cuestion), afirmo que trabajaba para ascender a la segunda categoría.»

Medir la calidad en esta forma es difícil y peligroso. Todos tenemos noticia de descubrimientos muy aclamados en su día, que han resultado estériles y aun falsos. Muchos de los mas famosos descubrimientos no eran totalmente originales o no se debía unicamente a aquellos que obtuvieron el reconocimiento por los mismos. Ya hemos hecho notar (fig. 119) la tragedia de Mayer, cuyo descubrimiento del principio de conservacion de la energia paso desapercibido, cuando se publico por primera vez. De hecho este principio, antes de ser un conocimiento aceptado, lo establecieron con bastante claridad e independientemente, doce científicos diferentes.

Por otro lado, algunos trabajos realmente de primera categoría, según la escala de Landau, no tuvieron, en su día, el debido reconocimiento publico. Por ejemplo, ni Willard Gibbs (1839-1903), ni Ludwig Boltzmann (1844-1906), fuentes originales de casi todo lo que debe conocerse acerca de la termodinamica estadística, recibieron el Premio Nobel. Y recordemos que Alfred Wegener (pagina 93) fue considerado, toda su vida, un excentrico por defender la hipotesis de la Deriva Continental.

Por estas razones, un sistema muy desarrollado de premios, recompensas y honores publicos por el trabajo científico, es peligroso y deshonesto. Racer Kestrelas» de unos cuantos y, así, en consecuencia, degradar a aquellos que trabajan mucho con menor fortuna, no es saludable. Enrico Fermi (fig. 101) esta que ni pintado para parecer un loco con el sombrero emplumado de academico real (fig. 6.2). El «camino a Estocolmo» a por el Premio Nobel, no esta abierto a muchos de los que, en verdad, merecen tal honor. Todo el asunto de aspirar a



Fig. 6.3. Fermi. Miembros de la Academia Real de Italia. Fermi, en el extremo derecho.

titulos y de hacer grados de calidad en la ciencia, como en el arte, es demasiado incierto para estar justificado. Seria mejor mantener en publico la fiction de la igualdad en las categorias del nivel academico profesional y no poner un acento social adicional a las diferencias naturales de capacidad, demasiado evidentes para los que estin dentro del sistema.

#### *Autoridad intelectual*

Sin embargo, la autoridad cientifica es muy real y se presenta en multiples y diferentes formas. Considerese, en primer lugar, la autoridad del poder intelectual, cuyo supremo ejemplo es Isaac Newton.

Como hemos visto (fig. 54), Newton vivi6 una vida tranquila como miembro directivo de Cambridge, hasta la edad de 54 anos. No era exactamente un ermitano, pero se comunicaba con el mundo cientifico principalmente a traves de sus cartas y libros. Tuvo muchos correspondientes, pero ningun alumno personal y no fund6 ninguna «escuela» de investigation. En 1686, fue director

de Ja Casa de Moneda y llevo a cabo, con gran eficacia, una reforms de la acunacion, aunque por ello merecerla escasamente una referencia incidental en Historia. Como funcionario civil, por ejemplo, no puede compararse con Christopher Wren (1632-1723), que reconstruyo Londres despues del incendio, ni con Samuel Pepys (1633-1703), que reconstruyo la Armada Real. Durante muchos anos, presidio la *Royal Society*, pero mss bien como un administrador creativo.

Sin embargo, su influencia fue enorme. En la ciencia misma, sus descubrimientos y teorias revolucionaron la astronomla, la fisica y las matemiticas. El desarrollo de estas materias, durante los siguientes 150 anos, no parece sino la elaboration de sus ideas. Los grandes fisicos matemiticos franceses de finales del siglo xviii, Laplace y Lagrange, consideraron sus numerosos descubrimientos meras consecuencias necesarias de la < sintesis newtoniana >> de la mecanica clisica.

Recuerdese, sin embargo, que en su gran trabajo sobre 6ptica, Newton terming finalmente prefiriendo la teoria de las particulas -como si la luz fuese una corriente de particulas. Desafortunadamente, esta teoria era incorrecta, pues no podia explicar los fen6menos de difraccion. La enorme autoridad de Newton retraso probablemente la introducci6n de la teoria ondulatoria de la luz, que no fue aceptada hasta alrededor de 1820.

Como el miximo cientifico de su tiempo, Newton se convirti6 en simbolo de la ciencia *inglesa* y una fuente especial de prestigio nacional. El juego publicitario actual de contar los premios Nobel, como si fuesen medallas olimpicas o partidos de futbol ganados, no es nuevo. Para muchos lideres politicos, la atencion que el Estado presta a la ciencia se justifica como un medio de animar y recompensar a los grandes nombres en esta competition internacional. El orgullo national puede algunas veces interferir en el juicio cientifico. El simbolismo matemitico de Newton fue retenido en Inglaterra durante varios siglos; aunque no es realmente tan bueno como el metodo Leibniz para expresar las operaciones de calculo.

Leibniz, después de todo, fue extranjero (pág. 54), no inglés.

Pero la autoridad intelectual de Newton tuvo una influencia mucho mayor. Su nombre es invocado normalmente como la causa primera del cambio en «la concepción del hombre acerca de la naturaleza», ocurrido en los siglos xvii y xviii. El éxito de Newton al explicar muchos aspectos del movimiento de la tierra, la luna, los planetas y el sol hicieron plausible una descripción completa del universo, en términos matemáticos, y la idea de que este funcionaba «como una pieza de relojería», con una escasa intervención incluso de una deidad benevolente. Esto no era, en absoluto, lo que Newton mismo creía ni tampoco lo que dijo. Tuvo opiniones teológicas ligeramente excéntricas, pero no publicó ninguna de sus vastas investigaciones en cronología bíblica. Tuvo exigencias mucho más modestas en su trabajo científico que fue, por supuesto, bastante incomprensible para casi todos los que no eran matemáticos expertos. Sin embargo, una versión popularizada y distorsionada de su trabajo se convirtió en el principio rector del pensamiento europeo en la «Edad de la Razon». Sirvió lo mismo al agnosticismo que deseaba expulsar completamente a Dios del cuadro, como al teólogo que podía referirse a la eficacia extraordinaria de Su construcción del universo. Se convirtió en una justificación para tratar a los hombres como máquinas y constituyó una base de doctrinas nuevas acerca del espacio y del tiempo.

El efecto de la mecánica analítica en los fundamentos metafísicos de la civilización europea es tan importante como sus consecuencias tecnológicas. El nombre de Newton se convirtió en un símbolo de la autoridad intelectual de la ciencia, que podía ahora reclamar su completa igualdad con la religión, como motor primero de la sociedad humana. De modo característico, esta autoridad ha sido personificada y enfocada a través de su más famoso creador individual, cuyos descubrimientos y teorías científicas son generalizadas, simplificadas en exceso y utilizadas como dogmas. Aunque dominante y poco escrupu-

lo en defender sus prioridades científicas, cuando ya era viejo, no puede recaer en Newton la infamia de los múltiples usos ilegítimos para los que ha sido usurpada su autoridad; pero el liderazgo científico acarrea la responsabilidad personal de determinar claramente los límites de aplicación de nuestro entendimiento corriente.

El equivalente moderno de Newton es, por supuesto, Albert Einstein (1879-1955) (fig. 6.3). Fue una persona poco mundana, gentil, santa, que no fundó ninguna es-



Fig. 6.4. Einstein montado en bicicleta, en casa de un amigo cerca de Los Angeles, febrero de 1933.

cuela de discipulos y no tuvo cargo publico de gran poder. Los modernos medios de comunicacion lo hicieron una figura mundialmente famosa, el equivalente cientifico de Picasso en arte o de Stravinsky en musica. Su gran cabeza de cabello blanco, su aspecto tranquilo, la simplicidad de su modo de ser, vestirse y vivir, contribuyeron a la imagen perfecta del genio cientifico, que vive en un plano de existencia distinto del de los meros mortales. Al decir *cientifico*, la respuesta condicionada perfecta es: *Einstein*.

La autoridad de Einstein fue expresada a traves de sus logros soberbios en la fisica teorica. Estos se anaden a un pequeno numero de trabajos y a unos cuantos libros breves. Para el publico comun, estos son bastante incomprendibles y su ultima obra pareceria aun a los fisicos profesionales muy dura y no enteramente lograda. Las versiones simplificadas de su teoria de la relatividad no son plausibles sino superficialmente; es esencial una larga formacion en fisica y matematicas para apreciar la belleza, originalidad y fuerza interna de sus ideas.

Sin embargo, el publico mira este trabajo casi con temor reverencial. La formula matematica  $E=MC^2$  ha llegado a ser simbolo del poder del hombre sobre la naturaleza y del de la ciencia sobre la humanidad. La transformacion de esta relacion hipotetica entre masa y energia en la realidad terrible de la bomba atomica, fue el suceso traumatico de la ciencia y sociedad modernas. Einstein mismo era evidentemente demasiado dulce y benévolo para que se le injurie considerandolo un genio del mal; sin embargo, su elevacion a santo patrono de la Fisica puede deberse tanto al miedo como al respeto.

En las esferas filosoficas, politicas y aun esteticas, el nombre de Einstein se invoca para justificar principios dudosos del <<relativismo>> que no tienen ninguna relacion con su sentido particular autentico: las dimensiones de espacio y tiempo son <<relativas>> al movimiento de un observador fisico. Pero una teoria misteriosa que parece turbar todas nuestras nociones convencionales acerca de la estructura del mundo cotidiano, fue precisamente la

medicina ordenada por el doctor para aquellos que proclaman modas nuevas dentro del *zeitgeist*. Después del viejo mecanismo de relojería del < newtonianismo > y de la lucha por la supervivencia del <<darwinismo>>, ¡qué enormemente oportuno tener en el <<einsteinianismo>> una excusa para la revolución social y artística! El problema no es el grado de influencia que esta teoría científica haya tenido en la filosofía general de la sociedad moderna, sino el grado en que los movimientos ideológicos, inspirados en otras fuentes sociales, tienden ahora a reivindicar su legitimidad basándose en ideas científicas. Copérnico, Newton y Darwin personifican estadios sucesivos en el dominio de la ciencia sobre muchos aspectos de la naturaleza que anteriormente controlaba la teología. Einstein no parece representar ni un paso adelante ni un paso atrás en esta vía concreta.

Estas observaciones son abstractas y esquemáticas, pero la historia personal de Einstein es también un ejemplo muy instructivo de otro aspecto de la relación entre el genio científico y la sociedad. El racismo de la Alemania nazi, a partir de 1920, se ensañó violentamente contra Einstein, como líder intelectual judío de su época. El violento antisemitismo trastornó el orgullo patriótico que el pueblo alemán tenía en su preeminencia científica. Se hicieron intentos deliberados para probar que la relatividad era falsa, precisamente porque la había descubierto un judío, acusado de <<contaminar la física aria>>, etc. Einstein, de por sí, no estaba muy interesado en política (su corazón era quizá más suizo que alemán), pero, en 1933, se vio obligado a exiliarse en los Estados Unidos. Así escapó del terror de Hitler más fácilmente que la mayoría de los judíos europeos; pero el episodio demuestra, en sus extremos patológicos, el grado en que el nacionalismo cultural y el racismo capturan en sus redes a la ciencia. El científico ignora —para su mal— la naturaleza de la sociedad en que vive.

Fuera del mundo académico, Einstein ocupó únicamente un puesto público: su primer trabajo. Estando para graduarse por la Universidad Técnica de Zurich y no

habiendo impresionado positivamente a sus profesores para ser nombrado auxiliar científico, se empleó en la Oficina suiza de Patentes; allí tenía tiempo libre para continuar con su investigación científica. No tuvo poder temporal. Nunca fue empresario, director de investigación, miembro del Parlamento o ministro de Gobierno. No obstante, no pudo escapar a los problemas y responsabilidades de la acción social. En 1939, fue invitado por Szilard (1898-1964) y Wigner (1902- ), dos distinguidos físicos europeos en el exilio, a firmar una carta (figura 6.4) dirigida al presidente Roosevelt para llamar la atención del Gobierno de los Estados Unidos acerca del peligro de que los nazis construyeran una bomba de uranio. Einstein no estaba, de hecho, muy interesado o comprometido políticamente, pero sabía que no podía evitar esta acción, para la cual su autoridad científica movió grandes fuerzas sociales. De esta carta provino el proyecto americano de la bomba atómica y todo lo que le siguió. En 1945, Einstein escribió a Roosevelt —de nuevo a sugerencia de Szilard— urgiéndole a evitar que la bomba fuera usada en contra de Japón; pero esta carta fue encontrada, sin abrir, en el escritorio de Roosevelt el día de su muerte. Einstein, antes de morir en 1954, estuvo de acuerdo en firmar el manifiesto propuesto por Bertrand Russell (1872-1970), que fue origen de la Conferencia científica de Pugwash (véase pág. 371). Por estas acciones y por su apoyo moderado al sionismo, dio su respuesta liberal, no doctrinaria, a las trágicas circunstancias de su tiempo. El científico más refinado y pure de su tiempo, un hombre formado primariamente para la concentración mental académica en privado, no pudo por mucho tiempo quedar al margen; como líder de una de las fuerzas primarias de la sociedad moderna, tuvo que ejercer su influencia para promover lo que consideraba bueno.

I Por supuesto, la revolución biológica de Charles Darwin ejerció la influencia científica más profunda en el pensamiento social. Las circunstancias reales de la publicación de *The Origin of Species* han sido descritas ya (pa-

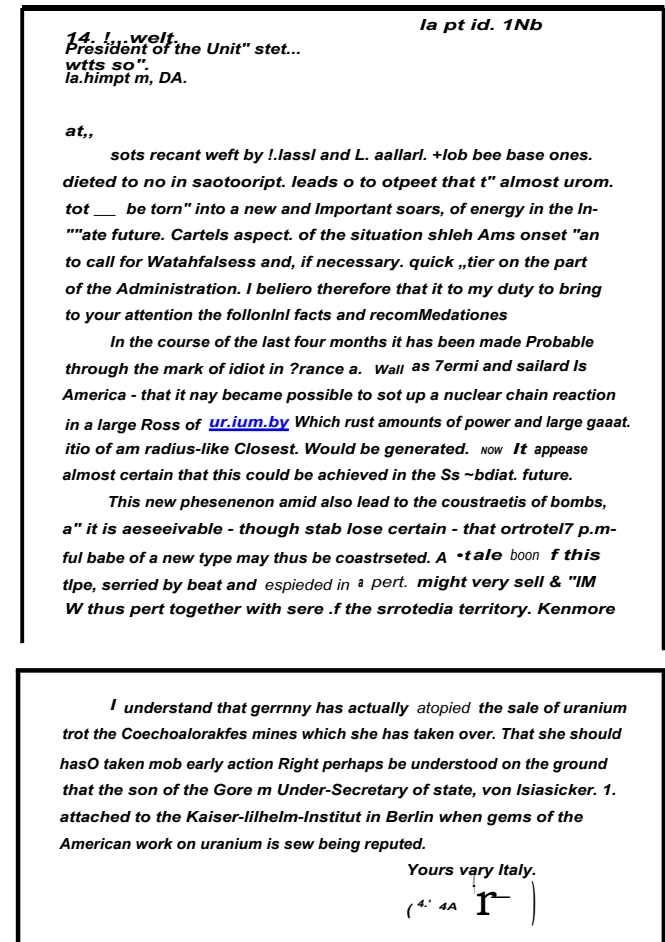


Fig. 6.5. Carta de Einstein a Roosevelt, 2 de agosto de 1939.

gina 111). La teoría de la evolución de las especies mediante la selección natural era explicada en un lenguaje tan claro y simple, que resultaba perfectamente inteli-



ble para cualquier hombre culto, a tal punto que era posible que casi todos se hicieran una opinion sobre el tema. Es interesante notar que Darwin, aunque inmensamente respetado, admirado y honrado los ultimos veinte años de su vida, vivi6 en un retiro tranquilo (fig. 6.5) y



Fig. 6.6. Cuarto de estudio de Darwin en Down House, Downe, Kent. Grabado de A. H. Haig.

no fue convertido en un semidi6s. La controversia sobre la teoria de la evoluci6n fue subiendo de tono durante varias generaciones hasta ser aceptada como la simple verdad. La enseñamos hoy a los ninos en las escuelas b6sicas, mucho antes de que puedan aprender el significado de la mec6nica analitica newtoniana. El <<darwinismo>>, para el hombre en la sociedad, es m6s directamente significativo que ninguna filosofia basada en la fisica, pues dif6cilmente podemos imaginarnos, hoy en dia, pensando de otra manera.

Pero recuerdese que esta teoria se refiere tambien a fen6menos biol6gicos muy particulares, en un contexto cientifico bien definido. Darwin habi6 poco acerca de la evoluci6n de las instituciones humanas o de los rasgos

culturales o de los caracteres <<raciales > dentro de la especie humana. Sin embargo, su «autoridad» ha sido traída a cuento, el siglo pasado, para justificar una variedad de doctrinas perversas o ridiculas en un campo mis amplio (vease pig. 315). La verdad de la evoluci6n mediante selecci6n natural en sistemas biol6gicos, tiende demasiado ficilmente a ser introducida en un argumento plausible en favor de la aplicaci6n de los mismos mecanismos a la sociedad en general. Consciente o inconscientemente, nuestra civilizaci6n moderna utiliza tales argumentos para justificar muchas de sus actividades y actitudes.

Es tambien interesante recordar que Darwin debi6 mucho al famoso libro de Thomas Malthus (1766-1834) -*Essay on Population* (Ensayo sobre la Poblaci6n), publicado en 1798-, que llam6 la atenci6n sobre la enorme tasa potencial de reproducci6n de la poblaci6n humana, que no estaba limitada por el aprovisionamiento de alimentos. Malthus era un escritor politico algo pesimista, muy mal visto por revolucionarios y < progresistas >. Algunos comentadores modernos ban intentado incluso infamar a Darwin por haber bebido de esa fuente contaminada. Pero la relaci6n entre la filosofia social y las teorias cientificas no es tan simple. La teoria de Darwin sobre la evoluci6n *biol6gica* tiene base propia en sus pruebas biol6gicas y en su propia l6gica interna. Malthus proporcion6 el germen de una idea, pero esto no significa que Darwin aceptara o intentara justificar los pron6sticos pesimistas de aquel sobre el futuro del hombre. Este paralogismo es la trampa t6pica que se encuentra con frecuencia en el juego de investigar profundamente las influencias sociales y econ6micas en la historia de la ciencia.

#### *Autoridad pro fesoral*

La autoridad cientifica tiene, adem6s, otras formas. Considerese, por ejemplo, a Justus von Liebig (1803-

1873). Fue uno de los máximos químicos del siglo XIX; hizo muchas aportaciones originadas a la química orgánica y a la bioquímica. Pero su lugar especial en la historia de la ciencia se debe a la «escuela» de investigación química que fundó en 1824, en la Universidad de Gießen, donde fue profesor durante 28 años. Este fue el primer laboratorio para la enseñanza de la ciencia. Los estudiantes que Liebig formó maduraron hasta convertirse en profesores de otras universidades, donde reprodujeron su laboratorio, bajo su propia dirección. Sus discípulos, a su vez, desarrollaron la gran industria química alemana de finales del siglo XIX, a la que ya nos hemos referido. Como podemos ver en este diagrama (fig. 6.6), que muestra la relación maestro-discípulo en ese siglo, Liebig fue la figura central en la química. Enseñó casi a todos los mejores químicos de la siguiente generación y fue el «cabello» científico de muchos otros más.

Esta es la forma característica de la autoridad dentro de la comunidad científica. Los méritos de Liebig fueron, en efecto, reconocidos en el mundo exterior a la universidad: como premio a sus esfuerzos, se le dio el título de barón. Sin embargo, su máxima influencia deriva de haber dado forma intelectual a la ciencia misma, no tanto con descubrimientos revolucionarios, cuanto como profesor brillante. De tales hombres adquirimos nuestros «paradigmas»: los principios, técnicas y conceptos básicos de los cuales, según se cree comúnmente, depende una ciencia dada. El poder y la eficacia auténticos de su enseñanza, la claridad de exposición que logran en sus clases, el patronazgo noble que ejercen para con sus discípulos, son irresistibles. Los alumnos de tales maestros aprenden su materia, como si la vieran a través de sus ojos, frecuentemente sin las dudas e incertidumbres que el profesor mismo puede sentir personalmente. Es interesante notar, incidentalmente, que Liebig creyó en la fermentación química <espontánea> de la levadura, del vino, etc., y fue con mucho, el más acerbo opositor de Pasteur, que finalmente demostró que estos

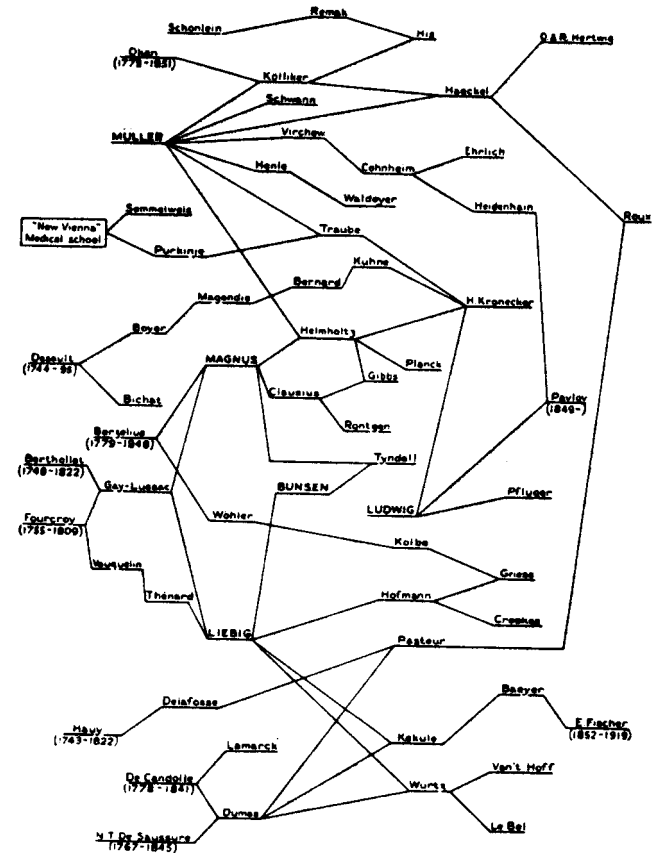


Fig. 6.7. «Correlaciones entre maestro y discípulo», principalmente siglo XIX.

fenómenos los producían los microorganismos (página 76). Consultando el diagrama, vemos que Pasteur pertenecía a una «escuela» diferente de química; no era, por tanto, sorprendente que sostuviera opiniones heréticas.

Se ha señalado frecuentemente que los académicos famosos tienen discípulos famosos. En nuestro tiempo, podemos estudiar la <<genealogía>> de los ganadores del Premio Nobel (fig. 6.7) para notar que esta recompensa de primer orden tiende a recaer en < familias > determinadas. ¿Cuál es la explicación de este fenómeno? Un factor significativo es indudablemente que un científico distinguido, a quien ofrece un puesto una universidad famosa, tiene por discípulos a los jóvenes más inteligentes de su tiempo; de este modo, probablemente ha enseñado a los triunfadores de la siguiente generación. Se puede también hacer la observación cínica de que los grandes hombres suelen usar su poder para favorecer a sus pupilos. Pero hay un factor auténtico, frecuentemente subestimado por aquellos que no están familiarizados con los objetivos académicos. La investigación original, creativa es un arte muy sutil que no llega naturalmente a la mayoría de la gente. Requiere, más que inteligencia, imaginación y constancia. Se tiene que aprender a ser autocrítico y esceptico y, sin embargo, a perseguir con confianza ideas importantes. Imitando a un gran maestro, puede aprenderse estas cualidades. Para hacer una aportación de primerísima categoría a la ciencia, se debe, por ejemplo, tener una captación perspicaz de lo que constituye un problema verdaderamente importante y de lo que se necesita para darle una respuesta adecuada. Puede ser esta la cualidad que realmente singulariza al laureado con el Premio Nobel y la herencia que transmite a sus discípulos.

En un nivel inferior, es muy claro que el oficio de la investigación científica se adquiere por aprendizaje y que lleva muchos años conseguir la habilidad suficiente para practicar este oficio de modo independiente. La transferencia de una autoridad científica de generación en generación y de un país a otro, no se logra meramente erigiendo escuelas de estudio e investigación. Exige una provisión de científicos perfectamente formados y experimentados, que hayan tenido el tiempo y la oportunidad de madurar ellos mismos, antes de intentar transmitir su

pericia a otros. Problema este que abordaremos en el capítulo 11, al hablar sobre el crecimiento y la difusión de la ciencia en el «Tercer Mundo».

#### *Autoridad administrativa*

La comunidad científica tiene además de autoridades intelectuales y grandes profesores, sus líderes administrativos. Recuérdese a Sir Joseph Banks (pág. 67): presidente de la *Royal Society* de 1778 -tenía entonces 35 años- hasta su muerte, en 1820. Hombre muy rico, apasionado por la botánica, había hecho contribuciones monetarias y había ofrecido su propia persona para el éxito científico de la expedición de Cook a las Islas del Sur. Durante 42 años, administró la *Royal Society* con benevolencia, generosidad, paternalismo y buen humor. Con sus propios medios, patrocinaba los desayunos semanales y las «conversaciones» vespertinas a las que asistían científicos invitados. Era el dictador de la ciencia inglesa y el experto reconocido de todas las ramas del conocimiento práctico. Tuvo un papel dirigente en la fundación de los grandes Jardines Botánicos de Kew. Animó la colonización de Australia y el trasplante de plantas útiles de una región a otra del mundo. Banks fue un personaje de carácter exigente, magistral en el puesto de presidente, que jugaba fuerte contra sus enemigos. En una ocasión, logró dimitir al Consejo de la Sociedad, precisamente en el momento en que este trataba de derrocarlo. Pero hizo también un buen uso de su dinero en muchos actos de filantropía en favor de científicos pobres, como William Smith (pág. 67).

En toda comunidad humana, un hombre sociable con dotes eminentes de administrador, adquiere mucho poder. Lleva una gestión útil: logra que se hagan cosas, anima los trabajos, gana amigos; tiene influjo en la gente. La comunidad científica, como cualquier otro grupo humano, necesita de tales personas. Pero observese que se convierten en el canal a través del cual el mundo de la

ciencia se comunica con el poder del Estado. Demasiada urbanidad y sabiduría mundana, sin integridad y visión científicas, podrían ser desastrosas en esta posición.

#### *Autoridad académica*

Por otro lado, Thomas Henry Huxley (1825-1895) fue un hombre que se hizo a sí mismo. Como Banks y Darwin, ganó fama de científico por sus observaciones biológicas durante un viaje a Australia, y llegó a ser profesor de Historia Natural en *Royal School of Mines* (Escuela Real de Minas). Pero la publicación del *Origin of Species* (página 134). lo arrastró al mundo del debate teológico, la ciencia popular, la educación y el periodismo. En los años 1870 y 1880, Huxley era uno de los científicos más conocidos en Inglaterra, no como Darwin por una autoridad puramente intelectual, sino como hombre público energético, miembro de una docena de Comisiones Reales, figura clave en la creación de un sistema estatal de educación elemental, escritor sobre asuntos religiosos y científicos, etc. Tenía una pluma fluida, principios liberales y un intelecto fuerte y claro. Irónicamente podemos referirnos a él como el encargado de Relaciones Públicas del darwinismo y de la ciencia victoriana; más exacto es, sin embargo, verlo como el prototipo del científico «socialmente responsable». Su sincero radicalismo religioso -mis bien susceptible- refleja el ingenuo radicalismo político de algunos de nuestros distinguidos contemporáneos.

#### *Autoridad del innovador técnico*

La Inglaterra victoriana constituye un buen ambiente para la autoridad científica. Considerese, como último ejemplo, a William Thomson, el primer barón de Kelvin (1824-1907), que fue profesor de Filosofía Natural en la Universidad de Glasgow durante 53 años. En el mun-

lo de la ciencia pura, Kelvin es considerado un físico matemático de primera magnitud -no equiparable, en mi opinión, a James Clerk Maxwell o Lord Rayleigh (1842-1919), aunque ciertamente uno de los <<inmortales>. Pero quizás esta sola habilidad no hubiera constituido un mérito suficiente para ser promovido a barón; es el primer lord inglés científico. Lo que reconoció la sociedad de su tiempo, fueron sus investigaciones prácticas en electricidad, magnetismo y mecánica. Con su teoría demostró como construir un telegrafo transatlántico que funcionase. Diseñó instrumentos para la medición del suministro de energía eléctrica. Volvió a diseñar por completo la brújula naval, según los últimos principios físicos. Inventó un aparato de sondeo (fig. 6.8), mareógrafos, etc., y estudió la teoría matemática de la estabilidad de un barco. ¿Qué podría ser, inconscientemente, más perfectamente marxiano que el trabajo que leyo ante

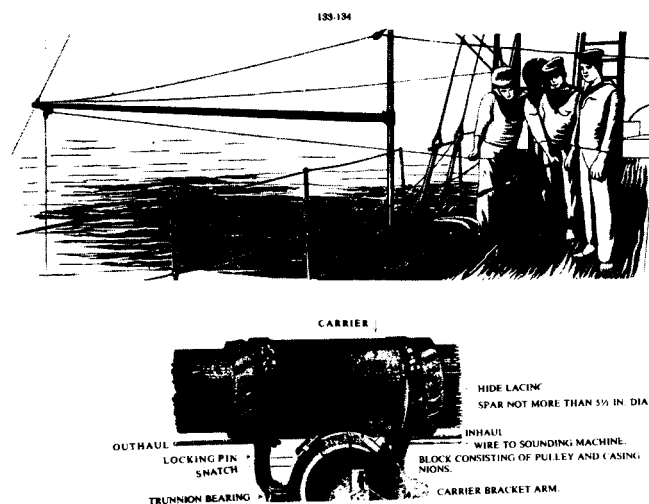


Fig. 6.9. Máquina sondadora de Kelvin, en uso. Tomado de Admiralty Manual of Seamanship (Manual del Almirantazgo para la tripulación marina), 1942.

la *British Association*, en 1881, demostrando que < el área de sección transversal de un conductor para transmitir energía es aquella en la que el costo de las pérdidas de energía, en un tiempo dado, es igual al interés y a la depreciación del capital invertido en ese tiempo? Kelvin es prototipo del científico puro como asesor tecnológico que contribuye con todo su ingenio intelectual, su encanto personal y modestia, al complejo político, militar e industrial de su tiempo. Ha sido considerado, en general con bastante razón, como un benefactor importante de la humanidad, pues puso su autoridad científica al servicio directo de la utilidad humana.

#### *Autoridad burocrático-gubernamental*

Las autoridades científicas que hemos encontrado hasta ahora, fueron todas grandes científicos. Pero F. A. Lindemann (1886-1957) debió su poder en el mundo científico a otras cualidades. Siendo un inglés rico, de padre alsaciano, hizo investigaciones en física, en Berlín, y se labró por sí mismo un nombre como una joven promesa científica de consideración. Durante la primera guerra mundial, demostró valor y capacidad para experimentar sobre las características de vuelo de aviones en la Fábrica Real de Aviación, en Farnborough. En 1921, a la edad de 33 años, era profesor de física, en Oxford; allí se le encomendó transformar el viejo Laboratorio Clarendon en una institución de investigación de primera categoría, que pudiese competir con el Laboratorio Cavendish de Cambridge. Tuvo éxito, pero más por la hospitalidad con que recibió a varios excelentes científicos alemanes refugiados después de 1933, que por sus propias aportaciones personales.

Mucho más significativa fue la amistad íntima de Lindemann con Winston Churchill. Poco antes de la segunda guerra mundial, estuvo ocupado en los problemas científicos de la defensa aérea. El relato de su conflicto con Henry Tizard (1885-1959) (pág. 350) a propósito

del radar es uno de esos sabrosos chismorreos que todos recuerdan. Cualesquiera fueran sus aciertos y errores, cuando Churchill llegó a primer lord del Almirantazgo, en 1939, y primer ministro, en 1940, nombró a Lindemann su consejero científico personal. Con este cargo, fue el científico más poderoso en Inglaterra, pues controlaba la dirección general de la investigación bélica, la utilización del personal y recursos científicos, el desarrollo en detalle de las armas estratégicas, y tenía incluso una responsabilidad personal considerable en la interpretación de los informes de espionaje y las apreciaciones tácticas. Este puesto de un tipo nuevo llegó a tener una enorme importancia, porque en esta guerra, se luchó, en grandes proporciones, con armas diseñadas científicamente —radar, cohetes, tanques, submarinos, aviación, etc. Surgió la cuestión, por ejemplo, de si era más eficaz hacer una guerra ofensiva, bombardeando masivamente a Alemania, o esforzarse en la defensa contra los submarinos. Al final, los cálculos estadísticos de Lindemann, basados en informes incompletos del servicio de espionaje, fueron decisivos para adoptar la política del bombardeo, que, como se demostró más tarde, había sido más costosa y militarmente menos eficaz de lo que él había afirmado. La guerra no se somete tanto a la planeación racional como la física experimental.

Sin embargo, los logros excelentes de los científicos británicos, durante la segunda guerra mundial, deben mucho al liderazgo, violento y tozudo, de Lindemann. No fue quizás el dirigente que ellos hubieran elegido, pues su renombre en la investigación académica había caído muy bajo y no había tenido ningún éxito como innovador tecnológico o como administrador hábil. Pero fue un físico auténtico que, armado con una autoridad política y burocrática comparable a la de los jefes militares del Estado Mayor y de los ministros del Gobierno, representó a la comunidad científica en las oficinas centrales del poder gubernamental y logró que sus recursos humanos e intelectuales fueran usados plenamente.

Después de la guerra, Lindemann fue nombrado lord

Cherwell y tuvo el cargo de ministro del Gobierno conservador durante un corto tiempo. Fue una personalidad original en muchos aspectos y el polvo de la controversia sobre su lugar en la historia todavía no se ha asentado. En un capítulo posterior, consideraremos con mayor detalle la relación del científico con la guerra. Nos encontraremos también ciertos personajes cuya autoridad en el mundo de la ciencia no se basa en su eminencia en la investigación, sino que tiene sus raíces en el poder burocrático que les han conferido los órganos del Estado. Pero la carrera de Lindemann ejemplifica el hecho simple de que la comunidad científica es un cuerpo de ciudadanos que deben finalmente subordinarse a la voluntad corporativa de la sociedad en general. Lo significativo es que esta fuerza fuera canalizada a través de un hombre de reconocida competencia e integridad científicas, más bien que a través de un grupo de profanos o de un ramillete de ineptos egoístas, como puede suceder en maquinarias estatales más corruptas.

J. Robert Oppenheimer (1904-1967) fue otro joven rico que constituyó una gran promesa científica cuando llegó a Gotingen, en los años 1920. Trabajó con Max Born (1882-1970) en la recién descubierta teoría cuántica. Volvió a los Estados Unidos, en 1929, y se convirtió en dirigente de la investigación teórica en física nuclear, en la Universidad de California en Berkeley. Adquirió una gran reputación como hombre que entendía profundamente los problemas matemáticos fundamentales de esta materia que se desarrollaba rápidamente. Aunque sus propias aportaciones a la física no se comparan en originalidad con las de sus contemporáneos alemanes, formó una escuela de graduados de primera categoría de la que han procedido muchos de los mejores físicos teóricos americanos de la siguiente generación.

Pero no se conformó con ser el profesor austero de una materia esotérica. En 1942, fue comisionado por el Gobierno de los Estados Unidos para dirigir un laboratorio establecido, hacia poco, en los páramos desiertos

de Los Alamos, en Nuevo Mexico. Este laboratorio recibio como mision unica, diseiinar y construir una bomba atomica. La historia del descubrimiento de la fision nuclear y los movimientos secretos en Alemania, Inglaterra y los Estados Unidos para emplear este fenomeno natural como arma de guerra, es demasiado larga, comprometida e importante historicamente para resumirla aqui. Baste decir que a Oppenheimer se le encomendo una de las tareas centrales de todo el proyecto, que realizo extraordinariamente bien. Reunio un brillante equipo de cientificos academicos, americanos y europeos, y, en cierto modo, logro que trabajaran conjuntamente. Los fisicos laureados con el Nobel -digamos de la segunda categoria de Landau (pag. 140)- no llevaban con resignacion los metodos burocraticos del Ejercito de Estados Unidos, bajo el mando del general Groves (a quien se ve aqui acompanado de Oppenheimer, en el lugar de la primera explosion de prueba de una bomba nuclear) (fig. 6.9). Oppenheimer creo un ambiente intelectual y moral en el cual cada uno pudiera, haciendo su trabajo, dar lo mejor de si mismo. Sin embargo, fue un cientifico academico puro, sin experiencia en ingenieria o administracion. Tampoco fue, por naturaleza, un hombre a quien abiertamente gustaran los clubes, que se sintiera a gusto con otras gentes; no oculto siempre cierta arrogancia intelectual que le creo con frecuencia acerbos enemigos.

Despues de la guerra, como director del *Institut for Advanced Study* (Instituto de Estudio Avanzado) en Princeton, podia facilmente haberse retirado con honor a la vida academica. Pero estaba demasiado profundamente involucrado con el poder politico y administrativo y acepto el nombramiento de principal consejero cientifico de *US Atomic Energy Commission* (Comision Americana de Energia Atomica) (AEC), responsable del ulterior desarrollo de las armas nucleares y de usos mas constructivos de la energia atomica. La decision de proceder a la construccion de armas termonucleares -es



Fig. 6.10. Robert Oppenheimer y el general Leslie Groves en el desierto de Alamo-Gordo.

decir, la bomba de hidrogeno- fue tomada en un ambiente de politiqueria, alta intriga, estando en apretado conflicto todas las fuerzas del militarismo, nacionalismo, la traicionera guerra fria y la responsabilidad cientifica. Este es un episodio historico de tal significacion que merece ser estudiado por si mismo. En cuanto a Oppenheimer, se vio envuelto en una profunda tragedia, porque, en 1954, fue acusado de peligroso para la segu-

ridad nacional y fue dimitido de su cargo de consejero consultivo de la AEC.

El «juicio» de J. Robert Oppenheimer es uno de los sucesos históricos más importantes de nuestro tiempo. Es casi cierto que fue enteramente leal a su país, en la guerra y en la paz. Había tenido amigos comunistas antes de la guerra, pero no era hombre de intereses políticos convencionales. Apenas leía los periódicos y tenía de sí la imagen de un científico puro, enteramente consagrado a su tarea, como Newton o Einstein. Se comportó torpemente respecto de ciertas investigaciones de la Seguridad Nacional, más bien mezquinas, más bien por arrogancia que por el deseo deliberado de enganar. Los cargos fueron utilizados dolosamente como ases en una maniobra para deshacerse políticamente de él, caracterizada por la falta de escrúpulos propia de la vida política en los altos niveles. Su rehabilitación parcial en 1963 es una prueba valiosa en este punto. Su juicio, de hecho, fue tan solo una maniobra política sucia y corrupta, animada por la malicia y el revanchismo, sin mayor influjo en el curso real de los sucesos, porque él, sin duda, no obstaculizaba ningún cambio sustancial de política y sus adversarios podían haber hecho que se retirase o haber saltado sobre él, sin todo este drama.

Es, sin embargo, un ejemplo muy significativo de los problemas profundos que entraña la relación moderna entre la comunidad científica y la organización del Estado. Oppenheimer no era, de ninguna manera, el único o el principal representante de la «ciencia» en un conflicto con el «gobierno». Era, de hecho, parte del «gobierno» mismo y sus contrarios eran científicos, como Edward Teller (1908- ), y «políticos». Tampoco se trataba de un problema de conciencia del académico humanista contra la barbarie militar. Oppenheimer debió haber escudrinado muy profundamente su corazón, cuando se dio cuenta de lo que se había hecho al lanzar una bomba atómica sobre Hiroshima, pero ciertamente no había buscado refugio en un modo de pensar pacifista. El hecho de que toda la comunidad científica no se haya

levantado en su apoyo, es también significativo. No era en manera alguna el héroe de todos los físicos, pues entre estos había una profunda división acerca del problema.

John von Neumann (1903-1957) dijo alguna vez: «En la ciencia moderna, ha sido superada la era de la iglesia primitiva y ha llegado a nosotros la era de los obispos.» Oppenheimer es semejante a uno de esos personajes que Gibbon describe, con tan deliciosa ironía, en *Decline and Fall of the Roman Empire* (Decadencia y Caída del Imperio Romano): no es un mártir científico, como algunos de los que padecieron persecución bajo Hitler o Stalin, sino un obispo, santo o pecador, según se prefiera, derrotado en una agria disputa de partido sobre la doctrina. Nos recuerda que la autoridad científica, al adquirir poder secular, puede conducir a la corrupción y a su propia degradación. La incorporación de la ciencia en el Estado, el reconocimiento formal de la comunidad científica como un estamento del Reino, genera inevitablemente estas luchas trágicas por el poder entre los líderes de este estamento.



*Todo hombre desea ganar riquezas para pagar a los médicos, que destruyen la vida; por lo tanto, estos deben ser ricos.*

LEONARDO DA VINCI

#### *Técnicas y tecnologías*

Sigamos ahora otra senda a través del laberinto. Los oficios prácticos o *técnicas* son característicos de todas las sociedades humanas. Las habilidades especializadas han existido y siguen existiendo independientemente de un cuerpo formal preciso de conocimiento o teoría y son transmitidos por demostración, práctica o experiencia personal, de una a otra generación. Ejemplos modernos típicos son la cocina doméstica, la costura, la jardinería, la pesca con mosca o la caza del zorro.

Pero el desarrollo de una manera compleja de vida civilizada está caracterizado por la aparición de personas especializadas en la ejecución de actividades que requieren una habilidad particular, es decir, por los *expertos*. Esta consecuencia elemental de la división del trabajo acrecienta el progreso técnico, gracias a la competencia y a la acumulación de conocimientos. Surgen nuevas técnicas que exigen una formación y una educación formal más planeada de las generaciones siguientes. La acu-

mulación y consolidación del conocimiento práctico crea un nuevo nivel de destreza, encarnado en la profesión de primer orden del *maestro* del oficio. En los maestros, observamos un interés por los principios fundamentales y por las explicaciones, base del éxito en la práctica que profesan. Esto conduce finalmente al enfoque «científico» de problemas técnicos.

Estrictamente hablando, el verdadero significado de *tecnología* es la «ciencia» de un oficio, arte o técnica. La palabra se usa hoy muy vagamente para denotar la práctica real de una habilidad adquirida, como la palabra «ciencia» se aplica comúnmente a toda actividad racional o racionalizada autoconsciente. Como hemos visto, el mejoramiento de las técnicas y tecnologías está imbricado con el crecimiento de la ciencia «pura»; en este capítulo, sin embargo, consideramos el desarrollo de las «tecnologías científicas» a partir de los «oficios prácticos», como un fenómeno histórico y social por propio derecho, con sus fases y problemas típicos propios.

#### *Medicina*

Nuestro primer ejemplo es un oficio humano importantísimo: la medicina. Todas las sociedades humanas, desde las más primitivas, tienen técnicas para tratar las enfermedades o males corporales (fig. 7.1). Para nuestro modo de pensar, estas no parecen siempre muy útiles, pero generalmente están basadas en nociones religiosas racionales sobre los espíritus malignos o tienen raíces inteligibles en la magia simpática. El «brujo» profesional, con técnicas y aparatos especiales se encuentra todavía, en muchas regiones del mundo (fig. 7.2), aunque con frecuencia se distingue escasamente del danino proveedor de remedios mágicos. Las habilidades requeridas para practicar estas artes, no se aprenden en libros o en cursos escolares; son «misterios» secretos transmitidos de padre a hijo o «hijo adoptivo», o a través de un largo aprendizaje privado. Cada practicante tiene así también/



Fig. 7.1. *Curaciones de la locura entre los indios de Paria. Tomado de Ckr6monies et Coutumes de tous les peuples du monde representees par des figures dessinees de la main de Barnard Picard. Amsterdam, 1723-1743.*

el papel de maestro dentro del círculo familiar, como una buena esposa y madre enseña a sus hijas a coser y cocinar.

Se cree que el primer maestro de medicina más famoso, con muchos discípulos, fue Hipócrates; vivió en la isla griega de Cos, alrededor del 400 a. C. Pero puede no haber sido realmente un individuo concreto. El nombre se ha vinculado con un cuerpo considerable de escritos, probablemente de diferentes autores, que abarcan un amplio período y exponen sistemáticamente la práctica de la medicina como un arte racional. Este trabajo es notable por la exactitud y objetividad de la observación. El espíritu científico de la cultura de la Grecia antigua se manifiesta tanto en la «colección hipocrática», como en los libros de Aristóteles o Euclides. En medicina clínica, por ejemplo, recomendaba principalmente al médico no interferir en «el poder curativo de la natu-



Fig. 7.2. *Doctor africano y vendedor ambulante de remedios mágicos.*

raleza» y aprovecharse de las condiciones climáticas locales.

Este escrito nos es más conocido por el código de conducta profesional: el llamado *Juramento Hipocrático*, cuyos nobles sentimientos conocemos todos. Por ejemplo:

*<Todo lo que vea u oiga tanto en el curso de mi profesión, como fuera de ella, en mi trato con los hombres, si fuese algo que no puede hacerse del dominio público general, no lo divulgaré jamás, considerando tales cosas como secretos sagrados. >*

Pero considérese también la declaración usual de un gremio o sindicato: *<Estimar a mi maestro en este arte como a mis propios padres; hacerlo participe de mis medios de vida; cuando tenga necesidad de dinero, compartir con él el mío; considerar a su familia como a mi propio hermano, y enseñarles este arte, si lo quieren aprender, sin cobro de honorarios y sin contrato; impar-*

*fir el precepto, la instruccidn oral y todas las otras instrucciones a mis propios hijos, a los hijos de mi maestro y a los alumnos que hayan hecho el juramento del medico, pero no a ningtin otro>>.*

Un cuerpo de expertos profesionales tiene siempre la tentacion de explorar su monopolio de secretos tecnicos. La medicina griega habia, sin embargo, alcanzado un nivel tan complejo de destreza, que el poder curativo del medico se basaba en su largo aprendizaje y experiencia personal, mas bien que en una peculiar formula secreta que pudiera encontrarse en un libro. Que estos escritos se hicieran de conocimiento *ptiblico*, no era una amenaza seria a la posicion de monopolio del gremio de medicos. Pero era, sin duda, un paso decisivo hacia delante en el desarrollo de la medicina cientifica, pues animaba a la publicacion de nuevas observaciones, nuevas tecnicas y nuevas teorias. Nos parece evidente hoy que el nuevo conocimiento tecnico en el campo de la medicina debe ser publicado y libremente participado a la mayor brevedad posible, y que no deberia guardarse como un secreto comercial, ni venderse por dinero, ni exigir una licencia para usarlo, como si se tratase de un derecho de patente. No pasa en absoluto lo mismo en otras artes utiles, donde se considera perfectamente legitimo por parte del practicante individual, sacar un provecho de cualquier informacion privada que pueda obtener.

De la tradicion hipocratica broto la tecnica medica extensiva y competente del Imperio Romano. A aquellos que podian pagar sus servicios, los doctores de la cultura grecorromana del Mediterraneo, en los primeros siglos antes de Cristo, proporcionaban un tratamiento eficaz que no consiguio la Europa moderna hasta finales del siglo xviii. Cualquiera que fuese su practica, sin embargo, los medicos estaban divididos en muchas escuelas teoricas conflictivas. Habia *dogmaticos*, *empiricos*, *metodicos*, *pneumaticos* y *eclecticos* que afirmaban combinar las opiniones y virtudes de todos los demas. Asi, los «pneumaticos» creian que toda enfermedad se debia a un trastorno causado por un «espíritu aereo» o «pneu-

ma>> que habia sido inhalado y habia invadido el organismo. Este trastorno podia ser detectado tomando el pulso. Los «empiricos» creian, mas modestamente, que el doctor podia confiar solo en su experiencia, clasificando la enfermedad y el remedio correspondiente; reducian asi la medicina a la regla empirica.

La figura medica mas famosa de este tiempo fue Galeno (131-200 a. C.), nacido en Pergamo, Asia Menor. Llego a ser, entre la aristocracia romana, el lider medico de su tiempo y no dudo en atacar las diversas sectas medicas con brillante pluma. Pero Galeno era tambien un excelente investigador, que describio con mucha exactitud y perfeccion lo que veia realmente en sus disecciones de animales y lo incorporo a su descripcion del cuerpo humano. Fundo asi la ciencia de la *Anatomia*. Construyo tambien un sistema ingenioso de *Fisiologia* que, aunque dominado principalmente por los conceptos pneumaticos, era util para explicar muchas nuevas y correctas observaciones que habia hecho el mismo Galeno.

La posicion extraordinaria de Galeno como la ultima autoridad en medicina durante los siguientes 1300 aios, no dependio meramente de sus investigaciones brillantes y de sus teorias plausibles. Sus escritos eran tan vigorosos, dogmaticos y aparentemente infalibles, que fueron tomados literalmente como *la* verdad, a pesar de muchos errores que podian haberse puesto de manifiesto, en cualquier momento. Nunca ha habido un ejemplo mas extremo de un paradigma cientifico o tecnologico, personificado en un gran profesor y luego momificado en la palabra escrita. Contrariamente a lo que se podria imaginar, el «experto» es, con frecuencia, la ultima persona cuya experiencia practica directa podia forzar a dudar de ' los principios teoricos segun los cuales fue formado. En este respecto, la tecnologia no es, de hecho, mas empirica, pegada a tierra, esceptica y practica que la arrogante ciencia pura.

De la medicina helenistica nos vamos naturalmente a su heredera y sucesora: la ciencia del mundo arabe. En las obras de Avicenna (980-1037), el gran medico, filo-

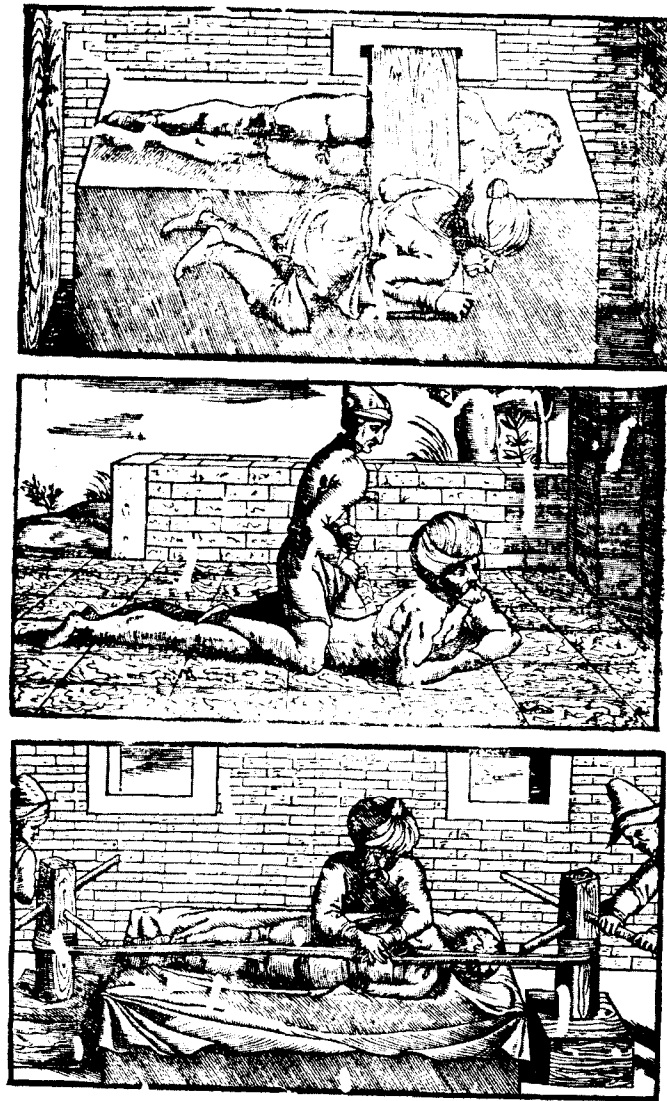


Fig. 7.3. Tratamiento de dislocaciones. Tornado de Avicenna, Canon de Medicina, Ed. latina, 1608.

sofo y enciclopedista de Bojara, observamos la culminación de esta ciencia. Observense los claros diagramas técnicos en esta edición (fig. 7.3). Un médico podía usarlos para efectos prácticos. El esquema general es teóricamente de Galeno, pero ha habido obviamente de por medio, mucha investigación e invención reposadas para mejorar las técnicas prácticas en cirugía. Un cuerpo considerable de conocimientos anatómicos y fisiológicos se había ido acumulando y venía siendo enseñado sistemáticamente. En este tiempo, se fundaron grandes *hospitales* en las ciudades árabes principales: Bagdad, Damasco, Córdoba y El Cairo, donde a la enseñanza de la medicina acompañaba el cuidado de los enfermos. Estos hospitales se constituirían en verdaderas *escuelas*, con un carácter institucional más permanente que los practicantes individuales que tenían unos cuantos aprendices o discípulos.

La primera verdadera escuela médica en la Europa cristiana se desarrolló en Salerno, en algún momento del siglo xi, bajo el gobierno ilustrado de los reyes normandos de Sicilia. La costa italiana alrededor de Nápoles ha sido considerada una región saludable, desde los tiempos romanos; como lugar de curas, Salerno atrajo mucha gente rica con sus médicos privados. Era un escenario natural para la enseñanza de la práctica médica. A través de Sicilia, llegaron también algunas de las primeras traducciones del árabe al Latín, de la literatura médica griega y árabe, que estaba, por supuesto, mucho más adelantada que la medicina europea (fig. 7.4) de aquella época.

Aunque la Escuela de Salerno floreció solo durante aproximadamente dos siglos, es importante como prototipo de la universidad moderna. Los cursos de medicina duraban cinco años, más uno adicional de práctica bajo supervisión, seguidos de un examen de Baccalaureo al título de doctor en Medicina. Las grandes universidades medievales fundadas en Bolonia, París, Oxford, etc., en los siglos xii y xiii, copiaron este esquema, cuando introdujeron la medicina como una de las facultades principales de un *studium generale*.

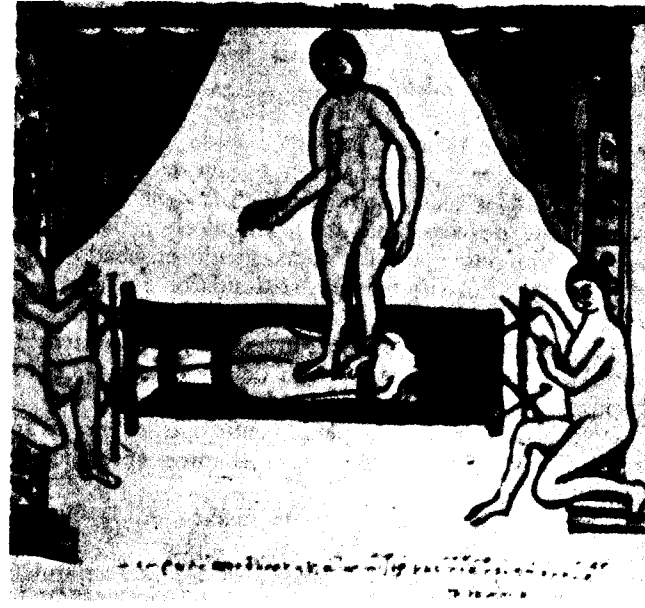


Fig. 7.4. Tratamiento de dislocaciones (reduccidn) por traccidn y presidn en la espina dorsal. Tomado de un manuscrito del siglo XV.

Esta formalización y sistematización de un oficio no era necesariamente progresista. Algunas formas de ignorancia, incompetencia o fraude podían ser evitadas, pero donde la doctrina misma era defectuosa, se hizo más rígida por la metódica enseñanza planeada. El maestro de Medicina mismo, elevado al exaltado rango de lector o profesor, no ejercía ya necesariamente la práctica activa. Corría el riesgo de destinar más tiempo a preparar sus notas de clase extrayéndolas de tratados antiguos (fig. 7.5), o a ulteriores teorizaciones de la estructura ortodoxa de pensamiento galénico, que a observar a los pacientes, hacer experimentos o estudios anatómicos. Las disecciones públicas eran raras (fig. 7.6); la investigación clínica no existía; el aprendizaje libresco estaba

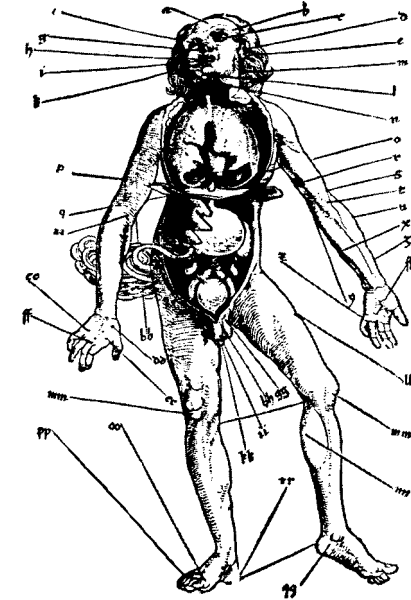


Fig. 7.5. Carta de sangrias. Xilografías de Johannes Wechtlin. Tomado de un tratado de Cirugía de Guy de Chauliac, incluida en *Feldtbuch der Wundartzney*, Estrasburgo, 1540.

entronizado hasta en la más práctica de las artes humanas. Es digno de mención que los principales avances en medicina, durante la Edad Media, surgieron de la cirugía, donde las consecuencias de una técnica defectuosa no podían dejar de ser patentes.

Uno de los máximos cirujanos que hayan existido jamás, fue Ambroise Paré (1510-1590). No tenía una educación médica formal, pero aprendió su oficio como aprendiz de barbero en el gran hospital de París y como cirujano militar (fig. 7.7) en la campaña de Italia de 1536-1545. Llevó a la cirugía casi al máximo de lo que esta puede dar sin anestesia ni antisépticos. Su obra clásica versa sobre el tratamiento de las heridas de bala —un ejemplo del estímulo de la guerra en la tecnología.



Fig. 7.6. *Lección de Anatomía de Mundinus en Padua*. Tornado de Ketham, *Fasciculus Medicinæ*, Venecia, 1500.

La medicina moderna comienza realmente el año 1543, con la publicación del maravilloso tratado de Anatomía de Vesalius (fig. 111). Es verdad que artistas como Durero, Miguel Angel, Rafael y, sobre todo, Leonardo da Vinci (fig. 84) habían, alrededor de 1500, realizado disecciones y dibujos anatómicos de gran realismo y exactitud; pero eran apéndice del arte pictórico y no captaron la atención de los médicos. Vesalius estudió



Fig. 7.7. *Cirujano militar extrayendo una punta de flecha*. Xilografía de Johannes Wechlin. Tornado de Hans von Gersdorf, *Feldtbuch der Wundartzney*, Estrasburgo, 1540.

medicina en París, donde se vio obligado a asistir a clases sacadas de las obras de Galeno, que describían las estructuras anatómicas cuya localización el profesor mismo no podía señalar en el cuerpo humano. Vesalius enseñó luego el mismo anatomía en la Universidad de Padua y, con la ayuda de varios artistas excelentes, a la edad de 29 años, produjo el libro *De humani corporis*

*fabrica*, donde, por primera vez en una obra editada, los hombres podían mirar la estructura real \*de sus propios cuerpos (fig. 7.8). La importancia de esta obra no

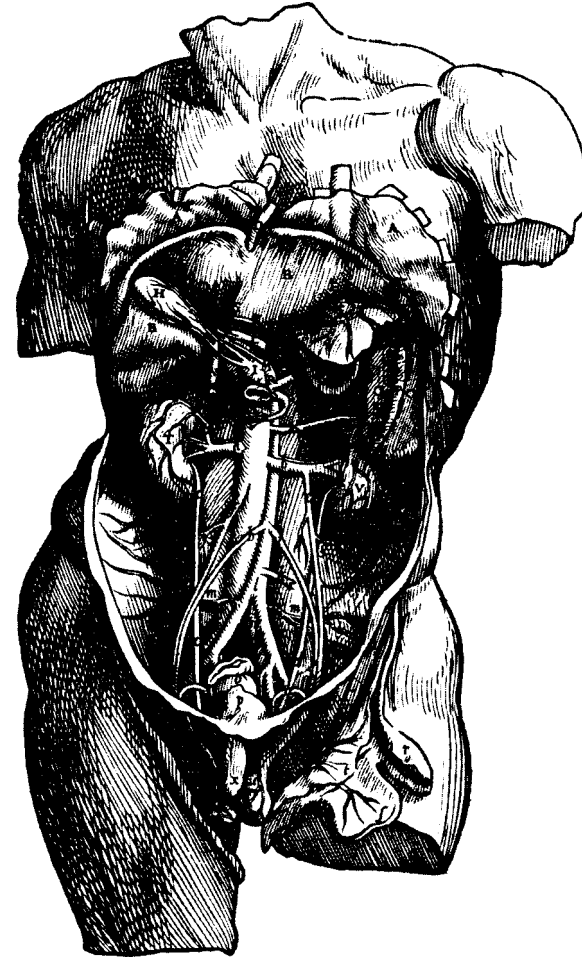


Fig. 7.8. Imagen de las vísceras. Tomada de *Fabrica*, de Vesalius, libro V, Basilea, 1543.

esta solo en su gran belleza y exacta observación, sino también en que dio un golpe mortal al corazón mismo del dogmatismo en la ciencia médica. Vesalius desafió a los profesores ortodoxos para que lo refutaran en una demostración pública y los confundió manifiestamente. Que estos no se convirtieran inmediatamente y justificadamente se indignaron por haber sido puestos en evidencia, desanimó a Vesalius para proseguir sus estudios anatómicos; pero, de hecho, la batalla había sido ganada. De entonces en adelante, la ciencia de la anatomía humana ha ido construyéndose sobre observaciones exactas y no sobre referencias a opiniones eruditas o autoridades antiguas.

Sin embargo, el dominio de Galeno sobre la *Fisiología* no se puso en cuestión hasta la publicación de la obra de William Harvey (1578-1657), médico de Jaime I y Carlos I. Después de estudiar todo el material importante publicado hasta entonces, estudios anatómicos muy detallados sobre animales vivos y muertos, y muchos experimentos ingeniosos, escribió, en 1628, su obra maestra sobre la circulación de la sangre (fig. 7.9). En solo 52 páginas demolió las doctrinas de su tiempo (según las cuales, la sangre fluía y refluía en las venas, mientras las arterias conducían los «espíritus vitales») y sentó las bases esenciales de nuestra visión moderna de este proceso fisiológico fundamental. Este, finalmente, era un logro positivo de la nueva ciencia de la observación directa y del experimento que había sido proclamada por Francis Bacon. Pero note además que Harvey era un médico en activo; aunque daba clases regulares sobre temas médicos, no se dedicaba a la enseñanza de los principios elementales de la medicina a una clase de estudiantes acriticos.

Enrique VIII fundó, en 1518, un colegio de médicos, con autoridad para dar licencia para la práctica del arte, examinar las recetas, etc. (fig. 7.10). He aquí otro paso característico de la «profesionalización»: la creación de un monopolio de expertos acreditados. Ahora nos parece lo normal que esta formación tenga lugar en institucio-

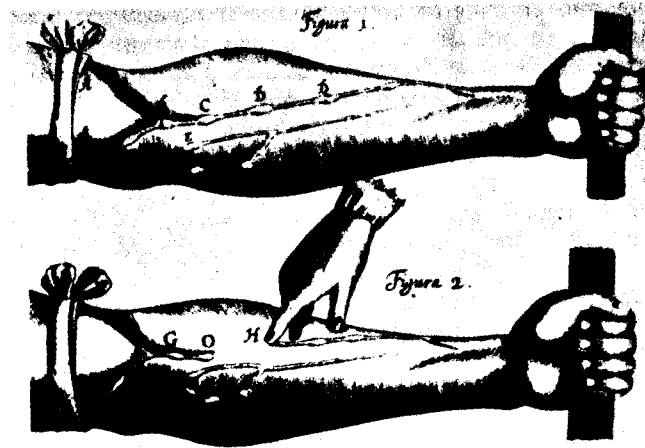


Fig. 7.9. Harvey. Diagrama de la circulación de la sangre. Tomado de *De Motu Cordis...*, 1628.



Fig. 7.10. *La Consulta* (Escuela Italiana, siglo XVI). Xilografía de la portada del *Pillularium*, de Panthaleo. Pavia, 1516.

nes públicas, como universidades y hospitales de enseñanza, sujetas a inspección, que obtiene su licencia de una autoridad nacional. Es bueno recordar, sin embargo, que las escuelas medicas <<privadas>> existieron en Inglaterra hasta el siglo XIX y que los niveles de educación y práctica medicas en los Estados Unidos eran de una variabilidad deplorable hasta bien entrado el siglo actual.

*¿En qué grado es científica la medicina?*

Desde el siglo XVIII, la formación médica ha mantenido el mismo espíritu. Esta fundada sobre la anatomía y la fisiología, que son tratadas como ciencias naturales lógicamente consistentes, con una firme base experimental. A estas siguen los estudios clínicos, bajo la guía directa de médicos prácticos experimentados, que subrayan los conocimientos prácticos y las técnicas empíricamente eficaces. En todo tiempo, se ha subrayado que propiamente la medicina no puede «todavía» ser considerada una ciencia completa que cubra todos los casos teóricos y que el médico práctico hábil debe estar preparado para emplear su iniciativa e intuición personales para tratar con el mundo real. La investigación clínica en medicina ha tenido también una fuerte tradición empírica. Los tratamientos eficaces descubiertos por accidente o por una corazonada son tan valiosos en sí mismos como los que son el resultado de una deducción racional a partir de la teoría. El propósito de la educación e investigación medicas es curar las enfermedades de la gente, no meramente aumentar nuestro conocimiento sobre biología humana.

Pero esta actitud pragmática no ha preservado a la medicina de un dogmatismo mal fundado (fig. 7.11). La experimentación es peligrosa cuando puede constituir un riesgo para la seguridad del paciente. El doctor que aconseja un tratamiento «ortodoxo», basado en los principios convencionales, está libre del temor de que la responsa-





Fig. 7.11. *Los cuatro temperamentos*. Tornado de *The Guild Book of the Barber Surgeons of York* (*Libro del gremio de los cirujanos barberos de York*), alrededor de 1500.

bilidad del fracaso recaiga sobre él. En todo oficio práctico, donde *deben* tomarse diariamente decisiones basadas en pruebas inadecuadas, existe una tendencia perfectamente explicable hacia el conservadurismo teórico. Para mantener la confianza del doctor mismo - i para no hablar de la del paciente! -, es más cómodo apoyarse en una teoría general que parezca justificar el tratamiento, que caer en el escepticismo y en la inseguridad moral.

Considerese, por ejemplo, la lamentable situación de un médico del siglo xviii: podía elegir «sistemas» médicos sobre los cuales basar su diagnóstico y tratamiento. Siguiendo a Boerhaave (1668-1738), podía creer en el *solidismo*>>, que sostiene que el cuerpo humano está compuesto de sólidos inmersos en humores. La enfermedad es causada, digamos, por un cambio de humedad en el aire, que trastorna el equilibrio de los humores (fig. 7.12). Para restaurar el equilibrio, el médico debía prescribir sedantes, tónicos, etc.



Fig. 7.12. *Uroscopia y pulso*. Caricatura del *Pontifical de Metz*, Manuscrito francés de 1316.

O podría adherirse a Hoffmann (1660-1742), que sostenía que el cuerpo humano era una máquina cuyo movimiento gobernaba el flujo de los humores. La enfermedad se debía principalmente al trastorno de este flujo en puntos dados del tracto digestivo que afectaban el fluido nervioso, etc. Hoffmann era un gran promotor de los baños fríos y calientes.

Cullen (1712-1790), por otro lado, creía que las causas patógenas actuaban directamente en el sistema nervioso. Su teoría derivaba del concepto fisiológico de iritabilidad\* de las <<fibras>> que, se suponía, eran los constituyentes esenciales de todos los organismos vivos. La quinina tenía un importante papel en sus tratamientos para reducir estas reacciones.

Brown (1735-1788) llegó a conclusiones bastante diferentes partiendo de los mismos principios generales. Consideraba que la iritabilidad era parte esencial de la vida y prescribía estimulantes, como alcohol o shocks eléctricos, para mantenerla. Pero uno de sus antiguos discípulos, Rush (1755-1837), dio la vuelta a todas las conclusiones de Brown, aunque con frecuencia llegaba al mismo tratamiento práctico.

El sistema de Broussais (1772-1838) estaba basado en el efecto del calor externo en los humores. Para curar una enfermedad era necesario reducir el calor local por medio de una abundante sangría, con aplicación de numerosas sanguijuelas en la cabeza y en el estómago (figura 7.13).

Es fácil reírnos de estas nociones fantásticas; es más conveniente recordar los miles de pacientes que indudablemente danaron tratamientos absurdos, basados en diversas teorías que prescindían del sentido común. Todos sabían perfectamente bien que la pérdida de sangre, resultado de una herida, podía constituir un serio peligro para la vida; sin embargo, hubo doctores del siglo XIX que defendían una sangría extensiva aun en el tratamiento de la neumonía. Como lo ha señalado el Dr. Carlo Cippola, Deitl en Viena y Bennett en Edimburgo no demostraron hasta alrededor de 1850, por la simple

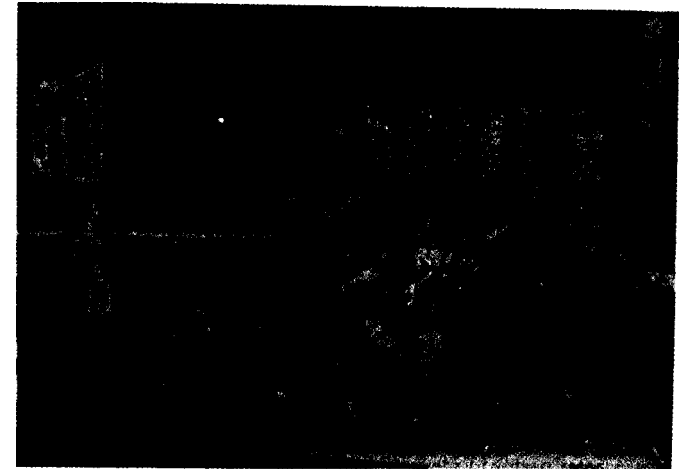


Fig. 7.13. Un cirujano hace una sangría a una dama, por Abraham Bosse.

inspección de estadísticas de hospitales, que los médicos habían matado con sus tratamientos doble número de pacientes que esta enfermedad por muerte natural. Es más modesto suponer que muchas de las <<curaciones>> para nuestros males psicológicos y sociales, propuestas por nuestros expertos sobre la base de teorías generales con un mediocre respaldo científico, no tienen un mérito mayor.

La situación se hace más peligrosa cuando los expertos mismos están unidos firmemente en un oficio, gremio o sindicato. Mientras las escuelas en conflicto disputan y arguyen abiertamente, el profano puede elegir entre ellas, o, al menos, mantener un escepticismo saludable. Pero cuando una secta particular se hace con el control de las instituciones profesionales y se autotitula guardian de una < práctica ortodoxa >, el gran público debería andarse con mucho cuidado. La historia de la medicina está llena de tales episodios. Recordemos, por ejemplo, la oposición de la medicina ortodoxa a los nuevos métodos psiquiátricos de Sigmund Freud (1856-1939). Esta

oposición fue considerablemente más allá de la mera crítica intelectual y forzó a los psicoanalistas a constituirse en un cuerpo independiente de practicantes fuera de la profesión médica. El grito de «fuera charlatanería» ha sido usado con frecuencia por conservadores autosatisfechos, para suprimir la innovación técnica radical.

La historia de la medicina es instructiva, porque muestra la dificultad extraordinaria de proporcionar una base científica sana a un oficio práctico. Casi todas las mejoras en la práctica médica hasta hace muy poco tiempo, fueron realizadas mediante la observación directa, la experimentación o la sencilla deducción de una amplia variedad de hechos conocidos.

Hasta 1865, no se derivó ningún cambio radical de la técnica médica de un principio biológico fundamental. Ese año, Joseph Lister (1827-1912), profesor de Cirugía en Glasgow, tomó nota de la prueba de Pasteur en favor de la teoría sobre la enfermedad por germen patógeno y empezó a experimentar deliberadamente con técnicas de cirugía antiséptica (fig. 7.14). Cuando se encuentre

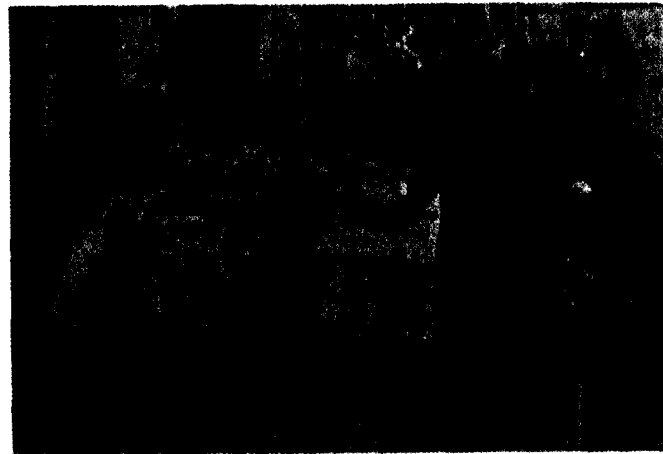


Fig. 7.14. Lister, escena de una operación, alrededor de 1880, mostrando el empleo del pulverizador de ácido carbólico.

al fin el remedio del cáncer, será interesante ver si es un brillante «invento» natural de la medicina clínica, o si se basa teóricamente en algún mecanismo fundamental nuevo de biología molecular.

La relación entre la profesión médica organizada y la comunidad general es también significativa. Como un perito imprescindible, el doctor tiene un poder que no ha dudado en usar para su beneficio económico y social. El monopolio del oficio por parte del Colegio Real de Médicos, en tiempos de los Tudor, no perjudicó a los doctores. Versiones modernas de este, como la Asociación Médica Americana, utilizan todas las tácticas del juego político para conservar los privilegios e ingresos de sus miembros. Podemos, con razón, celebrar la fundación de una sociedad profesional, resultado de la madurez de un arte práctico. Por ejemplo, la formación de las diversas Instituciones de Ingeniería, a mediados del siglo XIX, representa un paso nuevo en la técnica «científica precisa, analítica en un oficio antiguo. Pero hay un peligro real de que las funciones políticas de una organización como el *sindicato* sean confundidas con su función como *sociedad erudita* ocupada en el avance de la técnica de los expertos. Como *sindicato*, la unidad de propósito y la estructura jerárquica de poder, sobre una base democrática, pueden ser esenciales; como *sociedad erudita*, necesita ser un foro abierto donde pueda expresarse libremente una multiplicidad y diversidad de opiniones. Es de buen sentido mantener bastante independientes estas funciones. Estudiando la historia de las tecnologías científicas, podemos justamente preguntar si es sensato, como insisten algunos científicos politizados, trocar todas las sociedades eruditas de ciencia «académica» en asociaciones profesionales que actúen como un grupo político de presión en favor de los derechos de propiedad, de las tarifas salariales y en contra de la guerra de Vietnam.

### *Metalografía*

Podría decirse que la medicina es, con peculiar dificultad, una ciencia teorizante debido a la complejidad de la materia que trata. Volvamos, pues, los ojos a un sistema físico muy sencillo que produjo un oficio muy antiguo. La fabricación de objetos de hierro y acero se remonta a más de 3.000 años en el pasado y fue muy



Fig. 7.15. *Espadas japonesas.*

importante para la sociedad humana tanto en tiempos de paz, como en tiempos de guerra. Grandes habilidades adquirieron los herreros, gracias a la experiencia acumulada y a los experimentos atrevidos. Una buena espada fue producto de una artesanía refinada y de un esfuerzo concentrado. Estas espadas japonesas medievales (figura 7.15) son insuperables no solo por su fuerza y filo, sino por el hermoso acabado ornamental que hace resal-



Fig. 7.16. *Espada japonesa del siglo XVII, mostrando la textura damasquina.*

tar el «grano» del acero. Recuerdese la fama de la hoja de «Damasco», de Persia o de la India, con la extraña textura de su superficie «damasquina» (fig. 7.16). ¿Cómo la fabrican? ¿Cuál es el significado de tales patrones?

La primera descripción objetiva de las técnicas de la minería, refinado y elaboración de los metales fue otro de los grandes libros impresos en el Renacimiento. *De re metallica* (Sobre los metales), fue la obra póstuma de un médico alemán, Georg Bauer (1494-1556), que tradujo su nombre al latín: Agricola. Esta obra proporciona, con sus grabados evocadores de hombres y máquinas en acción, una pintura maravillosa de la tecnología de su tiempo. Pero Bauer estaba principalmente interesado en los metales más preciosos y escribió sobre el hierro poco más que una breve descripción del proceso básico de fundición (fig. 7.17).

En los siglos xvii y xviii, los metales fueron objeto de interés por sus propiedades químicas, pero muy poco se dijo acerca de su textura o estructura físicas. Hubo pocos estudios sobre la solidificación y la fracción. Reaumur (1683-1757), por ejemplo, observó los «granos» de una fractura del hierro fundido (fig. 7.18). A principios del siglo xix, hubo intentos de copiar las diversas texturas del acero obtenidas por artesanos tradicionales, y se especuló sobre los «granos» en que, según se suponía, consistía el material. Análisis químicos cuidadosos detectaron también impurezas menores que podían correlacionarse con las propiedades físicas. Por los años 1850, los ingenieros que fabricaban el hierro y el acero a gran escala para puentes y ferrocarriles, tenían un conocimiento empírico muy bueno sobre la resistencia de los materiales que podía comprarse; había habido muchos inventos nuevos, como el proceso Bessemer para la fundición de los minerales y la producción del acero a partir del arrabio. Sin embargo, todavía no se tenía, en absoluto, una comprensión básica de sus propiedades mecánicas ordinarias.

Para conocer las fuentes de este conocimiento, necesitamos seguir los progresos de ciencias como la minera-

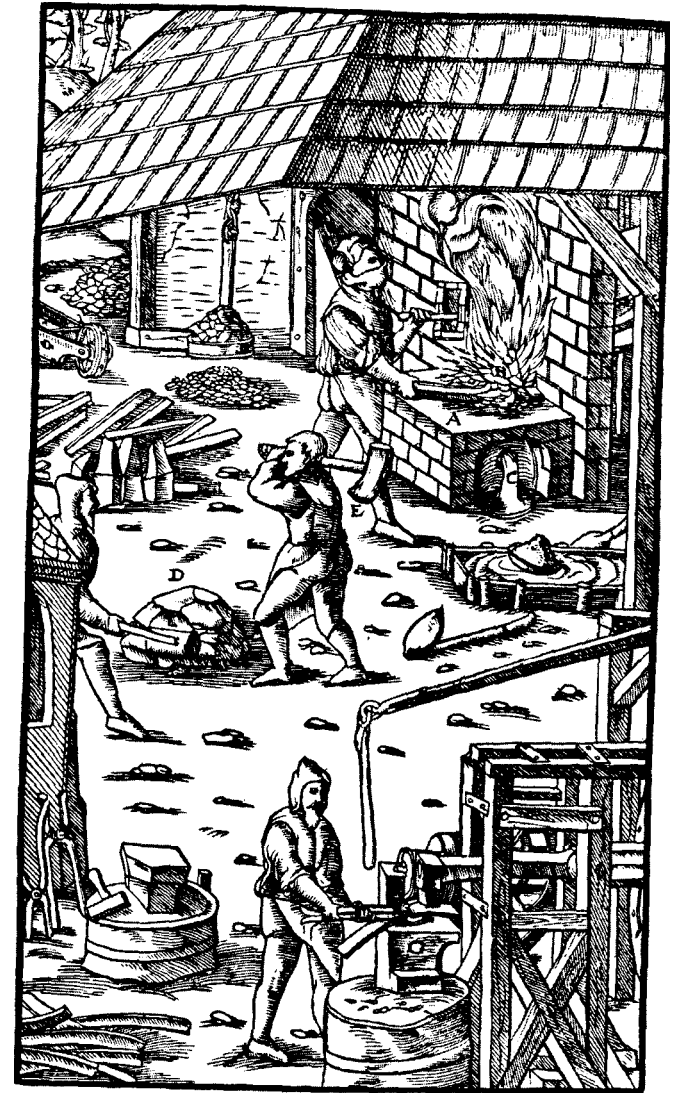


Fig. 7.17. Fundición del acero. Georgius Agricola, *De re metallica*, Libro IX.

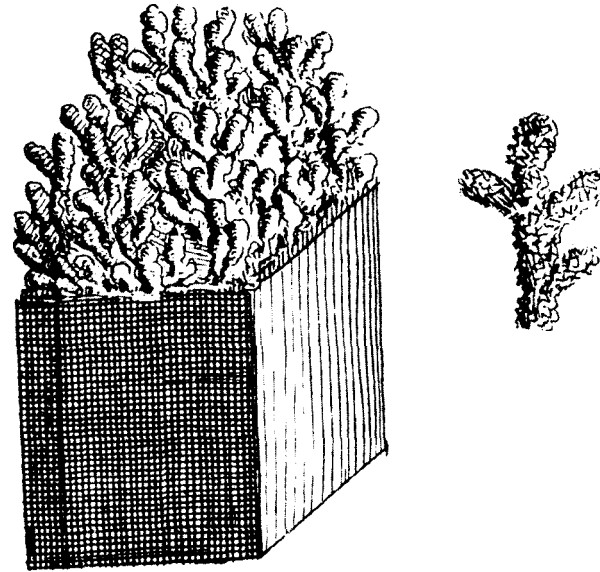


Fig. 7.18. *Fractura del hierro fundido gris, visto al microscopio.*

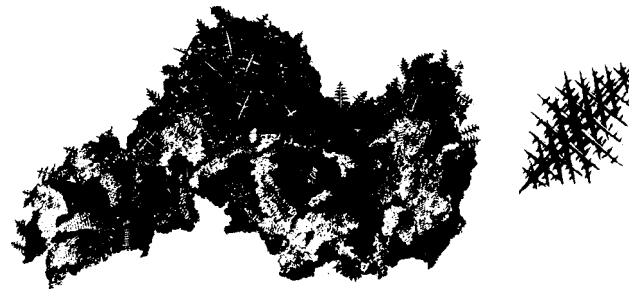


Fig. 7.19. *Grupo de cristales encontrado en una cavidad de retracción de hierro fundido.*

logía. La observación de grandes cristales naturales y el descubrimiento de las leyes geométricas que gobiernan su forma, hecho por Hauy (1743-1822), sugirieron naturalmente teorías sobre retículos atómicos, pero estas no fueron aplicadas inmediatamente a los metales. Los trabajadores del hierro observaron a veces «cristales» de hierro, dentro de una cavidad del colado (fig. 7.19), pero los consideraron formas especiales y no características del material en su estado ordinario.

Una vez más, era algo perfectamente conocido que las soluciones ácidas *atacan químicamente* a los metales. Con este proceso, se había decorado, desde el siglo xvi, las armaduras (fig. 7.20) y se empleaba, por supuesto, para grabar las placas artísticas destinadas a la impresión. Las espadas japonesas y de Damasco debieron su textura visible a una mordedura del ácido cuidadosamente controlada. Los patrones reproducen las solubilidades ligeramente diferentes de las varias capas de metal dobladas y forjadas conjuntamente, o tratadas con diferentes temperaturas, o de composición química diferente. Pero la relación de este delicado fenómeno con la estructura subyacente del material no había sido descubierta.

Henry Clifton Sorby (1826-1908) reunió estas ideas. En *atención* a los marxistas, permítaseme admitir que vivió en Sheffield y, aunque no era el mismo un maestro en el trabajo del acero, fue un científico aficionado cuya riqueza procedía de una empresa familiar de acero. En 1864, hizo algo bastante simple, que podía haberse hecho en cualquier momento de los dos siglos anteriores. Es, en efecto, sorprendente que no haya sido uno de los famosos descubrimientos de Hooke (pág. 53). Sorby tomó una pieza de acero, la pulió muy finamente, la mordió con un ácido suave y la miró al microscopio de baja potencia. Pudo ver una estructura compleja de áreas con diferentes matices de color, que pudo identificar inmediatamente como secciones de pequeños cristales de formas variadas, orientados de maneras diversas. Pudo también observar rasgos más localizados que fácilmente fueron explicados como zonas de impureza qui-

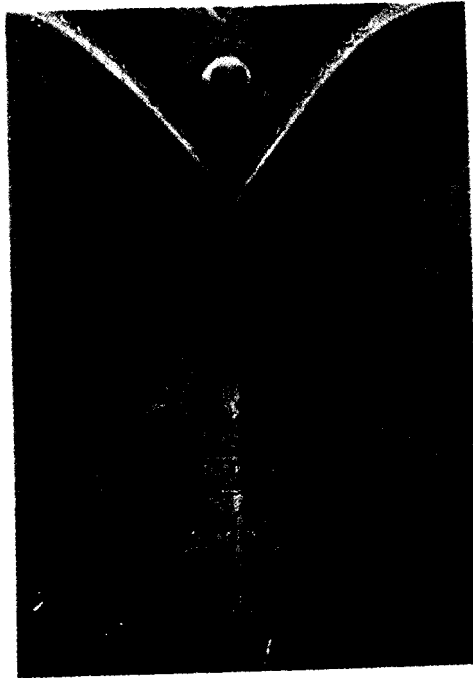


Fig. 7.20. Detalle del pectoral de la armadura del duque de Brunswick, alrededor de 1540.

mica o precipitados de compuestos químicos, como carburos de hierro.

Este fue el punto de partida de la técnica de la metalografía, básica para la ciencia de la metalurgia. Habiendo observado las formas cristaloides básicas, se pudo construir teorías, según las cuales la mayor parte de los metales puede considerarse una aglomeración de pequeños cristales, dentro de los cuales los átomos se disponen en un retículo regular. Las propiedades mecánicas del material —la fracción, la elasticidad, la ductibilidad, etcétera—, se correlacionan con las fuerzas existentes entre los cristalitas y su movimiento relativo bajo presión.

Estudiando los efectos del tratamiento por calor, del trabajo en frío, la aleación, etc., en la textura cristalina, el metalúrgico puede empezar a explicar los efectos correspondientes a las propiedades mecánicas. En otras palabras, se hace posible una ciencia racional —que va más allá de reglas meramente empíricas y tablas de datos— sobre la resistencia de los metales.

Observese que, sin embargo, Sorby no se menciona en la *Enciclopedia Biográfica de Ciencia y Tecnología* de Asimov, aunque también hizo aportaciones técnicas fundamentales al estudio microscópico de los minerales. Este tipo de investigación, que está fuera de las fronteras convencionales de cada una de las disciplinas clásicas de la física, química y geología (¡aunque ocupe precisamente la zona intersticial entre ellas!) es evidentemente demasiado «aplicado» para ser reconocido como científicamente importante. De hecho, toda la cuestión de la estructura microscópica de los materiales, la ciencia académica la recibió con indiferencia hasta hace pocas décadas. *Properties of Matter* (Propiedades de la Materia) (1928), de Newman y Searle, por supuesto, escrito para «físicos», menciona escasamente los cristales; dan la impresión de querer hacer creer al estudiante que la «materia» es siempre perfectamente homogénea e isotrópica directamente hasta la escala atómica. La metalurgia misma se desarrolló siguiendo líneas artesanales. Al estudiante se le daba un conocimiento superficial de la física y química, y luego debía adquirir una enorme cantidad de conocimientos aparentemente arbitrarios acerca de la textura metalográfica de las aleaciones típicas, de los diagramas de fase, de las pruebas de dureza, etc., para prepararse para la vida eminentemente práctica de un perito técnico en una fábrica de acero o de fundición de zinc.

Desde la segunda guerra mundial, la metalurgia ha pasado por una segunda revolución técnica, resultado del estudio de los defectos típicos de los cristales —«dislocaciones», «lugares vacantes», «defecto de apilamiento», etcétera—, mediante la difracción de rayos X y la micros-

copia electrónica. Como suele suceder, de los conceptos revolucionarios y técnicos por las «plinas» académicas o los produjeron personas que originalmente no tenían formación en metalurgia. Como resultado, tenemos ahora explicaciones semicuantitativas razonables de cómo y por qué ciertos tipos de acero se doblan o quiebran. Sin embargo, hay todavía muy pocos casos en que pueda predecirse estos caracteres antes de la observación o, mejor aun, en que podamos construir un nuevo material para un propósito específico. En el interim, el siglo pasado ha visto desarrollos enormes en el descubrimiento de nuevas aleaciones con propiedades extraordinarias de propiedades para el uso en turbinas (pág. 209), motores de turbinas, paletas de turbinas, etc. Este progreso técnico ha sido realizado en amplia medida por la convencional prueba por errores; se ha basado en los principios que han estado inspirados en la intuición del sano sentido común, más que en el análisis deductivo. Es trabajo duro seguir el paso a los desarrollos reales de la técnica bajo la presión de las exigencias industriales o militares.

La metalurgia misma, especialidad técnica independiente, está siendo absorbida por una nueva disciplina: la «ciencia de los materiales», que incluye otros materiales como la cerámica. En la academia moderna, se la considera un terreno interdisciplinario o una rama de física y/o química aplicada. En un nivel abstracto, nos referimos al progreso intelectual que permite la integración de varias observaciones y teorías en un modelo coherente que da una «vista de conjunto del estado actual de la ciencia» a un momento dado. En la investigación en la que interdisciplinarios de especialistas venidos de las disciplinas de la física de los sólidos, química física, geografía, etc. En privado, debe admitirse que este cambio de nombre y la relación abierta con departamentos académicos más prestigiosos ha ayudado a ganar nuevos

amigos y nuevo dinero para una materia que, con frecuencia, parecía un poco demasiado sucia y modesta para el estudiante ambicioso. Observamos, de hecho, un fenómeno social típico: una ciencia aplicada trata de darse un tono de respetabilidad haciéndose más teórica, más pura y aparentemente inútil. Muchas ramas de la medicina, como las subespecialidades de anatomía, fisiología y patología, han seguido el mismo sendero. Sin embargo, la habilidad del práctico experimento es todavía esencial en el mundo real —el pellizco de este o aquel ingrediente, el martillazo aquí o allá, el desfilado que parece bien, el diagnóstico intuitivo— y esto no lo puede explicar inmediatamente o predecir la teoría fundamental existente. La responsabilidad de enseñar la pericia profesional está todavía en el centro de todo arte útil, aunque pueda haber avanzado mucho hacia el extremo del arco iris de «medicina científica», «ingeniería científica» o «ciencia de materiales». Esto se aplica tanto a la manipulación de la materia muerta, como a un arte obviamente más incierto como la medicina o la agricultura.

### *Fabricación del papel*

Como un último ejemplo, consideremos el oficio antiguo de la *laboración de papel*. El nombre procede de la palabra egipcia que designa los juncos del Nilo —*Papyrus*. Este material, empleado en todo el mundo grecorromano, se obtenía cortando el tallo del junco en rebanadas finas, que se aplanaban, entrecruzaban como el tejido de una estera, se sumergían luego en agua, se apretaban y secaban al sol (fig. 7.21). Era, en muchos sentidos, un material bastante bueno para manuscritos, pero se producía casi exclusivamente en Egipto. En el siglo III o IV, fue reemplazado por el *vellum*, un pergamino delgado hecho de la piel de ternero, cabra u oveja. La piel se lavaba, se apelmabraba para quitarle el pelo, se descarnaba, etc.; luego, estirada en un bastidor, se volvía a lavar, descarnar, afeitar; se despolvaba, se frotaba y



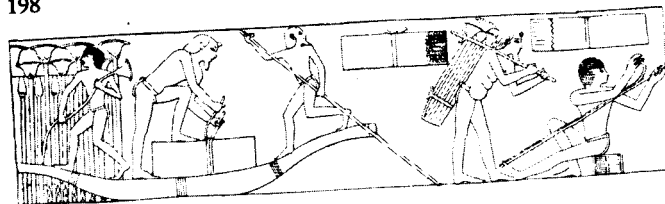


Fig. 7.21. Cosecha y preparación de la planta de papiro. De una tumba de Tebas, alrededor de 1500 a. C.

secaba (fig. 7.22). Dado que las materias primas se obtenían en cualquier lugar de Europa y que los procesos todos eran trabajo manual, pudo manufacturarse localmente —consideración importante en la economía de subsistencia de la Edad tenebrosa y la alta Edad Media.

La invención de papel auténtico tuvo lugar en China, entre 200 a. C. y 100 d. C. El proceso básico consiste en cortar cualquier material natural que contenga fibras de celulosa —por ejemplo, trapos viejos de algodón— y abatanarlo con agua. Se extiende en finas capas sobre una malla, para que drene el agua. Se obtiene así una masa afieltrada de fibras enmarañadas que se seca como una estera sólida. Para mejorar la textura y el color u obtener



Fig. 7.22. (Centro) Restiramiento del pergamino en un bastidor para secado. El trabajador lo afeita con una navaja de media luna de tipo especial, pues la hoja está en ángulo recto respecto del mango. De un manuscrito alemán del siglo XII. (Derecha) Suavizando la hoja acabada con piedra pómez. (Izquierda) Cortando la hoja con ayuda de una regla y una escuadra de dibujo. Ambos de un manuscrito alemán del siglo XIII.

una buena superficie, el material puede ser tratado con diversas gomas, rellenado con yeso fino, blanqueado, teñido, suavizado, etc.; pero el papel moderno no es esencialmente diferente del producto chino original.

El papel llegó a Europa, a través de los árabes, el siglo xii. Un periodo de 1.000 años para la difusión de un invento tan útil, no es insólito. Sin embargo, es útil preguntarnos si podría haberse acelerado. Supóngase, por ejemplo, que uno fuera un habitante emprendedor y creativo de Bizancio, del siglo v, a quien se ha hablado del esquema mencionado sobre el proceso de fabricación de papel: ¿qué gran esfuerzo se hubiera requerido —el perfeccionamiento de la técnica mediante la prueba por errores, los problemas de reproducibilidad de la calidad, de la producción y del mercado— para levantar una fábrica de papel que pudiese competir con el papiro y el vellum? La prueba de esta dificultad es que el invento caminó lentamente, difundido por hábiles artesanos, portadores de un método tradicional en todos sus detalles, que pudo adaptarse a las circunstancias locales y establecerse, paso a paso, a lo largo de su camino. ¡También las técnicas viajan dentro de la gente!

Es también aleccionador considerar la función desempeñada por el papel en la invención de la imprenta. Sin un material más barato que el vellum para la fabricación de libros, ¿el invento de Gutenberg (1450) hubiera parecido económicamente rentable? ¿O deberíamos preguntar cuánto tiempo hubiera sido necesario para inventar, de un modo independiente, el papel en Europa, con el sólo estímulo de la demanda de un material barato para alimentar a la prensa impresa? Este es el tipo de preguntas que se plantean acerca de las modernas tecnologías con una esperanza escasamente mayor de una respuesta satisfactoria.

En todo caso, la fabricación de papel, en el Renacimiento, era un oficio usual que formaba un gremio. El papel se hacía a mano, con máquinas simples. Los elementos del proceso se reconocen fácilmente —el batán impulsado por una rueda hidráulica, el tambor y la prensa

de secado (fig. 7.23). El desarrollo más importante, hasta finales del siglo XVIII, fue la invención (1670) de la «Hollander», que es semejante a una cortadora de césped fija

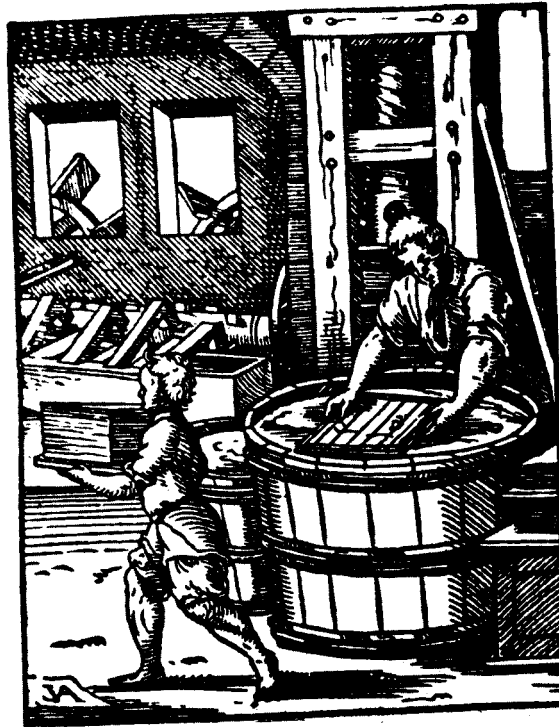


Fig. 7.23. La primera imagen (1568) de un fabricante de papel en acción: (atrás) bocarte hidráulico; (centro) prensa para las hojas; (frente) el cubero usando el molde, mientras su hijo retira las hojas acabadas.

para cortar los trapos (fig. 7.24). Hubo otras mejoras, por ejemplo, en el diseño y construcción de tambores de malla metálica, pero todas fueron prácticas, cambios fragmentarios de técnica que no tenían relación con ninguna ciencia literalmente tomada. En el siglo XIX, nuevos proce-

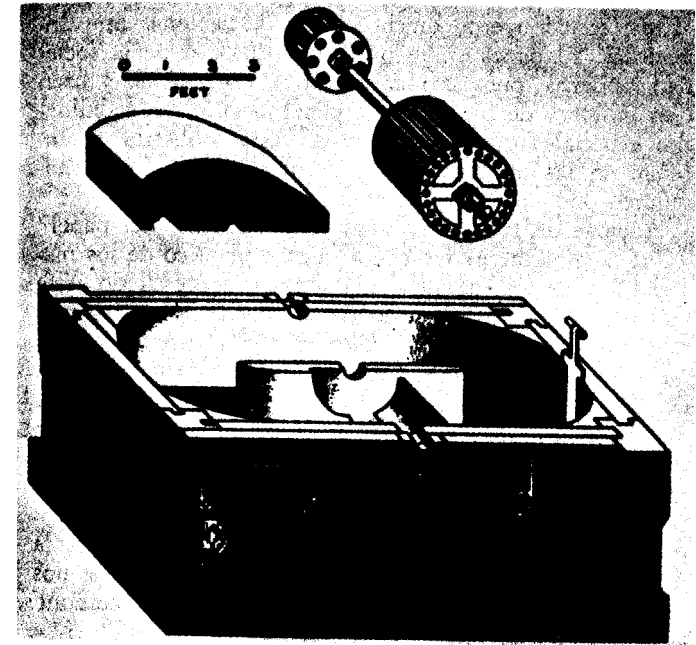


Fig. 7.24. La Hollander.

sos químicos para extraer las fibras de celulosa de la paja, de la pulpa de madera, etc., fueron descubiertos, pero aquí, otra vez más, los inventos se hicieron por experimentación simple con diversas recetas, sin aplicar ideas químicas elaboradas.

De 1800 en adelante, el proceso de manufactura estaba mecanizado con maquinaria pesada. El tambor se convirtió en una banda infinita de malla metálica, sobre la cual corría una capa continua de pulpa, que conducían sucesivos rodillos de prensado, secado, satinado hasta el otro extremo, donde podía ser enrollada en rollos de una tonelada. La invención, diseño, construcción y control satisfactorios de estas máquinas es un milagro de la ingeniería mecánica, hidráulica, química y electrónica, etc.,

al que contribuyeron muchos miles de personas muy ingeniosas. El papel es un producto principal de la sociedad moderna, pues se manufacturan, transportan y usan diez millones de toneladas de papel al año. Las habilidades especiales que requiere esta vasta industria se enseñan en las universidades y escuelas técnicas o se adquieren por una larga experiencia en este campo.

Además de todo esto, ¿hay una «ciencia» del papel? ¿Qué la constituye? Un conocimiento práctico de los materiales y de los métodos, máquinas y procesos no sería suficiente. Para hablar solo de lo fundamental, tendríamos que empezar con la *bioquímica* y la *fisiología vegetal* de las fibras lenosas. Después estudiaríamos la técnica de los bosques -*silvicultura*- que implicaría mucha *botánica*. La *química* de los procesos de extracción y la *ingeniería mecánica* de maquinaria rápida automática, son esenciales; pero no se debe descuidar la *física* de las fibras, de la absorción luminosa, del color, de la resistencia, etc. Asimismo no debe omitirse la *economía* en la distribución y mercado de industria tan grande, que nos lleva de la mano a la *sociología* de los medios de comunicación de masas, etc.

Esta lista preliminar ejemplifica, de modo muy general, la naturaleza de lo que normalmente se piensa que son las tecnologías altamente especializadas. No podemos estudiar las características esenciales de dicho material sin referirnos a muchas ciencias «puras» y a muchos rasgos importantes de la sociedad en general. Por ejemplo, la fabricación de papel está íntimamente relacionada con problemas de ecología y con el reciclaje de productos de desecho. Puede haber una forma de educación liberal, enseñada con este espíritu, tan amplia e importante como el estudio directo de la Sociología o de los Clásicos.

Aun cuando fijáramos nuestra atención en la investigación sobre algún problema estrictamente técnico -hacer un papel más resistente, por ejemplo-, necesitaríamos reunir el conocimiento especial de varias disciplinas científicas. Esta cuestión requiere datos sobre estructuras bioquímicas, sobre la función fisiológica de las fibras,

sobre las condiciones micrometeorológicas durante su período de crecimiento, etc. Un enfoque interdisciplinario es absolutamente esencial, si queremos construir una base científica para una tecnología existente.

Obsérvese también que los orígenes artesanales de esta tecnología pondrían de relieve el mejoramiento científico o la modificación del material básico existente, pero que se podría considerar la invención de un tipo completamente nuevo de material que realice las mismas funciones. Hemos visto esto en el caso del polietileno que reemplaza al papel como material de envoltura. Tal innovación llegaría, por azar, de una fuente independiente, o quizá de un «Laboratorio General de Materiales de Revestimiento Fino», con mayor probabilidad que directamente de un «Instituto de Investigación sobre el Papel». Una tecnología altamente desarrollada tiene su propia forma de conservadurismo básico. Demasiada ciencia encaminada demasiado estrechamente al objetivo único de mantener una industria particular, puede incluso ser un obstáculo al progreso técnico. Reforzado por la amplia inercia de las instituciones sociales a gran escala, como fábricas y corporaciones industriales, un «paradigma técnico» puede moverse tan pesadamente como un «paradigma teórico» sobre el cual disputan los filósofos.

*Todo lo que se intenta sin una certeza previa de exito, puede considerarse un proyecto y, ante gente de espiritu estrecho, puede, por tanto, exponer a su autor a la censura y al desprecio; y como la libertad de ridiculizar se ha de conceder alguna vex, cada quien se reira de lo que no entiende. Todo proyecto sera considerado una locura y todo diseno, grande o nuevo, sera censurado como un proyecto. Los hombres, desacostumbrados a razonar e investigar, piensan que toda empresa que va mas alla de los es/uerzos corrientes o comprende muchas operaciones intermedias, es imposible. Muchos que se rien presuntamente de los proyectistas, considerarian igualmente un vuelo a traves del afire en un carro alado y el movimiento de una poderosa maquina mediante vapor de agua, como suenos de un mecanico lunatico, y escucharian, con igual negligencia, hablar de la union del Tamesis con el Severn por un canal, y del esquema de Albuquerque, virrey de Indias, que, en su hostilidad rabiosa, ha planeado convertir a Egipto en un desierto esteril, desviando el Nilo hacia el Mar Rojo.*

SAMUEL JOHNSON

Con frecuencia se afirma que la industria moderna depende de la ciencia basica para proveerse de innovations. Es sobriamente, se asevera que el apoyo a la ciencia pura se justifica porque conducira, finalmente, a obtener beneficios economicos a traves de los productos o procesos industriales mejorados. ¿En que grado es esto cierto?

#### La cremallera

Esta pequena pieza de metal (fig. 8.1) que mide normalmente entre dos y cinco milímetros de anchura, se fabrica cuidadosa y exactamente en volúmenes enormes. Es, por supuesto, uno de los dientes de una cremallera (figura 8.2), la cual es una gran comodidad para la vida

cotidiana. La *idea* de tal artefacto se debe a W. L. Judson, un ingeniero mecanico americano que hizo la solicitud de la primera patente, en 1891. Fue un invento tinico. Ninguna idea similar ha sido encontrada en ninguno de

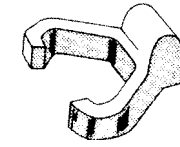


Fig. 8.1. Diente de cremallera.

los archivos de patentes anteriores a esta fecha. Durante los 20 años siguientes, la compañía formada para explotar el invento trato de fabricar un producto vendible e introducirlo en el mercado. Lo mejoro gradualmente, pero debe haber gastado mucho dinero en ello, pues en su forma primera no era realmente practico. Sin embargo, la compañía *Automatic Hook and Eye* contrato un ingeniero electricista sueco, G. Sundback, que, en 1913, hizo el diseno esencial de la cremallera moderna y construyo tambien maquinas para producir las partes y unirlas a la cinta. Pero los fabricantes de vestidos no se interesaron en ella hasta 1918, cuando la compañía hizo un contrato para poner cremalleras en trajes para vuelo. Hasta 1923, cuando las cremalleras empezaron a usarse

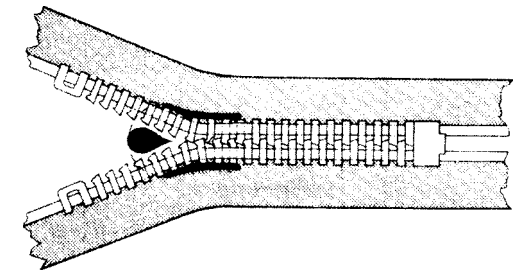


Fig. 8.2. Cremallera.

en zapatos de goma sobrepuestos, el nuevo artefacto no fue realmente aceptado por el público. Esta pequeña historia no tiene relación con la <<ciencia>>, pero nos dice mucho de otros factores de la innovación industrial, como la inspiración individual, el desarrollo y mejoramiento pacientes de un producto imperfecto, el dinero necesario para una aventura arriesgada y el proceso lento de <<penetración en el mercado\*>> en contra de las técnicas establecidas.

### El propulsor a chorro

Es otra clase de invento mecánico. En enero de 1930, una patente británica (fig. 8.3) que describía el plan de una turbina de gases que se proponía para la propulsión a chorro de un avión, fue registrada por Frank Whittle (1907- ), entonces de 23 años, que estaba formándose como ingeniero en la *Royal Air Force* (RAF), Fuerza

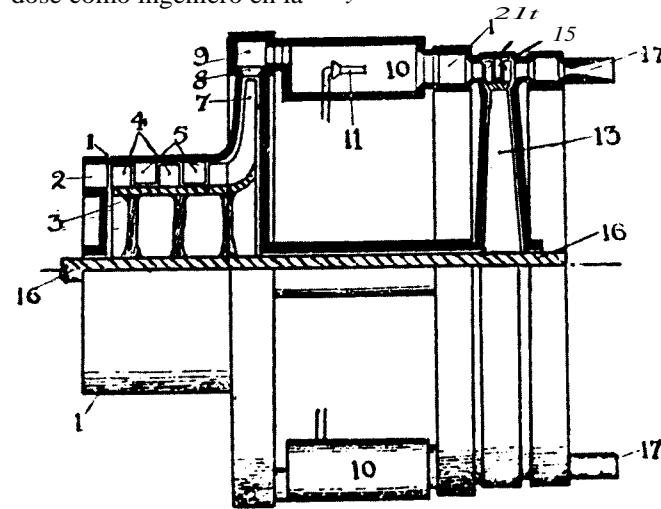


Fig. 8.3. Dibujo de la patente británica n4 m. 347.206, de 16 de enero de 1923.

Aerea Real). Su idea básica era generar el chorro propulsor de aire dentro de la misma turbina de gases, más bien que usar el motor para impulsar la hélice. Pero esta idea no tuvo ningún efecto hasta 1935, cuando Whittle estudiaba Ingeniería en Cambridge. Hablo de ello con unos cuantos y formo una pequeña compañía -con 2.000 libras de capital- para explotar el invento.

El primer modelo fue construido en 1936, en los talleres de una gran empresa de ingeniería, la *British Thomson Houston Company* (Compañía Británica Thomson Houston). Desde entonces, no podía llamarse ya a Whittle un <<inventor solitario\*>>: tenía un pequeño equipo de auxiliares, algunas instalaciones ingenieriles modestas y cierto interés por parte de la RAF y otras organizaciones aeronáuticas. Todo el esfuerzo se realizó obviamente con medios primitivos, para que resultara barato (fig. 8.4).



Fig. 8.4. Instalaciones para las pruebas de combustión fuera de la fábrica British Thomson Houston, usadas antes de que estuviera a punto el motor experimental.

En 1939, el gasto total que incluía el diseño y la construcción de una serie de modelos, no superaba las 20.000 libras, suma que escasamente serviría para pagar las tazas de todas las bebidas durante el diseño de un propulsor por

chorro moderno. Hubo muchos fracasos y dificultades técnicas en el diseño de las paletas de turbina, de las cámaras de combustión, etc. Al estallar la guerra, se inició un esfuerzo más concentrado con recursos más abundantes, pero, hasta 1942, seis años después del primer intento, un motor suficientemente bueno para producirlo en serie, no fue construido (fig. 8.5).

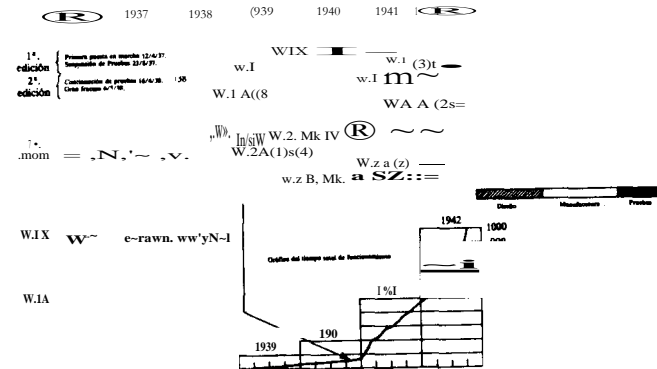


Fig. 8.5. Chorro a gotas. Diagrama que muestra los principales sucesos en la historia de la primitiva turbina de gas de propulsión por chorro.

Es una historia bien conocida, contada vigorosamente por Whittle mismo, que es ejemplo de muchos fenómenos significativos.

Observamos inmediatamente la importancia de un hombre que tiene una idea y la voluntad de ponerla en práctica. Whittle recibió mucha asesoría técnica en varios momentos, pero él era el director del equipo de desarrollo hasta la consecución del éxito de la empresa. Esta innovación no fue producto de un «laboratorio de investigación industrial», en una gran compañía. En efecto, los fabricantes británicos establecidos de motores aéreos no estaban interesados en esta idea atinada. El concepto de una turbina de gases había sido propuesto ya varias veces

peso tlos «sabían» por experiencia que no funcionaba. Whittle tuvo que batallar mucho para romper los prejuicios existentes, incorporados en la ciencia de la ingeniería de su tiempo.

Por otro lado, Whittle era un ingeniero profesional perfectamente preparado, capaz de recurrir al consejo y experiencia mejores. Empleó las ideas teóricas de la termodinámica (véase fig. 38) y de la aerodinámica para probar que su motor funcionara y para diseñarlo con eficacia. En particular, demostró con argumentos puramente científicos, la necesidad de dar a las paletas de turbina la forma adecuada, según los principios de la termodinámica. Este invento hubiera sido imposible sin el conocimiento fundamental correspondiente de física y matemáticas aplicadas. Y el motor mismo no podría haber funcionado sin las nuevas aleaciones, capaces de soportar temperaturas muy altas, que los metalúrgicos acababan precisamente de desarrollar (fig. 196).

La influencia de la guerra (cap. 13), que urgía al pequeño equipo, proporcionándole dinero, gente y facilidades de producción, es también típica. Como quiera que valoremos el avión de propulsión por chorro -bendición o maldición-, es muy dudoso que hubiera sido desarrollado con el mismo ímpetu sin este incentivo.

Más significativamente, no fue un invento único. El equipo británico estaba trabajando en secreto, sin saber nada del desarrollo paralelo del proyecto alemán. Dos estudiantes de Gotingen, Hans von Chan y Max Hahn, ignorando la patente de Whittle, patentaron también un sistema similar, a mediados de los años 1930. Varias grandes empresas de aviación alemanas empezaron a trabajar en ello, en competencia secreta. Un Heinkel con motor de propulsión por chorro hizo su primer vuelo, el 27 de agosto de 1939, casi dos años antes del primer vuelo británico con aviones de reacción por chorro. El fracaso de la Luftwaffe en obtener la primacía en el aire, gracias a un veloz reactor de caza, durante la guerra, se debió principalmente a la organización ineficaz de los altos mandos. El ministro del Aire alemán confiaba en

los motores de pistones y no acerto dar el apoyo necesario a los brillantes equipos de ingenieros de sus compaiias de aviacion. Es claro, en este caso, que el concepto del propulsor por chorro estaba realmente implicito en el conocimiento y practica ingenieriles de los anos 30 y que, en todo caso, el desarrollo se habria producido mas o menos en ese tiempo.

Hoy en dia, por supuesto, la manufactura de los motores de reaccion por chorro es una inmensa industria internacional, con un volumen de operaciones de cientos de millones de libras al ano. La acompaña una tecnologia enorme -es decir, un conocimiento tecnico alcanzado por experiencia o cacculo cuidadoso. Esta habilidad se usa continuamente para mejorar la capacidad y rendimiento del producto (fig. 8.6). Es una actividad muy costosa,

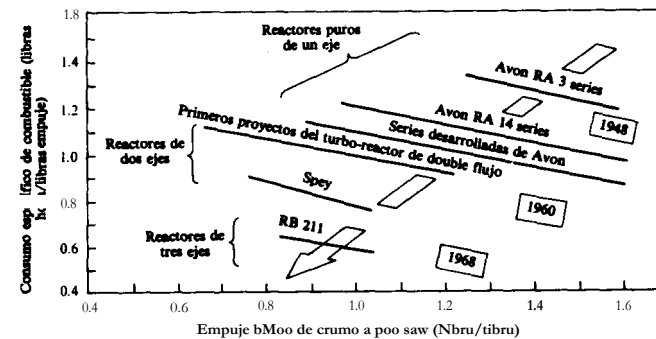


Fig. 8.6. Mejoras en el rendimiento de los turbo-reactores de doble flujo. Consumo de combustible (escala vertical) y peso han sido reducidos a la mitad por desarrollos técnicos en un periodo de veinte años.

pero con una buena rentabilidad económica, casi predecible. Cuando una empresa, como la *Rolls Royce* o *Pratt and Whitney*, diseña un nuevo motor -el RB 211, por ejemplo- (fig. 8.7), puede calcular por adelantado su capacidad y peso probables y espera razonablemente que la investigación corrija los diversos defectos no previstos,

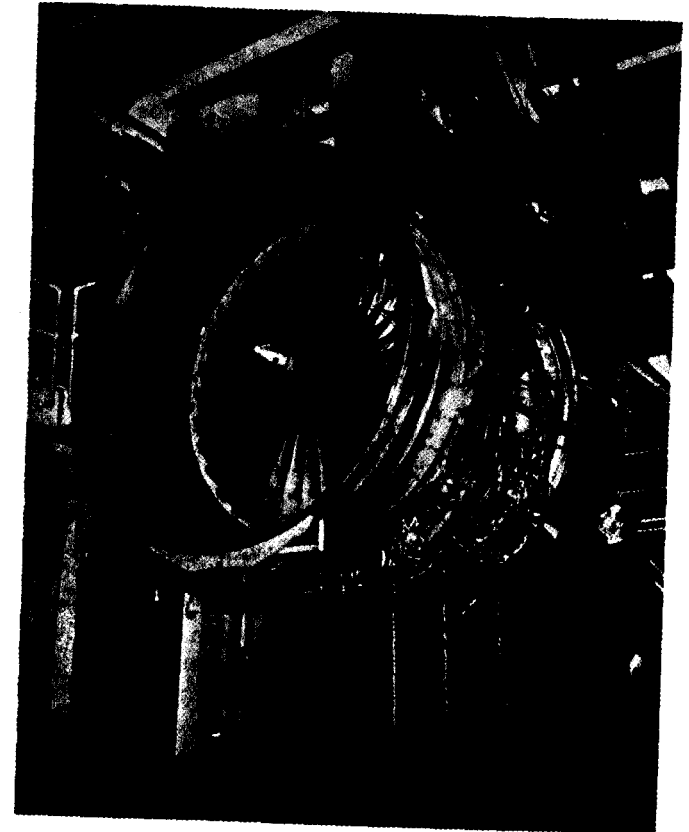


Fig. 8.7. Máquina RB 211.

con inventos menores o aun volviendolo a diseñar, según vaya resultando el desarrollo. Es casi innecesario hacer notar un gran factor de riesgo *comercial* en tal proceso, pero los objetivos técnicos se alcanzan normalmente con misteriosa exactitud. ¿Deben considerarse tales transformaciones como < innovaciones > genuinas? Quizá viendo más de cerca cada parte del motor, podríamos observar, a nivel < microscópico >, la habilidad inventiva y el me-

joramiento paciente en la invention y desarrollo de toda una maquina. Los responsables estarian empleando el mismo tipo de mezcla de ciencia pura y experiencia practica que Whittle mismo; es cuestion de gustos, llamarles «cientificos, < ingenieros» o «< tecnologos». Para completar el ciclo, deberiamos descubrir casi con certeza, una ortodoxia tecnologica establecida dentro de la industria, que, como la pericia practica de los fabricantes de la gran maquina de pistones, cuando esta era prepotente, obstaculizaria las innovaciones fundamentales.

Una vez establecida, una nueva tecnologia puede mantenerse con el autoaprovechamiento de innovaciones. Por ejemplo, el numero de patentes de ferrocarril registradas anualmente, en los Estados Unidos, se acerca a la production anual de vias ferreas (fig. 8.8). En una economia capitalista, la inversion en una industria genera manifiestamente los inventos e innovaciones tecnicos para utilizar mejor el dinero invertido. Este grafico fascinante no prueba obviamente la relation causal que sugiere, pero indica que la tecnologia es, en grado considerable, autonoma de sus fuentes de cambio y ampliamente independiente de la ciencia pura, que proporciona meramente un clima de ideas basicas y principios generales.

### Penicilina

Para equilibrar esta discusion, consideremos ahora una innovation tecnica que indudablemente se derivó directamente de la pura investigation cientifica. La observation accidental de los efectos del *penicillium* del moho en un cultivo de bacterias, es famosa. La hizo, por fortuna, un hombre recto. En 1928, Alexander Fleming (1881-1955) estaba trabajando en un pequeno laboratorio, de gran calidad, de Bacteriologia, en el Hospital de Santa Maria, en Londres. Estaba profundamente interesado en la accion bactericida o bacteriostatica de los productos naturales e inmediatamente empezo una investigation minuciosa sobre el fenomeno del *penicillium*.

En un periodo de tres o cuatro años, hizo un trabajo excelente examinando la accion del extracto del moho, demostrando que no era toxico ni para animales ni para

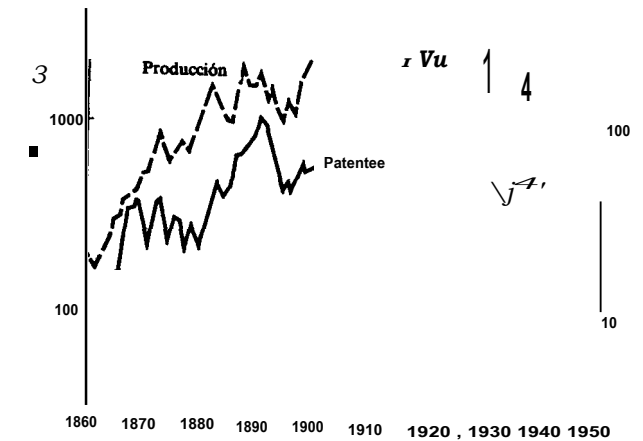


Fig. 8.8. Vías de ferrocarril: producción y patentes. Estados Unidos, 1860-1950.

hombres, concentrandolo, etc. Los resultados de la investigation fueron debidamente publicados, pero Fleming era un hombre taciturno, sin facilidad de palabra, sin sentido de la publicidad, y su descubrimiento fue ignorado casi completamente. Fleming mismo no fue capaz de controlar los medios bioquimicos y quimicos necesarios para aislar y purificar el agente activo. Además en el mundo comercial de los farmacos, el concepto de - un bactericida no toxico era una contradiccion en los terminos.

Durante otros diez años, pues, nada se hizo. Mas tarde, en 1939, un grupo dirigido por Howard Florey (1898-1968) y Ernst Chain (1906- ), en el Departamento de Patologia de Oxford, empezo a trabajar sobre antibioticos naturales. Se toparon en la bibliografia con el trabajo de Fleming ( ; no tomaron ninguna medida



para consultarlo, pues pensaban que había muerto!). Pronto descubrieron que la penicilina era altamente eficaz y que podía ser concentrada y purificada (fig. 8.9). Para 1940, tenían suficiente material para demostrar su poder terapéutico en un policía que padecía envenenamiento de la sangre. Pero, como no tenían suficiente penicilina para completar el tratamiento, el paciente murió.

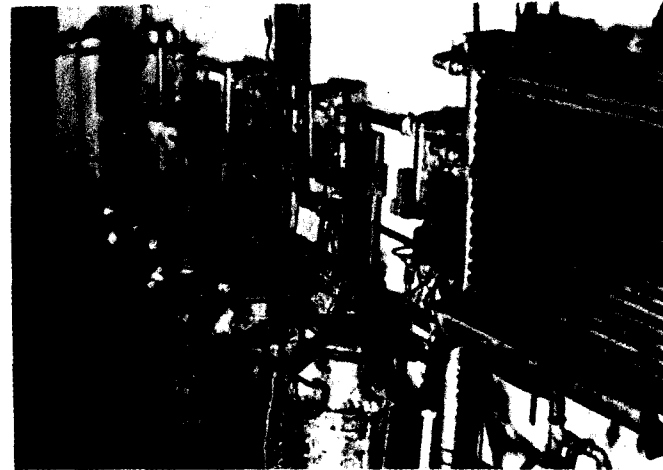


Fig. 8.9. Parse de la planta para extracción de penicilina, en la que se usaron latas de leche de 10 galones como vasijas para mezclado y bombas de fuentes de jardín para transportar los líquidos de una a otra parte de la planta.

Había aun enormes dificultades para preparar la medicina en un volumen realmente útil. Florey fue a los Estados Unidos, en 1941, y la poderosa palanca de las necesidades del estado de guerra le permitieron conseguir que los grandes recursos de la industria farmacéutica americana se aplicaran a la tarea de desarrollar y producir la penicilina. Fueron necesarios seis meses para obtener suficiente penicilina activa para tratar un caso; en 18 meses, hubo suficiente para 200 casos; después de 30 meses,

estaban listos los procesos que se emplearían para una producción industrial en gran escala (fig. 8.10). Por todo esto, Fleming, Florey y Chain fueron premiados con el

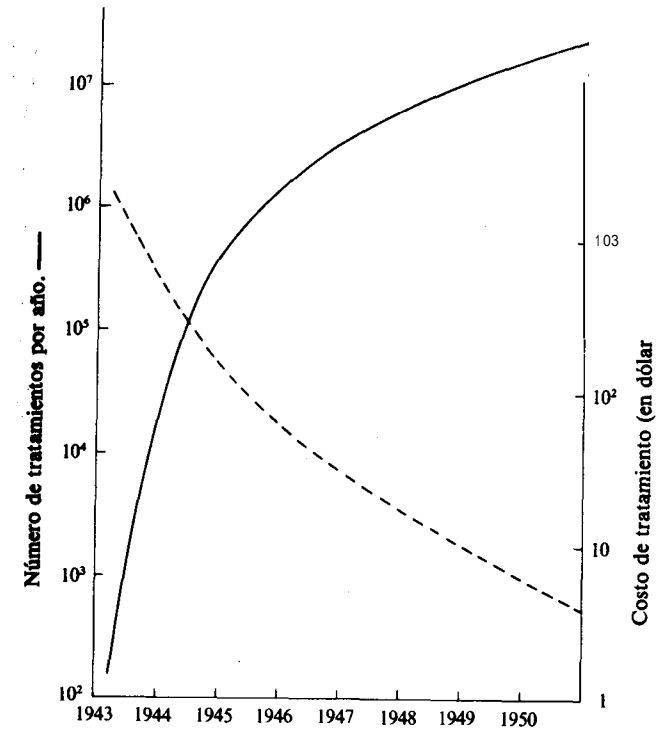


Fig. 8.10. Gráfico de la producción de penicilina en Estados Unidos de 1943 a 1950 (suponiendo que 10<sup>1</sup> unidades equivalen a un tratamiento médico).

Nobel de Fisiología y Medicina, en 1945, recibieron el título de Caballeros, etc. Siendo científicos puros (aunque, de hecho, hombres profundamente interesados en las aplicaciones de su descubrimiento), se quedaron muy satisfechos indudablemente con el honor y la gloria; los

industriales tuvieron que consolarse con los beneficios economicos de la operacion.

Una vez mds, de esa pequena semilla ha crecido, en escala verdaderamente gigantesca, otra industria completamente nueva. La penicilina misma es ahora solo un producto dentro de una gama completa de antibioticos derivados de microorganismos. La tecnologia de la manufactura, prueba, distribucion y yenta de estos productos es hoy otra habilidad humana altamente especializada y diferenciada, que han ido mejorando y transformando muchos innovadores menores.

Este campo ha pasado por un estadio de descubrimientos secundarios, interesante e importante. Por la gran dificultad y gasto en la produccion biologica de la penicilina, se hizo un enorme esfuerzo cientifico para establecer su estructura quimica, esperando encontrar un camino para sintesis no biologicas. El resumen de esta investigacion tiene 1.000 pdginas. Dorothy Hodgkin (1910-) y un equipo americano dilucido esta estructura (figura 8.11), en 1949. ~DeberIamos considerar esto

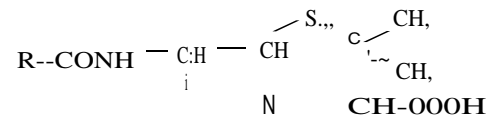


Fig. 8.11. *Formula de la penicilina.*

como una ernpresa de la ciencia <<pura>> o solo como una investigacion Kaplicada»? Se empleo cierta y plenamente toda la habilidad, experiencia e intuicion de los quimicos orgdnicos academicos y lo confirmaron las tecnicas intelectualmente refinadas de la cristalografia de rayos X.

SIntesis c ompletas de penicilina resultaron prdcticamente imposibles, pero Chain queria seguir adelante. Arguia que era esencial formar un equipo de quimicos, bioquimicos y bacteriologos y una planta de produccion pequena para estudiar pormenorizadamente los detalles y

**explorar** sus potencialidades. No obtuvo el apoyo necesario en Inglaterra por parte de la Universidad de Oxford i del Consejo de Investigacion Medica; por ello acepto el cargo de director de un instituto de Microbiologia en **Roma**, donde se le daban mas facilidades. Sin embargo, el grupo farmaceutico de Beecham decidio entonces meterse a la investigacion sobre penicilina y construyo un excelente laboratorio del que fue consejero Chain. El resultado inmediato fue el descubrimiento de un nuevo grupo de derivados de la penicilina con cadenas laterales reemplazadas (fig. 8.12), eficaces contra las bacterias

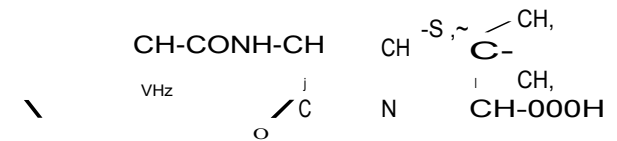


Fig. 8.12. *Formula de la ampicilina.*

resistentes a la penicilina ordinaria, que podlan tomarse por via oral. Este trabajo costo a Beecham cerca de un millon de libras anuales, pero una gariancia total de 10 6 20 millones de libras resultaba de la yenta final de los nuevos productos. Es un ejemplo excelente de investigacion *dirigida*, acompanada de la voluntad de asumir un riesgo financiero bastante grande sobre los resultados. Este tipo de contabilidad no incluye, por supuesto, presupuestos muy elevados de aventuras que no han resultado rentables, a pesar de inversione s considerables de tiempo y dinero en investigacion y desarrollo.

### Nylon

Como otro resultado del laborator i o de investigacion industrial, consideremos el *nylon*. Se han inventado, por accidente, en el siglo xix y xx, mucho s Hplasticos» peculiares para usos prdcticos: ruedas de goma vulcanizada,

celuloide, etc. Hasta cerca de 1925, no era del todo claro como habria que caracterizarlos quimicamente. Se pensaba que consistian en pequenas molculas unidas de manera irregular y desordenada. En 1926, Hermann Staudinger (1881- ), profesor de Quimica en Friburgo, empenzo a estudiar sistematicamente estos materiales y demostro que constan principalmente de grandes molculas en las que se ordenan, en cadenas muy largas, los atomos o grupos quimicos. Por este descubrimiento significativo en quimica pura, principio de la ciencia moderna de los *polimeros*, Staudinger gan el Premio Nobel, en 1953. Era el concepto slave para entender los materiales polimericos tanto naturales como artificiales y para producir deliberadamente los nuevos materiales con las propiedades deseadas.

En 1927, la compana E. I. du Pont de Nemours, gran corporation americana especializada principalmente en la manufactura de explosivos, decidio empezar con un programa de investigacion fundamental. Le adjudicaron un presupuesto de 250.000 dolares al ano y contrataron a un excelente quimico de Harvard, Wallace E. Carothers (1895-1937), entonces de 32 anos, para dirigir la investigacion. Carothers se intereso en las caracteristicas fundamentales de la polimerizacion. En particular, observo un fenomeno nuevo: una fibra podia ser extraida de un polimero fundido caliente y aumentarse su resistencia y elasticidad por ulteriores estirajes en frfo. Experimento con varios materiales, pero se le urgio a encontrar un compuesto comercialmente util. Volviendo su atencion a los poliamidos, de composition relativamente simple (fig. 8.13), descubrio que estos tenlan potencialidades excelentes como fibras. Armado con los conceptos basicos de Staudinger y con su captacion fundamental de los efectos de la forma y reactividad molecular de los cons-

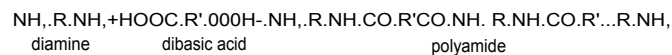


Fig. 8.13. Reaccion de polimerizacion en el nylon.

tituyentes en el proceso de polimerizacion, fue capaz de guiar la investigacion a la mejor combination posible en este grupo de materiales. Por ejemplo, el punto de fusion del polimero depende, en cierto grado, del modelo de degradaciones entre las cadenas vecinas (fig. 8.14). Esto,

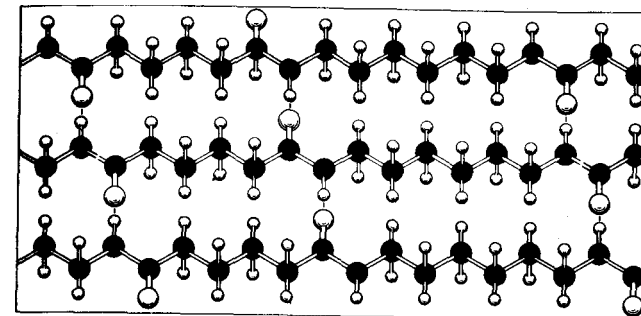


Fig. 8.14. Vinculación cruzada entre cadenas de polimeros en el nylon 66.

a su vez, depende del numero relativo de atomos de carbono en los dos componentes diferentes del polimero (figura 8.15). Así el nylon 66, el material de fibra optimo final, tiene seis carbonos en cada una de las dos secciones.

Sin embargo, a pesar del exito relativamente rapido en encontrar un material verdaderamente satisfactorio, la production en gran escala de la fibra de nylon no empenzo hasta 1939. En un perfodo de once anos, la investigacion habfa costado seis millones de Mares y 21 el desarrollo de la planta industrial. Fue necesario elaborar los procesos quimicos para la production de los componentes basicos en grandes cantidades -tarea tipica de un experto en el arte altamente especializado de la ingenierfa quimica. Fue tambien necesario desarrollar toda una nueva gama de maquinaria para extraer, estirar e hilar esta fibra insolita (fig. 8.16). El nylon, como las innovaciones industriales mas significativas, puede ser consi-

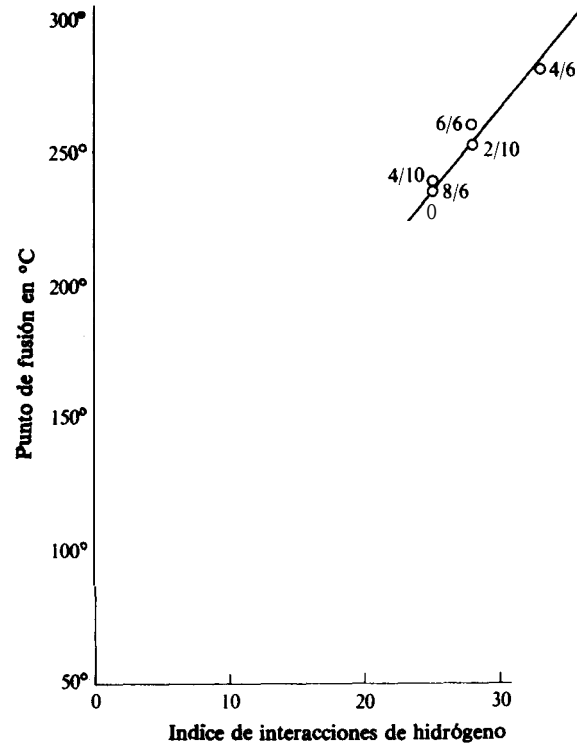


Fig. 8.15. Variación del punto de fusión en función del índice de interacciones de hidrógeno en los poliamidos con grupos pares de CH<sub>2</sub>.

derado como producto del trabajo de muchos cientos o miles de personas colaborando en un equipo numeroso, bajo administración sistemática. Es un ejemplo clásico de la investigación en una gran empresa y de desarrollo con un fin comercial a largo plazo. En esto se piensa cuando se dice que, hoy en día, la innovación es principalmente fruto de los laboratorios de investigación industrial de las grandes corporaciones. Recuerdese, sin embargo, dos

factores esenciales: la ciencia «académica» de Staundinger, que suministró la estructura conceptual dentro de la cual las observaciones experimentales pudieron ser entendidas, y el brillante liderazgo de Carothers, que supo

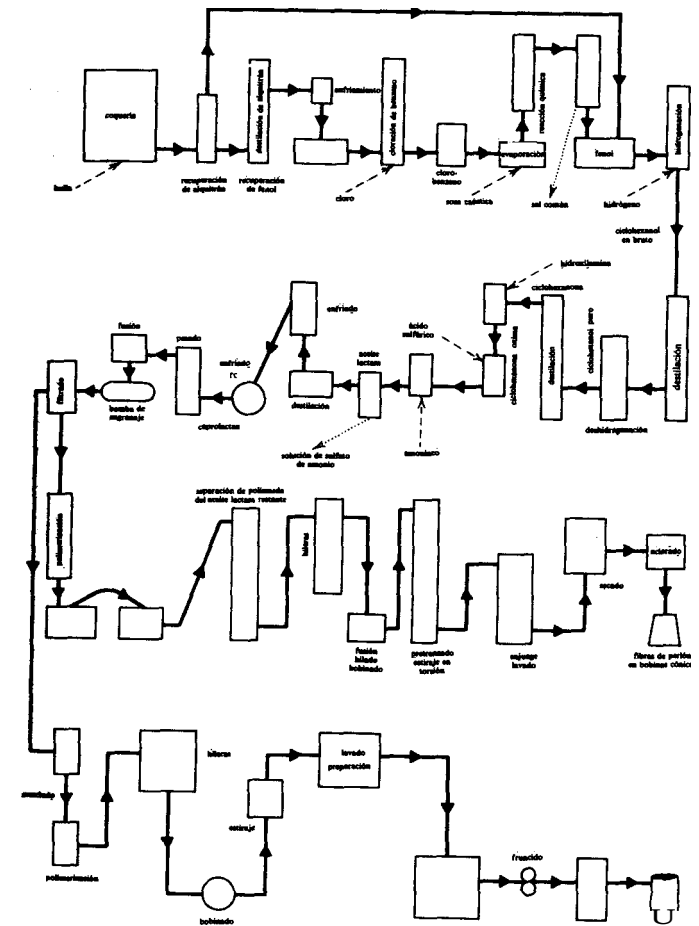


Fig. 8.16. Planta de nylon. Dibujo esquemático.

como manejar los nuevos conceptos para la creación <ingenieril> de un material con las propiedades deseables.

En este punto debemos considerar, con cierto detenimiento, la relación entre una organización de investigación y desarrollo y su cuerpo parental. Dentro de una corporación industrial, puede ser muy sutil y algunas veces desagradable. Hay presiones por parte de la investigación para apoyar las nociones favoritas de cada quien o mantener vivos proyectos que no van bien. De los departamentos de producción y ventas llegan demandas de nuevos productos que tienen, por lo menos, un mercado inmediato, o de investigación a corto plazo de averías en la planta fabril. Se dice que los trabajadores de la investigación deben solamente preocuparse de hacer publicaciones en las revistas académicas, mientras que la administración debe solamente vigilar la hoja de balance corriente. Mientras tanto, el camino de una idea brillante desde el departamento de investigación hasta la planta de producción, esta sembrado de escollos. Es para muchos, la arena de un combate de gladiadores, que proporciona un excelente y abundante material para tesis de Doctorado en Sociología. De hecho, es un tema demasiado amplio por si mismo y eventualmente podría servir para ilustrar, como en un microcosmos, todos los temas de este libro.

#### *Laboratorios telefónicos Bell y baterías de flotador*

Pero debemos seguramente decir algo acerca de la mayor, mas famosa y exitosa de tales instituciones: los Laboratorios Telefónicos Bell de New Jersey, fundados en 1925. Esta vasta organización se sostiene con los ingresos de la Compañía Americana de Teléfono y Telegrafo, para cuyo beneficio debe trabajar. De hecho, es tambien el hogar de algunos de los mejores científicos puros del mundo, que contribuyen tanto como cualquier gran facultad universitaria a la literatura académica en física, matemática aplicada, electrónica, etc. De vez en

cuando, otras corporaciones industriales inmensas han tratado de imitar a los Laboratorios Bell, contratando gran número de científicos puros para que hilen sus pequeñas telaranas propias, pero los resultados han sido frustrantes, hablando en terminos de ganancia en un plazo de cinco o diez años; finalmente los contables han puesto el grito en el cielo y se ha ordenado a todos regresar a la investigación aplicada en los productos tradicionales de la compañía.

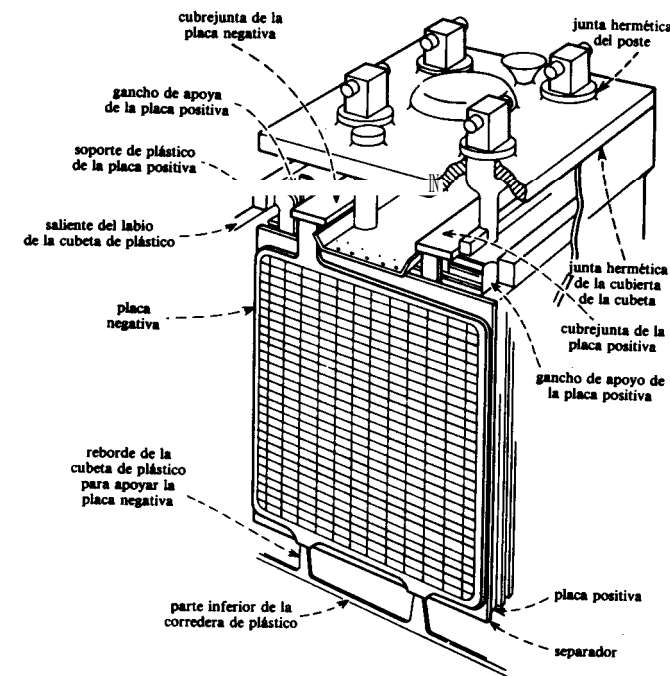


Fig. 8.17. Batería típica de ácido de plomo para uso de reserva del teléfono.

Los Laboratorios Bell, por medios desconocidos, parecen obtener de sus equipos de investigación resultados aplicables y desarrollables de primera categoría. El invento del *transistor* por Bardeen, Brattain y Shockley, en 1948, a partir de un estudio objetivo de los fenómenos de un semiconductor básico, es el caso más famoso, en nuestro tiempo, de una innovación técnica fundamental que nace directamente de la ciencia pura. Pero el *Bell System Technical Journal* 49 (1970) presenta un ejemplo más típico de la investigación y desarrollo industriales.

Un amplio sistema telefónico debe tener una batería de < flotador >> para que no falte la energía eléctrica al fallar el suministro principal. Estas células son muy semejantes a las baterías ordinarias de un coche, aunque más anchas (fig. 8.17). Tienen también un ciclo de servicio diferente, ya que rara vez se descargan demasiado, pero deben estar en condiciones de funcionamiento largo tiempo, para hacer frente a una eventual emergencia. La experiencia había demostrado que las baterías ordinarias no duraban desgraciadamente tanto como los ingenieros de teléfonos habrían deseado, y tendían, a pesar de llevar vida tan sedentaria, a romperse después de 10 ó 15 años. Eran también ocasión de incendios, pues el goteo ácido, al que seguían cortocircuitos, podía incendiar los recipientes de polistireno.

El problema, pues, consistía en diseñar un tipo completamente nuevo de batería que durara, digamos, 30 años. Aunque aparentemente marginal en estos sistemas telefónicos, ello entraña un problema económico nada despreciable. La compañía estaba reponiendo 100.000 células cada año. Si estas costaron 100 dólares cada una (estimación que parece conservadora, considerando su tamaño), entonces la ganancia que podría obtenerse sería del orden de los 5 millones por año. Un proyecto de investigación y desarrollo sustancial estaba plenamente justificado.

La dificultad básica era bien conocida y fácilmente planteable. Para hacer una placa suficientemente fuerte para soportar su propio peso, suspendida de la parte su-

perior del recipiente en el electrolito ácido, el plomo debe alearse con 0,05 por 100 de calcio. Esta impureza trae consigo una corrosión y distorsión electroquímica de las placas (fig. 8.18) durante los numerosos años que esta



Fig. 8.18. Placa positiva corroída con la rejilla original sobrepuesta para indicar las dimensiones iniciales.

a plena carga, sin usarse. El primer paso fue comprobar la suposición de que las placas de plomo puro durarían más tiempo, bajo condiciones electroquímicas. Ello no era fácil de verificar; en efecto, no se podía esperar 10 ó 15 años para terminar el experimento. Constituyó una investigación en sí misma verificar que el calentamiento

de la célula a  $93^{\circ}\text{C}$  (es decir, cerca del punto de ebullición) acelera uniformemente los efectos del tiempo, de tal modo que un periodo de calentamiento de pocos días podía simular el comportamiento real de una célula después de muchos años (fig. 8.19).

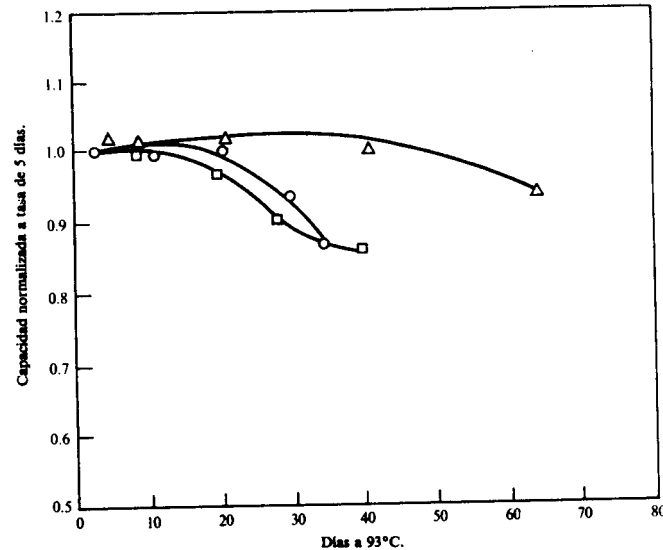


Fig. 8.19. Tasa de capacidades normalizadas a cinco horas en relación con los días a  $90^{\circ}\text{C}$ . para rejillas de  $5\frac{5}{8} \times 5\frac{7}{8} \times 1/4$  pulgadas de PbSb ( $\square$ ), PbCa ( $\circ$ ) y Pb puro ( $\triangle$ ).

Pero una placa de plomo puro es demasiado flexible para ser suspendida de la manera habitual. Se necesita una disposición completamente nueva de los electrodos para mantener la estabilidad mecánica del sistema. Las placas deben ser apiladas horizontalmente, con espacios libres, cargándose mutuamente (fig. 8.20). Pero un disco plano tiende también a sufrir una distorsión electroquímica. Finalmente a los diseñadores se les ocurrió la idea de dar a las placas forma de discos cónicos, que pueden

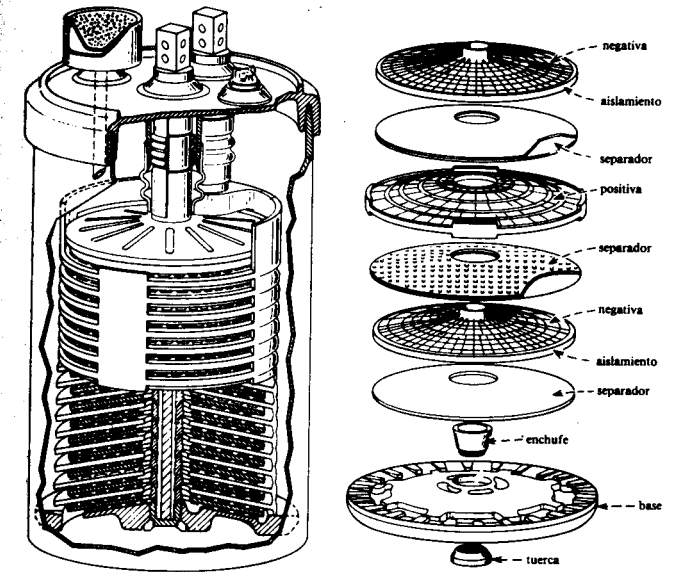


Fig. 8.20. La batería del sistema Bell (corte y vista de las piezas).

apilarse ordenadamente uno sobre otro, en un recipiente cilíndrico.

Este nuevo diseño de la estructura de la célula es la innovación más radical de este desarrollo, pero muchos otros problemas científicos y técnicos debían ser resueltos para alcanzar un rendimiento duradero. Son los siguientes:

1. Dar forma a las rejillas positivas para evitar la distorsión.
2. Inventar una nueva *pasta* de óxido de plomo. Se descubrió que una mezcla de composición  $4\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$  tenía mejores propiedades mecánicas que la pasta usual convertida eléctricamente en  $\text{PbO}_2$ .
3. Estudio del comportamiento electroquímico de las celdas bajo condiciones de «flotation». Esto demostró

la importancia de la *uniformidad de las células* en cada batería.

4. *Ventilation* satisfactoria de gases, cuando la célula esta sobrecargada.

5. Selección apropiada de los materiales para el recipiente y su cubierta. Estas se hicieron finalmente de PVC (cloruro de polivinilo), que es barato, rígido, resistente al fuego, fuerte y de alta resistencia al impacto. Pero estos recipientes pesan 17 libras cada uno y son las piezas mas anchas que jamas se hayan moldeado en PVC.

6. *Pureza química* de las piezas de plástico que se han vuelto muy importantes. Conservando activas electroquímicamente las impurezas en el PVC, etc., en una proporción de pocas partículas en un millón, se espera que la célula alcance una duración de 50 años.

7. Las *juntas hermeticas de la cubierta del recipiente* eran un punto debil de las antiguas células. Fue inventada

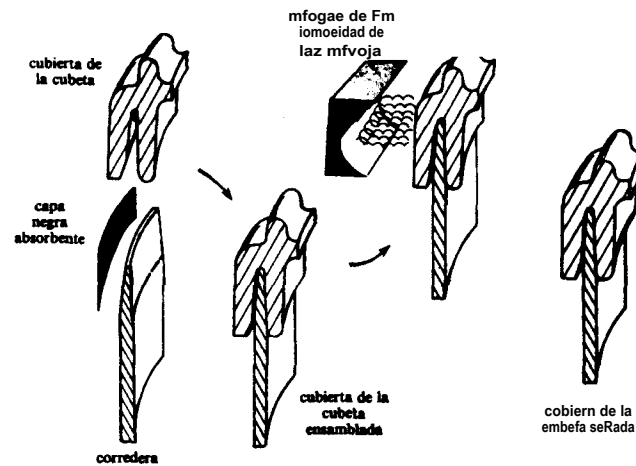


Fig. 8.21. Ensamblaje de la cubierta sellada de la cubeta y secuencia de sellado (esquemático).

una nueva manera de fabricar estas juntas hermeticas (figura 8.21). El horde transparente del recipiente se recubre con una capa absorbente de infrarrojos alrededor del labio. Cuando a esta se le irradia desde el exterior, con luz infrarroja, se calienta, se funde y sella la cubierta sobre la corredera. La junta es muy fuerte y a prueba de goteo. Es probable que este invento tenga aplicación en industrias bastante diferentes, como la de envase de alimentos.

8. Las *juntas hermeticas del poste* a través de las cuales las terminales entran y salen de la corredera, de-

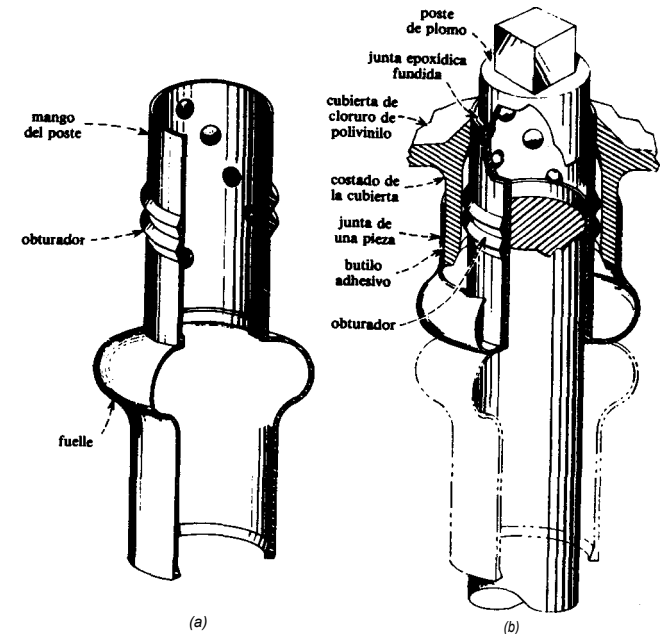


Fig. 8.22. Ensamblaje final después del sellado: (a) junta hermetica del poste de una pieza, (b) ensamblaje de la junta hermetica del poste.



ben permitir el movimiento de la columna de plomo contra la cubierta de PVC, pero deben ser impenetrables para el ácido sulfúrico fuerte. La solución descubierta fue poner un manguito de goma butílica gruesa, sellado con resina epoxídica al poste y luego remangado sobre un tubo cilíndrico que pasa a través de la cubierta (figura 8.22).

9. Era importante obtener buenas *juntas de baja resistencia* en los bordes de las placas positivas. Fue diseñada una nueva maquinaria automática para unir las placas con plomo fundido.

10. Fue diseñado un sistema de cremallera en plástico (fig. 8.23), donde las células pudieran colocarse fácilmente. Este debía resistir terremotos y, para ciertos usos, un ataque nuclear en un sitio aduro >.

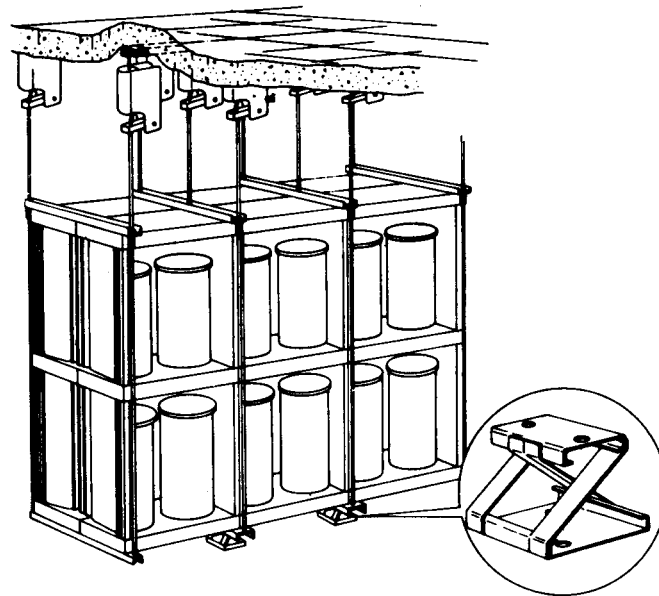


Fig. 8.23. Nuevo sistema de cremallera suspendido del techo para servicio en sitio duro de 50 psi.

Debe hacerse hincapié en que el proceso electroquímico usado en la nueva célula es exactamente el mismo de la batería de plomo habitual. La investigación no implicó nuevos descubrimientos científicos básicos, pero la resultante de todos estos cambios e innovaciones técnicas menores es un producto radicalmente nuevo, dos veces superior al antiguo en todos los aspectos. Las nuevas células están siendo producidas por uno de los fabricantes independientes de baterías que proveen a la Compañía Americana de Teléfono y Telegrafo, pues esta no tiene autorización para fabricar su propio equipo. Dado que ellos han realizado la investigación y el desarrollo, es interesante preguntar cómo serán asignados los derechos de patente y pagadas las regalías. Los artículos técnicos de los que está sacado este informe no tratan esta cuestión. Según las pruebas aducidas por estos artículos, un equipo de, por lo menos, 30 personas estuvieron trabajando sobre este problema; debe, por tanto, haber costado aproximadamente de medio a un millón de dólares por año, durante un período de cinco o seis años. Evidentemente la investigación tuvo éxito no solo por la creación de un artefacto nuevo y mejor, sino en términos contables de pérdidas y ganancias. Digamos de paso que este equipo incluía siete doctores, poseyendo los demás los títulos de licenciado o una titulación media en Ciencia. Había sobre todo expertos en Electroquímica e Ingeniería química, pero también ingenieros mecánicos y peritos en plásticos, etc.

#### *Invención y desarrollo*

Es difícil y peligroso generalizar a base de estos ejemplos de la innovación industrial y de otros muchos casos recogidos por varios autores. Pero es conveniente hacer unos cuantos comentarios.

Observamos, por ejemplo, que los individuos de mente o carácter fuerte juegan con frecuencia un papel importante, sea como inventores, sea como empresarios. Pero

la <<idea>> de un invento es solo el principio, y el desarrollo de esta hasta llegar a la venta al público requiere largo tiempo. El plazo moderno característicos de 10 ó 15 años no es realmente mucho más corto que en siglos pasados.

Los costos reales de la innovación industrial se elevan en el estadio de desarrollo, en el cual, de hecho, la mayoría de los científicos>> industriales están realmente ocupados, generalmente en empresas muy grandes que pueden disponer de los recursos inmensos requeridos para llevar a cabo un proyecto hasta el final. Hay también muchos obstáculos intelectuales (esto es, prejuicios) en contra de los nuevos productos, tanto por parte del fabricante como del consumidor. Una mercadotecnia eficaz e imaginativa puede ser la clave del éxito más que un diseño brillante.

Todos estos casos tuvieron éxito. Pero muchas ideas similares, que parecen exactamente tan prometedoras, fracasaron en diversos estadios. Los beneficios comerciales de un invento frecuentemente pasan a manos de otros y no a las de sus primeros descubridores. Es extremadamente difícil hacer una hoja de balance de las pérdidas y ganancias, para cualquier empresa o industria, debidas a un invento o innovación concretos. Todo lo que sabemos es que, cuando se descuentan todos los fracasos, la ganancia *economica* total es enorme para la sociedad en su conjunto (véase fig. 289). Las consecuencias de la innovación en otros aspectos no las discutiremos ahora.

En esta actividad, uno de los procesos sociales dominantes de nuestro tiempo, la ciencia < pura>, «fundamental»>, <<académica>> es rara vez un factor inmediatamente influyente. Pero es esencial para la innovación, pues provee de un inventor, tecnólogo o ingeniero con una formación fundamental en los principios básicos y es la fuente principal de nuevos modos de pensamiento acerca de viejos problemas. Para estimar este papel debemos retroceder mucho, 10 ó 15 años antes del estadio de desarrollo, a la invención misma, a los 50 ó 100 años anteriores, cuando estos principios se estaban gestando.

Finalmente es importante poner de relieve la transferencia de ideas técnicas *entre* tecnologías: por ejemplo, de los plásticos a la electroquímica, de las aleaciones de alta temperatura a la ingeniería mecánica. La historia completa de muchos inventos contiene con frecuencia un episodio significativo: que un hombre ha cambiado de tecnología o de empresa y ha sido capaz de ver las cosas bajo una nueva luz. Las ideas viajan dentro de la *genre*.

*Los huesos mas duros, los que contienen la medula mas rica, pueden ser conquistados solo silos trituran todos los dientes de todos los perros.*

KAFKA

### Telescopios

Los instrumentos de la investigacion cientifica han aumentado enormemente en tamat5o, complejidad y precio a lo largo de los siglos. Los instrumentos astronomicos, por supuesto, han sido siempre grandes y caros, segun la medida de su tiempo. Tycho de Brahe (1546-1601), astronomo de la Corte del Rey de Dinamarca y luego del Emperador Rodolfo II, gasto grandes sumas en sus aparatos, hermosamente contruidos y frecuentemente inmensos (figura 9.1).

En la India, estan todavia en pie varios grandes observatorios contruidos por el maraja jai Singh, probablemente para observaciones astrol6gicas. Cada uno de los instrumentos (fig. 9.2) es una estructura masiva de piedra y ladrillo, como un gran disco solar de 100 pies de altura. Pero podia usarlos una persona concreta que observaba, a una escala muy amplia, el movimiento de las sombras o el transito de un planeta. La astronomia y la astrologia fueron las ciencias familiares de reyes y



Fig. 9.1. El gran cuadrante mural. Tornado de Astronomiae instrumentae mechanica.

principes, que no necesitaban escatimar ningun gasto para equiparar a sus practicantes.

Los primeros telescopios fueron, como hemos visto (pagina 32), muy largos y de manejo dificil. Pero, a finales del siglo xviii, Sir William Herschel (1738-1822) comenzo la construccion de instrumentos muy anchos que revolucionaron la astronomia. Su hijo, sir John Herschel (1792-1871), fue a Cape Town en 1834 y residio alli cinco afios; instalo un reflector de 18 pulgadas (figura 9.3) que use para delinear el mapa del cielo en el hemisferio sur; completo asi la obra de su padre.

El abuelo de todos estos reflectores, fue el reflector de pedal 6 (fig. 9.4), construido en Birr Castle, Co. Of-

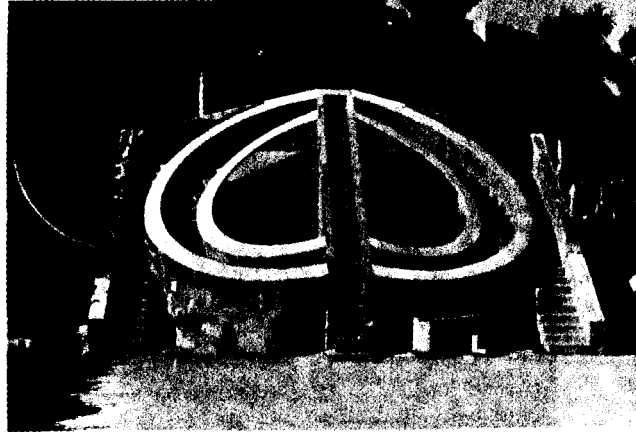


Fig. 9.2. Observatorio de Delhi, Jantar Mantar. Instrumentos astronómicos monumentales construidos por maharaja Sawai Jai Singh II alrededor de 1724.

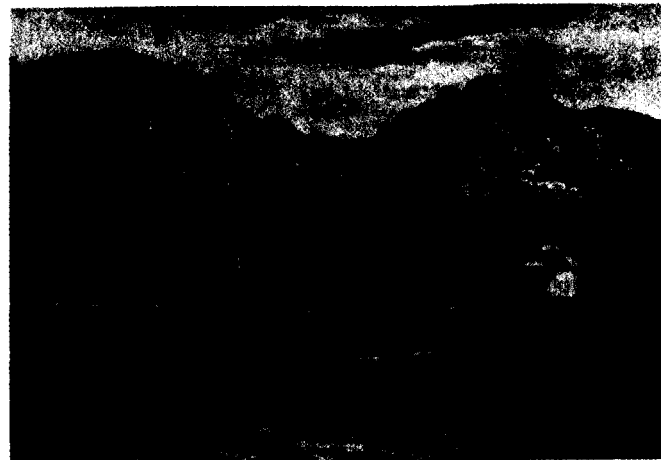


Fig. 9.3. Gran telescopio de reflexion de sir John Herschel, en el cabo de Buena Esperanza.

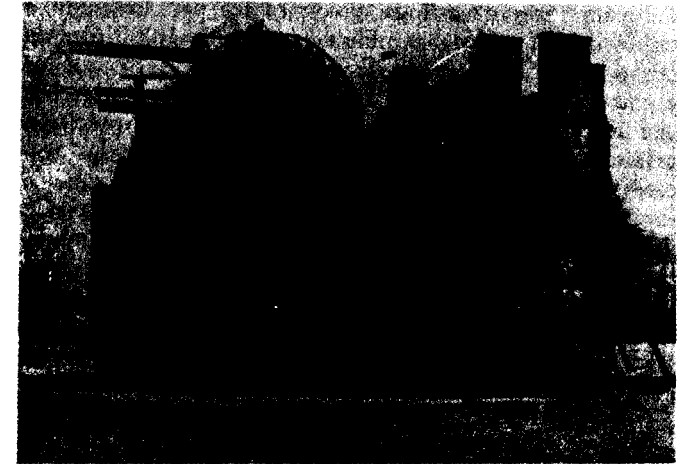


Fig. 9.4. Telescopio de reflexion de 72 pulgadas de lord Rosse, en Birr Castle.

Notemos de paso que este gran aficionado aristócrata no carecía de conciencia social: cuando la escasez de patatas asoló a Irlanda de 1845 a 1848, abandonó su investigación e hizo todo lo posible para combatir la miseria y la enfermedad entre la gente que moría de hambre.

Pero avancemos un siglo y veamos un telescopio moderno de anchura típica, como el telescopio Newton en el Observatorio Real, construido en 1967. La apertura de 100 pulgadas no es mucho más ancha que la del telescopio de Rosse, pero, por supuesto, el instrumento en conjunto es mucho más complejo. La estructura está construida con una precisión mucho mayor; tiene motores de conducción primorosamente controlados y una gama de equipamiento auxiliar que multiplica la potencia,

la exactitud, la comodidad, la gama espectral, etc., de las observaciones que pueden hacerse. Y solo es, en tamaño un medio del famoso telescopio de Monte Palomar!

Pero, realmente grandes, los radiotelescopios. La cuba de Arecibo (fig. 9.5), construida dentro de una montaña, tiene un receptor eslingado con cables para moverlo a través del plan focal y mide no menos de 1.000 pies de ancho. Este instrumento llega a los límites de que es capaz el diseño ingenieril. Las exigencias de investigación van siempre en la línea del tamaño máximo, la precisión máxima, la más alta sensibilidad que permiten las técnicas corrientes. Construir, mantener y usar un sistema ingenieril de este tamaño y complejidad exige no solo millones de dólares, sino también organización y administración a nivel industrial. Esta transformación en la escala de las operaciones humanas en investigación es lo que consideramos la aparición de la *gran ciencia*.



Fig. 9.5. Observatorio de Arecibo. Se muestra el inmenso radiotelescopio.

### *Aceleradores de partículas*

La suprema ciencia Aura brotó de la física atómica. Retrocedamos una generación, a 1895, cuando Ernest Rutherford (1871-1937), un neozelandés energético, de maneras rudas, llegó al Laboratorio Cavendish en Cambridge (pag. 76) para empezar a investigar bajo la dirección de sir J. J. Thomson (1856-1940). Usaron un tipo de equipo que podía comprarse con pocas libras, que, aun en ese tiempo, no era mucho dinero. Incluso cuando Rutherford «fisicó el átomo», en 1919 —es decir, produjo una transformación nuclear en el nitrógeno bombardeándolo con partículas alfa—, un hábil técnico había hecho, en el taller del laboratorio, el aparato, que podía llevarse en las manos.

En 1930, sin embargo, la escala había aumentado en tamaño y costo. El primer acelerador lineal de partículas nucleares a altas energías (fig. 9.6) lo construyeron J. D. Cockcroft (1897-1967) y E. T. S. Walton (1903- ). Costó la cantidad sustancial de 1.000 libras y ocupaba la mejor parte de una habitación, con su columna de aislantes para un voltaje de varios cientos de miles de voltios. Los experimentos con este aparato requerían de la colaboración de varios investigadores, pero eran esencialmente simples y directos.

Aproximadamente un año más tarde, E. O. Lawrence (1901-1958) y M. S. Livingston (1905- ), comenzaron en la Universidad de California a operar su primer *ciclotrón*, que ocupaba más o menos el mismo espacio que el acelerador de Cockcroft-Walton, pero producía partículas de un millón de electron-voltios. Tuvieron suerte en encontrar un electroimán grande de 85 toneladas que nadie quería y de este modo solo costó construirlo aproximadamente 10.000 dólares. Este diseño tuvo tanto éxito que, en 1939, había sido «ampliado» a una máquina mucho mayor, de 60 pulgadas de diámetro, que producía partículas de 12 millones de electron-voltios. Pero los costos eran ahora del orden de las centenas de millar de

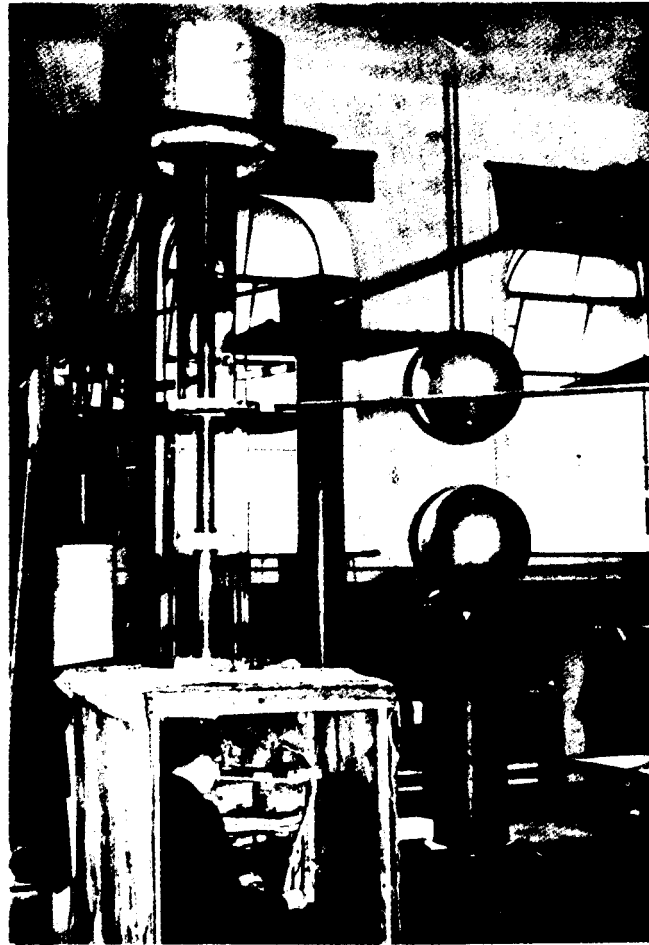


Fig. 9.6. Aparato de Cockcroft-Walton, con el cual se produjeron por primera vez partículas de alto voltaje para desintegrar artificialmente el núcleo atómico.

dolares y el diseño ingenieril apropiado se había impuesto sobre las estructuras del primer aparato, hechas a mano, improvisadas y provisionales. Esta máquina requería una habitación especialmente grande con un laboratorio diseñado a su alrededor, pero podían todavía operarla unos cuantos físicos y técnicos que trabajaran juntos informalmente.

La lógica de la física de alta energía llevó inexorablemente al siguiente paso ascendente en energía: el *sincrociclotron* de 184 pulgadas, planeado antes de la guerra y construido precisamente después de ella, con un costo de 1,8 millones de dólares. Esta máquina era ya de la escala de, digamos, una gran turbina de vapor para generar energía y solo podía instalarse en un edificio especial, con instalaciones para equipamiento auxiliar, equipos de control, etc. El rayo protónico tenía una energía de 340 millones de electron-voltios y producía tan abundantes cantidades de radiaciones peligrosas, que el transporte de los grandes bloques de cemento requeridos para pro-

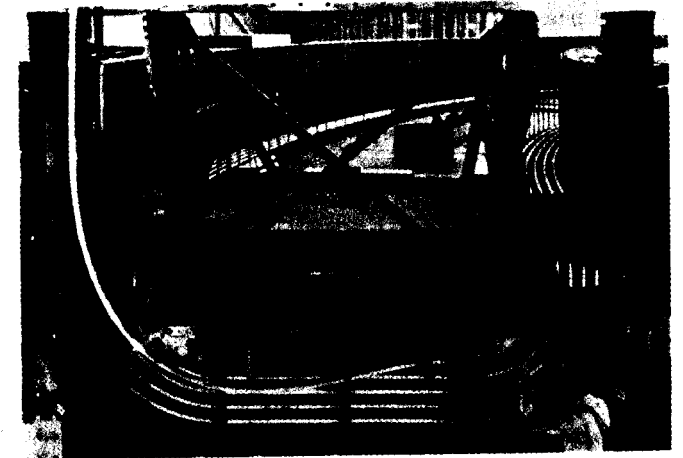


Fig. 9.7. Bobinado del magneto bevatron (BeV 395).

teccion, era en si mismo una tarea ingenieril de primera magnitud.

La escalada de costos y tamaño ha continuado. El sucesor del sincrociclotron en la Universidad de California fue el *bevatron*, construido en 1953, con un costo de 9 millones de Mares. Esta maquina enorme (fig. 9.7) tiene 34 metros de diametro y produce particulas a una energia de 6.3 GeV -es decir, 6.300 millones de voltios. Ademas de las camaras de burbujas, los imanes para el manejo de haz y otros aparatos necesarios para experimentar con las particulas elementales a estas altisimas energias, este instrumento de investigacion requiere un complejo de edificaciones al nivel de una fabrica o de una central electrica.

Pero la <curva de aprendizaje>> del desarrollo de la energia del acelerador no se detuvo en 1906 (fig. 9.8). Como paso ulterior, debemos considerar el *proton-sincrotrdn* del *Conseil Europeen des Recherches Nucleaires* (CERN), situado precisamente en las afueras de Ginebra y terminado en 1959. Para estimar el tamaño de este acelerador, considerese la escala del piano (fig. 9.9). Los imanes pesan 3.200 toneladas y estan en un anillo de 200 metros de diametro. Para producir particulas a 28 GeV, el proton sincrotron emplea cinco o seis megavatios de energia. Cuesta 30 millones construirlo y muchos millones de dolares su mantenimiento anual. Tenemos aqui un caso de gran ciencia al nivel de una gran fabrica de acero o de una planta ensambladora de motores de automovil.

En esta busqueda de lo infinito, sin embargo, nada es jamas bastante. El acelerador mas grande actualmente en servicio (1973) es la maquina *Fermilab*, cerca de Chicago. Segun el diseno original, debia haber 1.000 imanes alrededor de la circunferencia de un circulo de mas de una milla de diametro, situado en un gran tunel bajo tierra para neutralizar la danina radiacion. De hecho, este proyecto era demasiado caro; asi, en lugar de producir particulas de 500 GeV, como se pretendia originalmente,

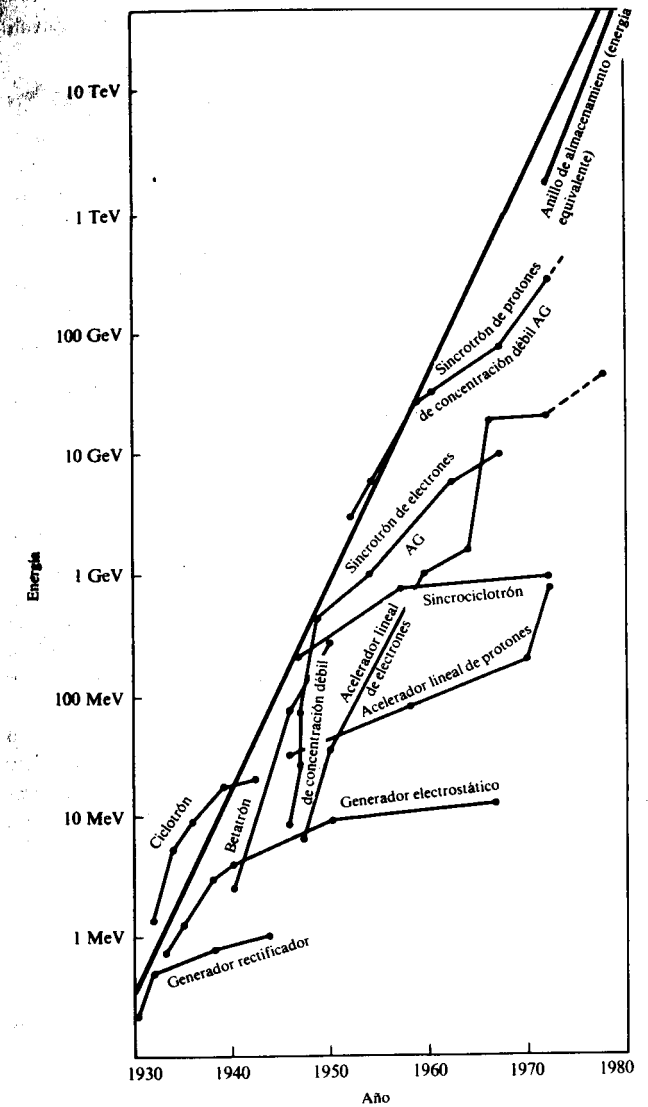


Fig. 9.8. Desarrollo del acelerador.

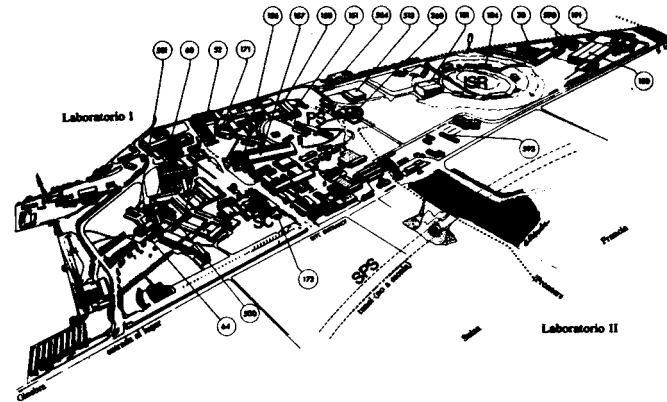


Fig. 9.9. Maqueta del emplazamiento del CERN.

la fase inicial se vio reducida de 400 millones de dolares a 250, con un haz de solo 200 GeV.

Para apreciar la magnitud general de la fisica de alta energia, necesitamos ver no solo la maquina mas grande de cada epoca, sino tambien el numero de aceleradores de partculas existentes hoy en el mundo (fig. 9.10). Se encuentran principalmente en Estados Unidos, Europa y la Union Sovietica; los instrumentos mas pequenos, que habfan sido considerado enormes hace solo una generacion, estan instalados en universidades o establecimientos gubernamentales de investigacion, en otros pafses.

*Instalaciones de la gran ciencia*

El elevado costo de la investigacion en fisica de alta energia sera discutido en el capitulo siguiente. Pero hay otras consecuencias, no menos importantes.

Destaquemos, por ejemplo, que la tarea de disenar y construir una <<instalaci3n para la investigacion>> a este nivel, no pueden ya llevarla a cabo los cientificos mismos. Deben realizarla ingenieros y otros peritos tecnicos

con experiencia especial en este tipo de trabajo concreto. Una tecnologia auxiliar del <<diseño del acelerador>> se ha desarrollado asf, con un volumen de operaciones comparable al de una industria menor, como la manufactura de motocicletas. Pero esta tecnologia no es productiva en si misma; existe solo en funcion de los objetivos de los cientificos investigadores que disenar los experimentos para los cuales se construye el instrumento.

Solo mantener esta maquina en funcionamiento, controlar todo el equipamiento auxiliar, realizar el mantenimiento y reparaciones de rutina, requiere un numeroso personal de ingenieros y tecnicos, que trabajan en tres o cuatro turnos para asegurar el funcionamiento continuo.

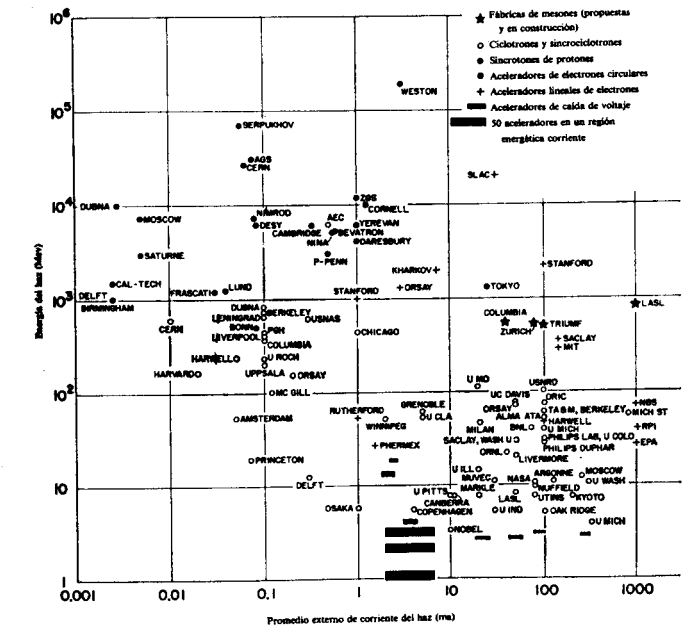


Fig. 9.10. Inventario mundial de los aceleradores de partículas.



Son estos especialistas muy preparados, que sin investigar ellos mismos, son bastantes esenciales para la empresa cientifica general.

El costo enorme de cada maquina exige <<factores de utilizacion>> muy amplios. Su diseno debe permitir la realizacion simultanea de cierto numero de experimentos, con horarios muy rigurosos y un empleo eficaz de toda oportunidad. El programa de investigacion debe adaptarse a las instalaciones disponibles y los trabajadores de la investigacion deben tener la disciplina necesaria para trabajar bajo estas coacciones.

Las grandes maquinas llevan inevitablemente a la gran ciencia --esto es, a las organizaciones de investigacion en gran escala, con programas planeados. Un <<laboratorio>> como el CERN es una pequena ciudad de varios miles de habitantes, reunidos en un asentamiento singular. Ademas de los aceleradores y de su equipamiento subsidiario, debe haber diversos servicios auxiliares como bares, biblioteca, tiendas, salas de lectura, oficinas de recepcion, centralita de telefonos, etc. Esta concentracion de personas y cosas debe estar ordenada racionalmente; se forma asi una organizacion burocratica con un director, subdirectores, gerentes de departamento, oficiales de personal, encargados de compras, contables, redactores de contratos, etc. (fig. 9.11).

Las labores administrativas de tal organizacion no es la clase de tarea para la que suele estar formado un profesor anticuado. Como hemos visto, la autoridad cientifica en la esfera intelectual no conlleva necesariamente la habilidad en el manejo de hombres y dinero a este nivel. Si los puestos administrativos deben ser ocupados por personas de experiencia cientifica autentica -y hay muy buenas razones para que las decisiones de politica responsable no dependan de <<gerentes>> profanos-, entonces ha de buscarse la manera de seleccionar y formar cierto numero de cientificos en las habilidades especiales de la diplomacia institucional, de la direccion de comisiones, relaciones publicas, control presupuestario, etc. Una estructura de nueva carrera, una profesion totalmente

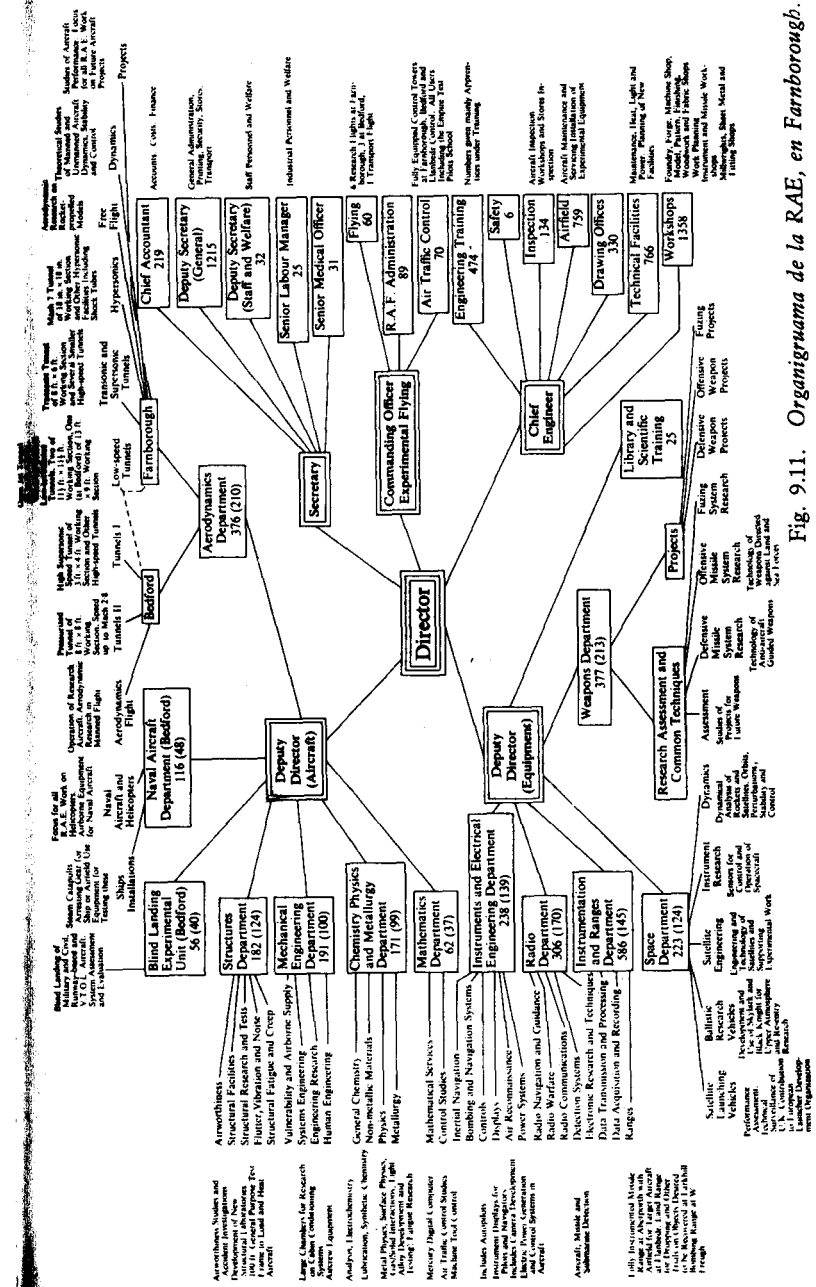


Fig. 9.11. Organigrama de la RAE, en Farnborough.

nueva, de <<gerencia de la ciencia>> o administración de investigaciones>> va formándose dentro de la gran ciencia y su entorno.

El <<factor de complejidad>> en el aparato científico se aplica no solo a grandes máquinas como aceleradores de partículas, reactores, sistemas de cohetes espaciales, sino al esfuerzo de exprimir hasta la última gota de precisión en la observación de un experimento, con que el científico investigador tiende continuamente a afinar sus técnicas. Si un microscopio de 50.000 electrón-voltios proporciona una valiosa información sobre la estructura de un tejido vivo, entonces una máquina de 100.000 voltios mejorará la información. ¿Por qué no construir un microscopio de 250.000 ó 500.000 ó de un millón de voltios? Gran parte del trabajo activo en las ciencias

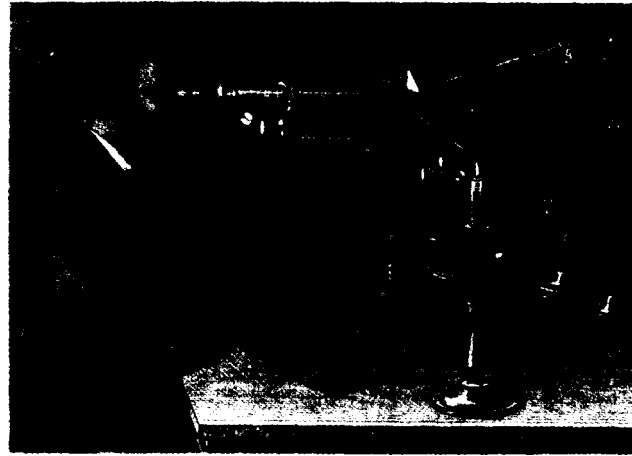


Fig. 9.12. *Espectroscopista victoriano.*

físicas se consagra al desarrollo de instrumentos, de tal modo que cada simple pieza de un aparato manual (figura 9.12) se convierte en un nuevo artefacto complejo, delicado y caro, que debe ser diseñado, manufacturado,

pagado y mantenido antes de ser utilizado para la investigación. Aunque algunas de estas mejoras puedan ser meros trastos comerciales, todos los laboratorios de investigación científica aceptan sin discusión este tipo de equipamiento. La cantidad mínima de tales aparatos, la edificación para instalarlos, los técnicos para ponerlos en marcha, el dinero para pagarlos pueden estar disponibles sólo si se unen muchos usuarios. La «pequeña ciencia», en el sentido de trabajo de investigación hecho por individuos o pequeños grupos, puede realizarse sólo dentro de la organización de la gran ciencia; los Laboratorios Bell, por ejemplo, proporcionan estos servicios (fig. 9.13). Las presiones comerciales para vendernos estos servicios

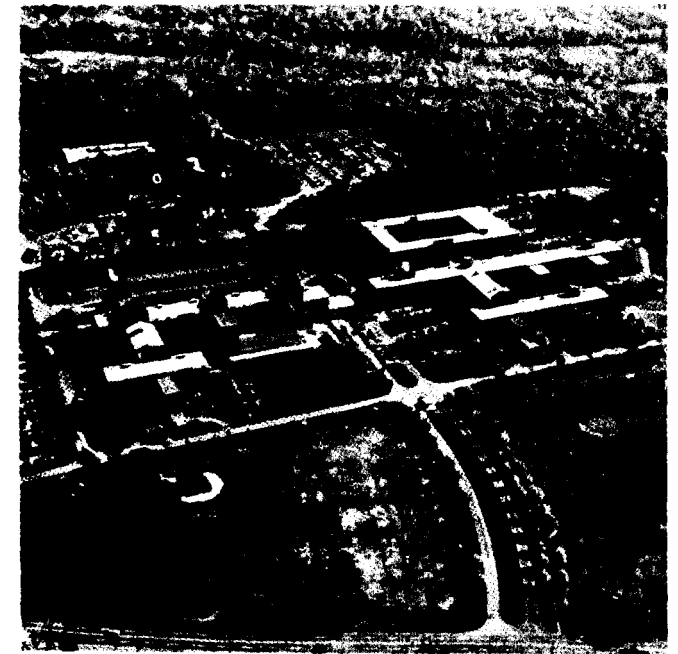


Fig. 9.1.3. *Laboratorios de Bell Telephone, en Murray Hill.*

son semejantes a las presiones políticas para la carrera espacial o para el juego de saltos de los aceleradores.

Otra fuente de desarrollo de la gran ciencia es la gran misión. Como veremos, una de las enseñanzas de la segunda guerra mundial fue el poder de una amplia organización de investigación y desarrollo para lograr realmente casi cualquier objetivo técnico concebible. Si se gasta mil millones de dólares en el diseño de un avión carguero supersónico o en un sistema de misiles antibalísticos (cap. 13) o incluso en un remedio para el cáncer, esto se hace de una manera organizada, planeada, burocrática, con objetivos cuidadosamente diseñados, empleando muchos miles de «científicos e ingenieros cualificados», en grandes establecimientos.

Una proporción muy alta de los científicos y tecnólogos del mundo debe encontrarse, pues, dentro de las grandes instituciones de la gran ciencia. No es posible aligerar a los dirigentes de las cargas de la autoridad administrativa. Este es el dilema del científico moderno: ¿debe rechazar la responsabilidad administrativa y ser un trabajador individual de la investigación, renunciando al poder de un gran equipo bajo sus órdenes? ¿Debe aceptar esta responsabilidad y cargarse con las obligaciones administrativas de tal manera que no tenga tiempo para un auténtico trabajo científico? Las tentaciones del oficio burocrático son grandes, porque, estos puestos reciben los honores oficiales. Pero la pérdida de la autoridad intelectual personal a los ojos de la comunidad científica es abrumadora, cuando esta es la fuente de la que deriva la autoestima que de sí tiene el intelectual.

### *Investigación en equipo*

Desde el punto de vista del típico trabajador de la investigación puntilloso, la gran ciencia se caracteriza principalmente por el trabajo en *equipo*. La investigación misma escapa ampliamente a su responsabilidad, iniciativa

o control personales. Ya no *investiga; toma parte en un proyecto de investigación*.

La investigación científica en equipo data del siglo XIX. El profesor alemán con sus auxiliares (fig. 73) trabajaban juntos dentro del mismo campo, colaborando en el estudio del mismo problema básico. Por cuanto los auxiliares estaban en deuda con el profesor por las ideas sobre las que trabajaban y por el consejo técnico que les prestaba según avanzaban, puede considerarse un equipo unido informalmente que actuaba como una extensión del intelecto del director. En la tradición británica, el Laboratorio Cavendish, bajo la dirección de J. J. Thomson y Rutherford era mucho más que una asociación de individuos independientes que ocasionalmente estudiaban el átomo o el núcleo (fig. 9.14).

Sin embargo, aun bajo la dirección más inspirada, se

Fig. 9.14

Fig. 9.14. *Estudiantes de investigación en el Laboratorio Cavendish, junio de 1898. De izquierda a derecha: última fila, S. W. Richardson, J. Henry; fila media, E. B. H. Wade, G. A. Shakespear, C. T. R. Wilson, E. Rutherford, W. Craig-Henderson, J. H. Vincent, G. B. Bryan; primera fila, J. C. McClelland, C. Child, P. Langgevin, profesor J. J. Thomson, J. Zeleny, R. S. Willows, H. A. Wilson, J. Townsend.*

Expt. Code	g e n e r a t o r	Description	Description of Experiment	Authors	Date Approved/Completion	Total Periods	Status
S15	$\alpha$	Enriched $K, \beta$ < 4.1 GeV/c	Polarization in backward scattering: $\pi^+ p, \pi^+ p, \pi^+ p, \pi^+ p + \pi^+ p$ . Polarized target, scintillators, wire spark chambers, HP 2115 B	CERN-Frische Collabration: Brundage, Gault, Fain, Fiacco, Fildner, G. Georgi, Kalus G., Pennington, Penz, Schwan, Kacelle	6. 5.70 28.10.70 3.11.71 31. 5.72	2 (1) 10 7 5	submitted for publication
P7	$\beta$	Separated $K, \beta$ < 1 GeV/c	Studies of $\beta, K^0$ and $\Sigma^+$ atoms. Stopped beam. X-ray detection with Ge(Li) solid state detectors	Karlsruhe-Stocholm Collabration: Backstrom, Bergsten, Beretta, Eger, Hagedorn, Hasler, Koch, Pevni, Reilly, Schmitter, Tauscher	3.11.71 5. 7.72	31. 2 *	Periods Beam tests finished
S81	$\alpha$	Unseparated $\pi^+, K^+, p$ < 12 GeV/c	$\pi^+, K^+, p$ forward and backward scattering. Measurement of $\beta$ in $\pi^+ p$ at $2, K^+, p$ at small angles (high energy part). Compact, multi wire chambers, gas Cerenkov counter, IBM 1800	CERN-FR. Pol. Particle Phys. (see Lin.) Steinhilber G.L.: Baglin, Stenlund, Carlson, P. Malpas, Maroni, Eide, Priory, Bracco, Ivorra, Johnson, Lenzani, F. J. Lundy, J. J. Owens, P. Perrotti, R. F. J. Leighton, Henry, Pevni, Leo Heller	8. 4.70 28.10.70 1. 12.71 31. 5. 72	1. 6 5 2	Partly published
S104	$\alpha$	Unseparated $\pi^+, K^+, p$ < 12 GeV/c	Strangeness = 1 missing mass in $\pi^+ p \rightarrow \pi^+, K^+, p$ . Scintillators, spark chamber, wire Cerenkov counter	University of Rome-Mil. Coll.: Berarducci, Lanza, Marini, Martelletti, Massa, Piredda, Pistilli, Conforto, Hert, Bellini, F. J. Leighton, Bomer, Heller	6. 5.70 4. 6.71 2. 2.72 31. 5.72 30. 8.72	20. 9.72 2 4 3	Analysis
S89	$\alpha$	Low-energy separated beam to produce high flux of $\beta$ between 0.6 and 2.0 GeV/c. (modified $\alpha$ )	Differential cross sections for $\beta p \rightarrow \beta p, \pi^+ p, K^+ p$ between 0.6 and 2.0 GeV/c. Wire chambers, counters, M8 magnet	CERN-MIL-Toronto Coll.: Kalus, Gibson, Elmendorf, Hoyle, Hillman, Lee Chi, Kong, Usher, Pritchard, Astor, Jones, Armstrong, Parsons, Kemp, Bondis, Ranga, Harrison	5.11.69 23.10.70 12.10.71 1. 3.72	30. 6.72 5 (1) 6 6 3	Analysis
S93	$\beta$	Short neutral beam derived from $\alpha$ with a vertical septum	$\beta$ measurement by time dependence of $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ p$ and of charge asymmetry in isotropic decay. Quartz chamber, side gap magnet, large $\beta_2$ Cerenkov	CERN-MIT-Berkeley Collabration: Luth, Kwan, Kleinhans, Pevner, Stiefen, Stricker, Strohmer, Kuroki, Belli	4. 6.69 28.10.70 4. 6.71 12.10.71 30. 6.72	5 10 8 3	Partly published

EXPERIMENTS FINISHED DURING THE 1975 YEAR (1.1.72 - 23.12.72)

Table 1E  
PS COLLIDER EXPERIMENTS APPROVED BY THE MPC

Fig. 9.15. Informe de Comision, CERN.

esperaba que un investigador competente entre los auxiliares investigara constantemente sus cuestiones propias y fuera tratado como libre de hacer sus propios experimentos y publicar sus propios trabajos. La costumbre de que el director del laboratorio firmara como coautor todas las publicaciones del mismo ha sido siempre considerada como un discreto abuso de autoridad y un sintoma de decadencia en las instituciones que la tienen. A pesar de las realidades del poder, patronazgo y privilegios, el mito de la independencia personal es norma oficial en la investigacion academica.

En la gran ciencia, todo esto cambia. Se acepta claramente que cada <<proyecto>> de investigacion es un esfuerzo cooperativo, en donde el individuo es personalmente responsable solo de un aspecto tecnico del trabajo. Veamos lo que esto significa aun en la ciencia pura y basica de la fisica de alta energia.

El primer estadio es una <<propuesta>> (fig. 9.15) que hace un grupo de investigacion al alto y poderoso comite que controla el acceso al haz del acelerador y las instalaciones subsidiarias. Esto es perfectamente razonable, pues cada experimento debe costar millones de Mares y hay mucha competencia entre los diversos grupos. Pero esto significa que las decisiones deben set tomadas desde arriba, basadas en un juicio sobre el resultado probable de cada propuesta y la competencia de cada equipo para realizar su proyecto. En una institucion multinacional como el CERN, o aun en un laboratorio nacional como el Laboratorio Rutherford en Inglaterra o el Brookhaven en los Estados Unidos, tales decisiones pueden obligar a grupos de diferentes universidades a colaborar en un equipo particular, con los problemas consecuentes de liderazgo y organization que esto trae.

El segundo estadio es la preparation del aparato (figura 9.16). Esto significa un diseio o delineamiento cuidadosos de un equipamiento muy complejo -imanes enormes que atraeran y enfocaran un haz de las particulas requeridas, varias series de contadores, camaras de

chispas, camaras de burbujas, etc.; todo ello vinculado con circuitos electronicos y controlado por computadores.

Cada una de las partes integrantes es un aparato en si mismo, muy grande y complejo que no puede tomarse sencillamente de un armario o pedirse al taller del labo-

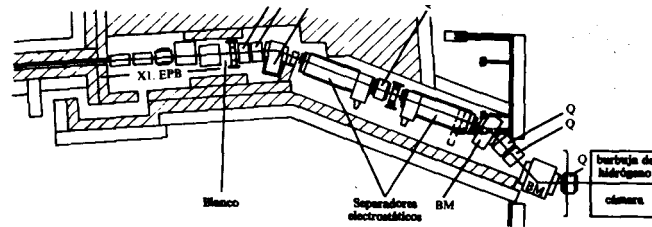


Fig. 9.16. Maqueta de un haz de bajo momento  $K^-$  para una camara de burbujas de hidrogeno de 1,5 m. en el Laboratorio Rutherford.

ratorio; asi sera indispensable una coordinacion cuidadosa con el personal tecnico del laboratorio. Recuerdese que para esto se requiere una ingenieria muy precisa, que funciona en los limites de la pericia tecnica en cada estado, y no un mero ensamblaje rutinario de piezas ordinarias. Probar el equipamiento y encontrar sus defectos puede significar muchos meses de esfuerzo, antes de lograr que funcione adecuadamente.

El tercer estadio es la realizacion concreta del experimento. Dado que las particulas de alta energia solo pueden producirse al azar por procesos como el bombardeo de un bloque de material con protones energeticos en el haz primario del acelerador, puede requerir semanas o meses de continuo funcionamiento de la maquina (figura 9.17) la acumulacion de datos suficientes para probar el punto en cuestion. Esto implica trabajar tres turnos, largas noches de atencion por parte de los miembros del equipo para asegurarse de que su aparato esta ajustado adecuadamente y de que no estan malgastando

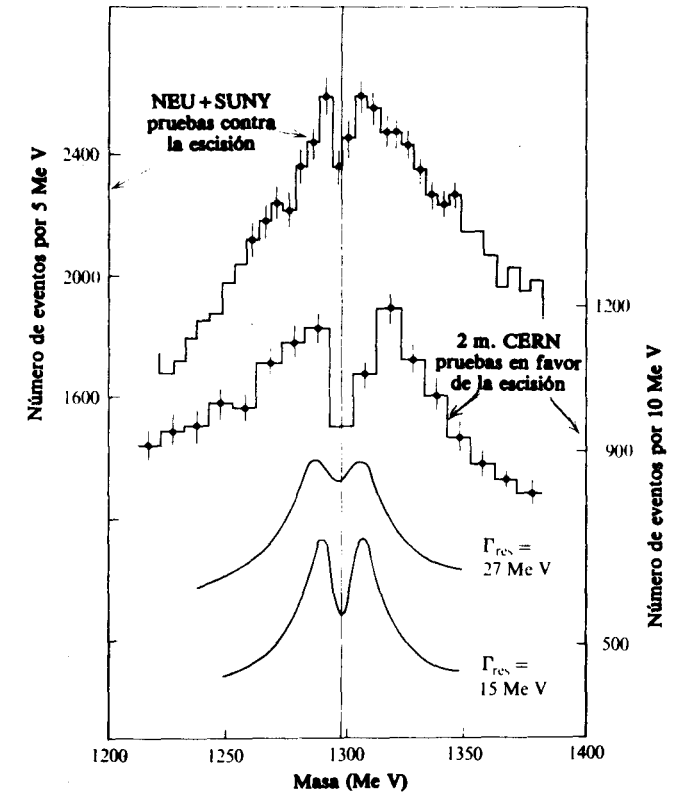


Fig. 9.17. Incertidumbre estadística en los resultados experimentales de la física de alta energía; pruebas en favor y en contra del meson  $\ll A_2 \gg$ . Diagrama tomado de la carta de Bogden Maglind sobre el debate de  $A_2$ .

el tiempo de la gran maquina que les ha sido asignado, pues su costo primario es de 20 libras por minuto.

Cuando terminan el experimento, deben todavia analizar los datos. Esto puede consistir en analizar cientos de miles de fotografias de la camara de burbujas (fig. 9.18) que muestran las trayectorias de varias par-



Fig. 1.ta. *contactmto de 15 puntas produc/do por un baz de 16 GeV/c  $\tau$  en la ckmara de burbujas de hidrogeno de 2 m. del CERN.*

ticulas que participan en diversas interacciones o colisiones. Tarea muy especializada y ardua, pues estas deben ser examinadas en busca de los «sucesos» raros para estudiar los cuales fue proyectado el experimento. Esta enorme labor ha sido automatizada hasta cierto grado gracias a microscopios especiales enchufados a un computador; pero el analisis de los resultados experimentales en fisica de alta energia (fig. 9.19) sigue siendo una tarea importantisima en si misma que no puede realizar un hombre con una regla de calculo senalando puntos en una hoja sucia de papel milimetrico.

El grupo Alvarez en Berkeley (tabla 9.1) es probablemente el equipo de fisica de alta energia mas grande del mundo; sin embargo, su tamano no es atfpico y podrian superarlo muchos grupos de investigaci3n espacial. Lo importante no es tanto que un gran numero de actividades y tareas tecnicas deban coordinarse y planearse, cuanto que hay muchas personas que estan trabajando en un experimento cientifico singular. Esto significa que graduados y j6venes doctores -supuestamente investigadores en formaci3n- se ven obligados a una alta especializaci3n de sus funciones. Uno se convierte en perito en electr3nica, otro manipula progra-

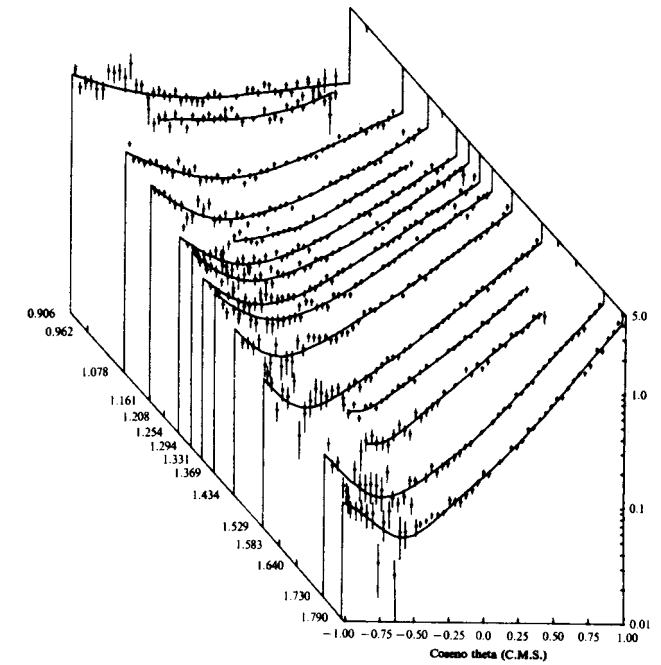


Fig. 9.19. *Una vista isometrica de las secciones eficaces diferenciales en la dispersion elastica K+p, medidas en el Experimento 8.*

TABLA 9.1

*Miembros del grupo de investigation de Luis Alvarez en el Laboratorio de Radiation de Berkeley a finales de los anos sesenta*

Doctores ... ..	23
Estudiantes graduados, ayudantes de investigaci3n ... ..	20
Personal t3cnico profesional (por ej., ingenieros) ... ..	14
«Direcci3n t3cnica» (programadores, operadores de aparatos, etc.) ... ..	45
«Ayudantes t3cnicos» (por ej., escrutadores) ... ..	102

maciones de computadores, un tercero se ocupa realmente en dirigir al grupo de damas que hace el escrutinio, etc-La *línea de demarcación entre ciencia y tecnología es cada vez mas tenue*. El ingeniero electrónico en este equipo practica su oficio tanto como si estuviera instalando cables en una planta eléctrica o en una central telefónica. La investigación misma -la lucha por resolver un problema de filosofía natural- ha dado paso a la pericia profesional en una variedad de técnicas.

El estadio final de la investigación es la publicación de un trabajo. En física de alta energía, este documento puede ser firmado por docenas de <<autores>> (fig. 9.20).

VOwv112,NUraea8      PHYSICAL REVIEW LETTERS      24Feb,Uoav196a

---

OBSERVATION OF A HYPERON WITH STRANGENESS MINUS THREE-

V. E. Barnes, P. L. Connolly, D. J. Grennell, B. B. Culwick, W. C. Delaney, W. B. Fowler, P. E. Hsgerty, E. L. Hart, N. Horwitz, P. V. C. Hough, J. E. Jensen, J. K. Kopp, K. W. Lal, J. Leitner, J. L. Lloyd, G. W. London, I. T. W. Morris, Y. Oren, R. B. Palmer, A. G. Prodell, D. Radojicid, D. C. Rahm, C. R. Richardson, N. P. Samios, J. R. Sanford, R. P. Shutt, J. R. Smith, D. L. Stonehill, R. C. Strand, A. M. Thorndike, M. S. Webster, W. J. Willis, and S. S. Yamamoto  
 †-khaven National Laboratory, Upton, New York  
 (Received 11 February 1964)

Fig. 9.20. Nombres de los descubridores de la partícula Omega-Minus.

Esto hace ridículos los procedimientos establecidos para la publicación primaria de los resultados de la investigación, pues este trabajo ya no puede atribuirse a cada uno de sus 57 autores como si se tratase de una obra personal. El equilibrio interno de la comunidad científica se ve amenazado porque ya no pueden hacerse juicios sobre la originalidad, habilidad técnica y otras cualidades científicas, sobre la base objetiva de los trabajos publicados.

Este fenómeno es más notable en la física de alta energía, la rama más fuertemente <<industrializada>> de la ciencia pura. Pero se debe encontrar las mismas tendencias en todos los campos. Aun en química, donde el

proyecto de investigación típico es con frecuencia el trabajo de un hombre con la ayuda de muchos instrumentos complicados y operadores altamente especializados, se puede observar la misma tendencia a la multiplicidad de autores (fig. 9.21).

### *Investigación industrializada*

La investigación en equipo de la gran ciencia suscita muchas nuevas cuestiones prácticas y de principio. La inversión en dinero y en esfuerzo humano y las lealtades en las empresas corporativas puede provocar conflictos sobre las cuestiones científicas, o llevar a la formación de una egoísta mutualidad científica de alabanzas mutuas, con la consiguiente supresión de las críticas meritorias y sin consideración para la subsistencia de muchas excelentes personas. La ciencia en equipo puede ser necesaria por razones técnicas, pero podría ser mucho menos eficaz intelectualmente que la investigación individual.

Las presiones de tiempo y tamaño, la necesidad de una planificación y control cuidadosos hace que este tipo de vida no sea diferente del trabajo de desarrollo en la industria. El espíritu que alienta el logro personal o la capacidad artística independiente, se hunde en beneficio de una dinámica de grupo y una artesanía disciplinada. Quizá también sufriría mucho detrimento la genuina originalidad, cuando la tomen a su cargo organizadores y empresarios.

~ Quien puede dirigir adecuadamente tales grupos? Su trabajo se somete cada vez más a las <<autoridades>>, que no pueden realmente valorar con perfecta justicia, a los grupos y los resultados que obtendrán y que, sin embargo, deben de alguna manera, adivinar el resultado y decidir que experimento tendría más probablemente éxito. La generación actual de dirigentes de la investigación fue formada en el viejo estilo de la investigación personal con recursos escasos; sus sucesores no habrán

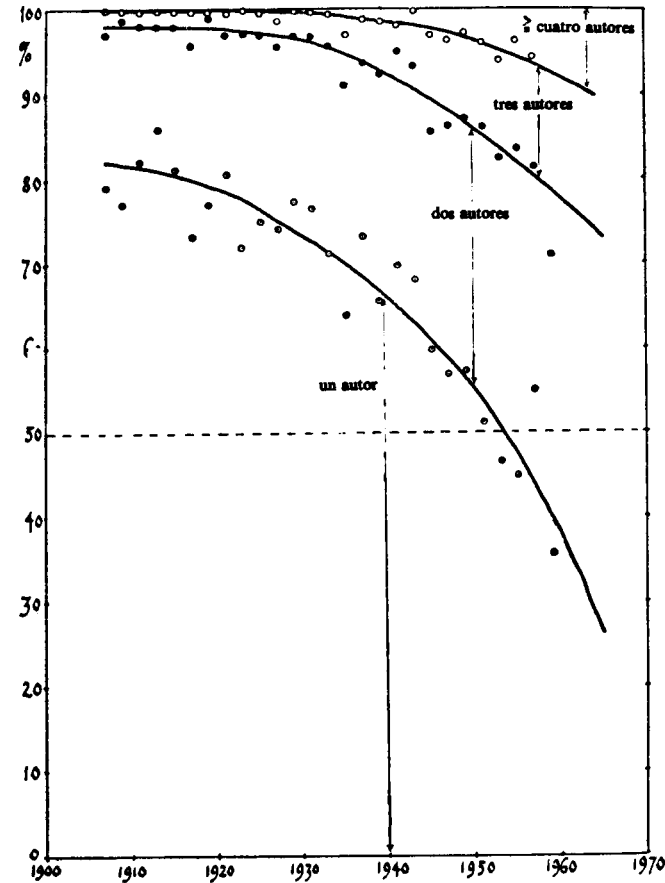


Fig. 9.21. Incidencia de la multiplicación de autores en *Química*, en función de la fecha.

tenido esta experiencia y deberán mostrar, de alguna manera, sus capacidades científicas en este ambiente más burocrático e industrializado.

~Cual es, en tales circunstancias, el significado de

Hformacion para la investigation\*? ~Como puede el miembro de un equipo asimilar las pautas de imaginación y crítica, de equilibrio entre conjeturas radicales y escepticismo conservador, que son el preambulo de la mente científica?

Cuanto un grupo es más impersonal y se gobierna a sí mismo, tanto menos posee las pautas éticas de conducta y puede, por tanto, dejarse llevar por el deseo institucional de sobrevivir a cualquier precio. Un gran laboratorio, ora organizado en torno a una gran máquina concreta, ora creado meramente por decreto administrativo, es potencialmente inmortal. Puede sobrevivir indefinidamente incorporando simplemente gente nueva para reemplazar a la antigua. Los procesos de selección natural por edad y mortalidad ya no actúan en contra de problemas anticuados. Hay una enorme resistencia humana a toda acción administrativa que pretendiese impulsar a una institución hacia nuevos caminos, sea en beneficio de la ciencia pura, sea en pro del bienestar humano.

En capítulos posteriores consideraremos los problemas generales de la planeación y financiamiento de la ciencia, sus vastos presupuestos y nominas de personal. Lo que he estado tratando de mostrar aquí es que la ciencia misma, como un modo de vida, ha cambiado enormemente en el último medio siglo y se diferencia, con menor facilidad que nunca, de la ordinaria existencia industrial, comercial, empresarial o burocrática. Paradojicamente, el científico, que multiplica su poder de observación y computación de múltiples maneras, con nuevos y complejos aparatos, se ha convertido en un esclavo de sus propias máquinas y de los que cooperan con él en su uso. Puede muy bien haber perdido en captación intelectual y en el placer de la caza, lo que ha ganado en técnica.



*En nuestro tiempo, la mania por el experimento planeado, controlado, diseñado, subvencionado que, como la guerra, atrae a las masas por su costo desorbitado y su unanime llamada a muchas manos democráticas, es un síndrome del hombre trastornado en mas de un sentido.*

C. TRUESDELL

### *El costo de la investigación*

No es fácil captar el costo de la investigación científica. A pesar de muchos presupuestos publicados de los cuales puede sacarse diversas cifras, es difícil entender exactamente a donde va el dinero y casi imposible tasar el valor de los productos resultantes. ~Cuanto cuesta la investigación? ~Cual es su precio para los que la compran? La ciencia no se adapta 'fácilmente' a las categorías del mundo comercial.

~Cuanto cuesta hacer un <<experimento>>? <<Costo>> -en este contexto- no tiene un significado preciso. Así pues consideremos un típico científico académico que enseña en una universidad moderna y pública, digamos, dos o tres trabajos científicos al año. Podría ser un miembro de Facultad del Departamento de Física o de la Escuela de Química en la Universidad de Bristol. En este grupo de laboratorios, tendría cerca de 80 colegas permanentes, con 120 auxiliares técnicos y cerca de 150 estudiantes graduados. Entre todos, gastarían aproxima-

damente un millón de libras al año (tabla 10.1), del cual un 30.640 por 100 estaría destinado a salarios académicos y otro 5.610 por 100 se gastaría en materiales para la enseñanza de subgraduados. (No se ha hecho

TABLA 10.1

*Gasto de la Universidad de Bristol en ciencias físicas (1969-1970)*

	<i>Libras</i>
Salarios de enseñanza y de personal de investigación.	341.000
Salarios y honorarios de otros departamentos	216.000
Costos de departamentos y laboratorio (materiales, equipamientos, etc.)	123.000
Total de los fondos básicos de la Universidad ..	680.000
+ gastos pagados con donaciones de investigación	202.000
	882.000

Personal permanente: 80

Costo por cada empleado: 10.000 libras.

ningun intento en este capítulo para citar las últimas cifras. Con los cambios de política económica, inflación, variaciones de la tasa de cambio, etc., los datos financieros de este tipo pueden ponerse al día solo si se refiere continuamente a los informes gubernamentales, etcetera, año con año. El lector debe buscar y compilar la información importante por sí mismo. Es la única manera de tener una idea de las cantidades implicadas.) Así pues, el trabajo de investigación de nuestro Dr. X estaría costando más de 5.000 libras al año en gastos de asistencia técnica, secretaría, equipamiento experimental y materiales, instalaciones de laboratorio y biblioteca, etcetera. En Estados Unidos, las cifras serían algo más elevadas: hate unos cuantos años se estimo que el costo por un investigador con la categoría de doctor, que tra-

bajase en la investigación industrial a tiempo completo, ascendería aproximadamente a 40.000 ó 50.000 dólares al año (fig. 10.1). Estos, como es obvio, se incrementan

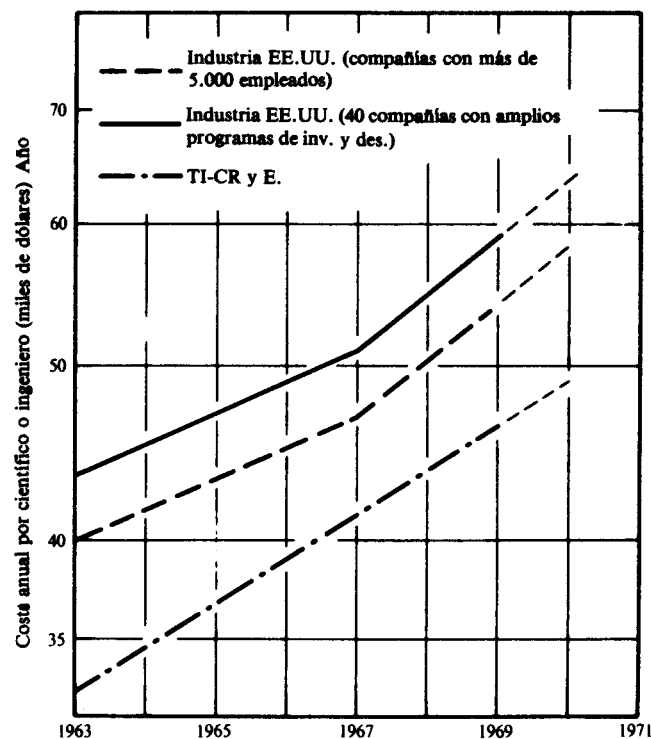


Fig. 10.1. Costo anual por científico o ingeniero en las grandes industrias de Estados Unidos que trabajan en grado significativo en investigación y desarrollo.

rápidamente, por cuanto los aparatos que se van empleando, son cada vez más complicados y caros (figura 10.2).

En la «pequeña» ciencia básica ordinaria, por tanto, no podría el bolsillo del científico particular afrontar ta-

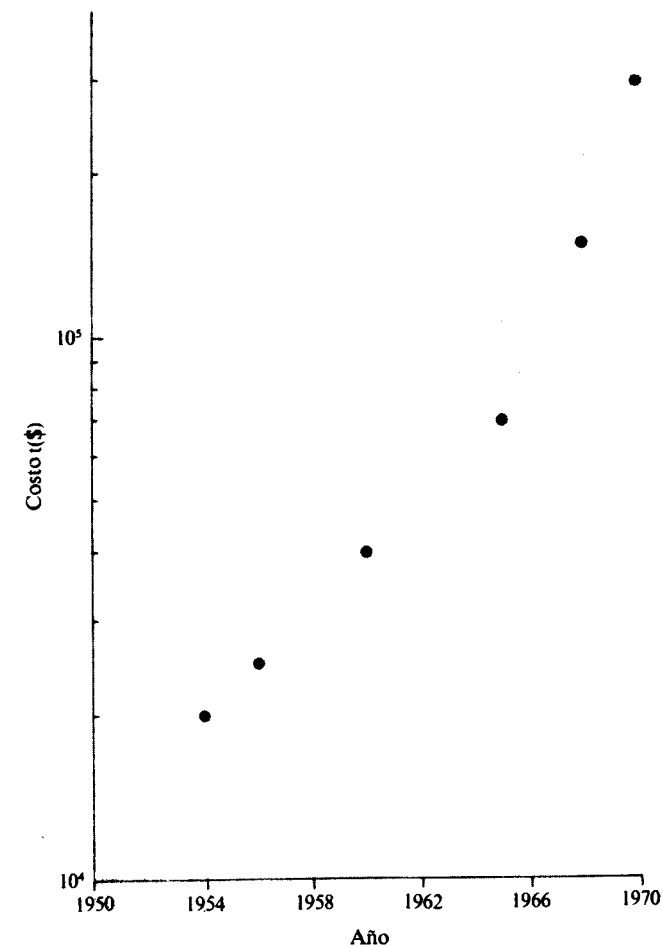


Fig. 10.2. Aumentos en el costo del equipamiento de resonancia magnética nuclear (RMN).

les gastos, cuya suma es superior a su salario personal. En ciertas áreas especiales, todavía puede hacerse, por un esfuerzo intelectual extraordinario, buenas investiga-

ciones con medios modestos, pero esto no es razonable para el millon aproximado de <<cientificos>> que, hoy en dia, florece en el mundo. Desde el punto de vista economico, la investigacion hecha por aficionados es actualmente imposible. No hay alternativa a una organizacion que emplea al cientifico profesional y le proporciona el equipamiento y demas instalaciones que se han hecho esenciales.

Tampoco puede un investigador cientifico individual independiente presentar combate a un equipo de doctored. Los servicios de laboratorio y equipamiento son terriblemente caros, a menos que los compartan varios grupos de investigacion. Asi, la inversion minima para una organizacion util de investigacion en ciencia pura o aplicada es del orden de las 100.000 libras al ano. No se puede competir con la masiva asignacion de fondos que dan a la ciencia las grandes industrias o el gobierno; los recursos financieros de individuos o pequenas empresas son bastante escasos incluso para la <<pequena>> ciencia.

La gran ciencia cuesta aproximadamente 200 veces

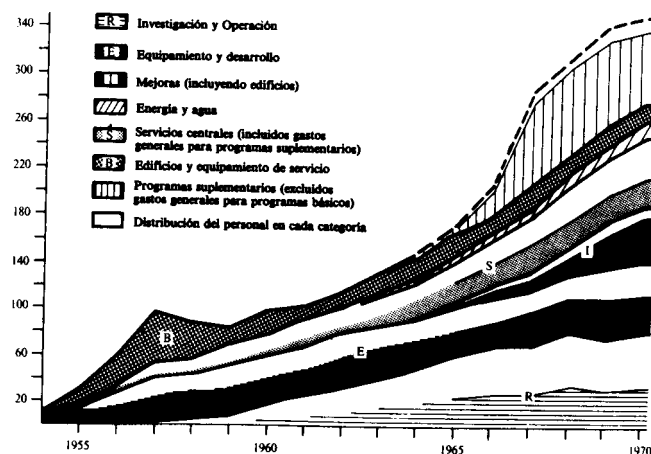


Fig. 10.3. Presupuesto del CERN,

mas. Un laboratorio de un gran acelerador, como el del CERN (pag. 242) gasta cerca de 30 millones de libras al ano (fig. 10.3) en instalaciones y materiales para cerca de 650 hombres-ano de investigacion -esto es, cerca de 50.000 libras por cada doctor en Filosofia plenamente cualificado. Esto representa aproximadamente 30 <<experimentos>> distintos. Un trabajo cientifico en fisica de alta energia es el producto final de un millon de libras en maquinaria, recursos humanos y materiales.

Esta rama de la ciencia pura se ha vuelto tan cara, que solo puede emprenderse con los recursos de todo un continente. El CERN es una organizacion internacional notable por el exito de sus resultados; la investigacion que alli se hace, estaria fuera de las posibilidades de cada una de las naciones europeas tomadas aisladamente.

La investigacion espacial es cien veces mayor que la gran ciencia ordinaria. Para el ano 1967, el presupuesto total de *US National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (Administracion Nacional de Aeronautica y del Espacio) fue de 2.000 millones de libras solo para <<experimentos>>, sin contar el costo de los cohetes y otras instalaciones basicas (tabla 10.2). Tales cifras son

TABLA 10.2

*Distribucion del presupuesto para investigacion y desarrollo de la N.A.S.A. en millones de dolares (excluidas las instalaciones de equipo pesado)*

Año	Creditos totales	Investigacion fundamental	Investigacio'n aplicada	Desarrollo
1960	363	97	166	100
1966	5071	598	713	3760

incomprensibles, a menos que se las compare con el ingreso nacional total de un pais de varios millones de habitantes, o con las operaciones comerciales de una

compañía internacional de petróleo. El mundo en su conjunto puede escasamente financiar la investigación a esta escala. La colaboración entre Estados Unidos y la Unión Soviética en la exploración del espacio es más que un gesto de amistad y reconciliación; es una necesidad económica, si, en absoluto, quiere continuarse el trabajo.

### Apoyo gubernamental a la ciencia

Volvamos de la estratosfera a la ciencia ordinaria en un nivel universitario. ¿De donde procede realmente el dinero para pagar, por ejemplo, la investigación en ciencias físicas en la Universidad de Bristol? Aunque todo viene finalmente del Gobierno, el principal canal pasa todavía a través de la Comisión Universitaria de Donaciones y por las cuentas generales de la Universidad. El gasto por estudiante en las facultades de Ciencia y Tecnología es tres o cuatro veces mayor que en las de Artes, Leyes, etc., que cubre mucho más que el costo de los laboratorios de «prácticas». La Universidad paga directamente la investigación de los profesores universitarios de ciencia, pues considera esta como un anexo esencial de sus tareas educativas. Dando estas facilidades y premiando el éxito en la investigación con promociones, la Universidad fomenta la ciencia, sin imponer una obligación precisa de emprender ninguna investigación en particular. Por lo tanto, dentro de este contexto institucional, un profesor universitario puede dedicarse a la investigación casi como si esta fuese una afición personal y no está obligado profesional o contractualmente a producir los trabajos científicos que se le mande.

En la práctica, sin embargo, el costo de la investigación científica y tecnológica se ha elevado más allá del ingreso normal incluso de universidades más ricas. En todos los países desarrollados económicamente, es costumbre que los laboratorios universitarios reciban donaciones adicionales de dinero para equipamiento, auxilia-

res, etc., de fuentes exteriores —oficinas gubernamentales, corporaciones industriales, fundaciones privadas o agencias internacionales. Donaciones típicas son las recibidas por la Universidad de Bristol de *UK Science Research Council* (SRC) (Consejo de Investigación Científica del Reino Unido), que incluye una amplia gama de materias bajo el título de «Ciencias Físicas e Ingeniería» (tabla 10.3). Aproximadamente el 25 por 100

TABLA 10.3

*Donaciones ordinarias del SRC a Bristol (al 31 marzo 1967)*

<i>Materia</i>	<i>Cantidad en libras</i>	<i>Becas de Doctorado</i>
Astronomía	57,000	—
Biología	127,536	30
Química	26,615	57
Matemáticas		9
Metalurgia y materiales	71,221	—
Física nuclear	8,760	32
Otra Física	35,449	—
Espacio	3,275	
Ingeniería aeronáutica y civil	6,015	8
Ingeniería eléctrica y de sistemas ...	15,150	4
Ingeniería mecánica y de producción.	7,070	2
TOTALES	358,091	142
<i>Gasto real anual</i>	101,232	

del presupuesto total de investigación de nuestros laboratorios científicos procedería ordinariamente de agencias de este tipo. En muchos otros países, especialmente Estados Unidos, el gasto total en investigación no es una fracción del presupuesto global de la universidad mayor que en Inglaterra, pero la proporción del presupuesto que aportan las subvenciones exteriores es mucho más elevada.

### *Sistema de subvenciones para la investigación*

~Como se consigue realmente este subsidio para la investigación? Como esto es una gran parte de la vida del científico <<academico>> moderno, merece ser descrito y comentado. El procedimiento británico, bastante típico de la mayor parte de los países occidentales, es el siguiente:

a) El Dr. X, profesor de la Universidad Q, hace una solicitud de subsidio para emprender una investigación especial, por ejemplo: <<Investigación del espectro W de Quodlibetium, por resonancia atómico-eléctrica>>. Explica por qué piensa que esto sería científicamente valioso y cómo planea hacerlo. Necesita 1.000 libras para un espectómetro de resonancia eléctrico-atómica y 2.000 libras anuales, durante tres años, para un auxiliar de investigación. Incluidos otros gastos ulteriores como viajes para asistir a conferencias y computación, su petición total es de, digamos, 22.000 libras.

b) Los funcionarios permanentes del SRC -o, en Estados Unidos, de la *National Science Foundation* (NSF) (Fundación Nacional de Ciencia)- envían copias de la solicitud a los «censores». Estos son expertos en esta rama de la ciencia; en la práctica, podrían ser solo el profesor Y y el Dr. Z, que también practican la espectrometría por resonancia eléctrico-atómica en otras universidades y que tienen las relaciones científicas normales de colaboración y competencia con el Dr. X. Su tarea no es fácil: si la propuesta es verdaderamente interesante y original, podría dudarse mucho de si funcionara; su opinión puede basarse más bien en un juicio sobre la reputación y capacidad profesional del Dr. X, que en los méritos del esquema como tal.

c) Los funcionarios del SRC o NSF consideran los informes de los «censores» y los presentan finalmente a una «comisión dependiente», formada por más expertos científicos -por ejemplo, una comisión de profesores de

química atómica de cierto número de universidades-, para que decidan. Su trabajo consiste en elegir entre varias propuestas similares, según sus méritos científicos, y, de alguna manera, en dejar a todos razonablemente satisfechos, sin adjudicar más fondos de los que ha puesto a su disposición una comisión superior. Este procedimiento general se llama <tasación por un grupo de iguales>.

d) El Dr. X obtiene la subvención -quizá sin la partida para el investigador auxiliar, porque los fondos son escasos- y luego tiene una libertad considerable para gastarla como le parezca dentro de los términos generados de su subsidio. Hablando estrictamente, la subvención se otorga a la Universidad, pero, en la práctica, el <<investigador principal\* puede considerarla como su propio fondo de investigación y tratar directamente con el SRC sobre los detalles.

e) Tres años y varios informes más tarde, el proceso se repite: el Dr. X -ahora profesor- tiene un grupo de investigación en plena actividad y se ha convertido en pilar de la química atómica y en un motivo de gloria para su universidad.

Este procedimiento tiene la gran ventaja de orientar considerables recursos financieros al mantenimiento del nuevo trabajo científico < oportuno y prometedor>. El subsidio sistemático puede explotar rápidamente una idea brillante o abrir un nuevo campo. Se puede colocar los nuevos y poderosos instrumentos en los centros estratégicos de investigación, donde pueden transformar técnicas y métodos.

Es beneficioso apoyar a jóvenes científicos competentes, sin considerar su posición dentro de la jerarquía académica. En el pasado, la tiranía de un profesor poderoso ha inhibido frecuentemente la imaginación y originalidad de sus subordinados; dados los medios independientes de su propio subsidio de investigación, un joven miembro de una facultad puede continuar sus propios

proyectos de investigación y pasar por alto a sus mayores, reaccionarios o celosos.

Pero hay peligros reales en el sistema. Una forma de corrupción es el arte de <<conseguir subsidios>>: la colección de cierto número de subsidios por parte de organismos externos, para realizar una investigación a gran escala, pretenciosa y pobremente concebida. La independencia de un control local favorece la fragmentación de los departamentos universitarios, que tienden a convertirse en meras federaciones de grupos dispersos de investigación, sin coordinación ni plan. El departamento o la facultad pierde el control sobre las personas encargadas de la enseñanza y de la investigación, especialmente cuando los salarios de muchos miembros del personal de investigación son pagados directamente de los subsidios a la investigación. Surgen también muchos problemas técnicos y de contabilidad financiera: por ejemplo, la adjudicación de los fondos de la <<universidad>> para gastos fijos y desembolso por capitalizar asociado a las actividades de la investigación. Estos peligros han sido muy notables en los Estados Unidos, donde la cornucopia de subsidios y contratos de investigación se ha derramado con generosidad, pero no son desconocidos en naciones más modestas.

Podría hacerse la pregunta de si es prudente poner el control de todos estos fondos en manos de grupos centrales de <iguales>> científicos. En el mejor de los casos, ello puede conducir a las <<mutualidades de alabanzas mutuas>>, donde los profesores X, Y y Z aseguran que cada quien obtenga su parte del botín. En el peor de los casos, hay tentaciones de verdadera corrupción o de suprimir a la clientela molesta cuya investigación pudiera invalidar los trabajos de los miembros del *establishment* y quitarles el negocio. La diversidad de fuentes financieras para la investigación que este al nivel del carácter crítico y competitivo de la ciencia, puede ser más prudente en la práctica que los limpios esquemas de coordinación y control.

Otra tarea del SRC, también realizada a través de sus

comisiones de expertos, es conceder becas a varias universidades para la formación de estudiantes en la licenciatura en Ciencias y el doctorado. Solo en la Universidad de Bristol, este gasto ascendería a otras 100.000 libras. Puesto que la mayor parte de otras fuentes de financiamiento para este propósito son, hoy en día, insignificantes, esta es una tarea importante. En efecto, aquí está la válvula que controla la entrada en la profesión científica y que modera el crecimiento de la comunidad científica. El equilibrio entre diferentes materias y entre sus aspectos puros y aplicados, para la siguiente generación, depende de la política adoptada en este período. Es bastante cierto, por ejemplo, que si se otorga diez veces más becas para formación en la teoría de las partículas elementales, que para química teórica, habrá entonces, en veinte años, más profesores de teoría de partículas elementales que de teoría química.

En el Reino Unido, los subsidios para formación en la investigación son todavía considerados como «betas» para estudiantes concretos; en la mayor parte de otros países, el apoyo a estudiantes graduados toma la forma de un puesto de auxiliar de investigación, relacionado con la investigación misma. En otras palabras, un subsidio para investigación puede financiar cierto número de graduados auxiliares que hacen su doctorado, mientras trabajan en el proyecto del investigador principal. Esto no solo aumenta la fragmentación de las instituciones académicas y el poder de patronazgo del que da el subsidio, sino que es otro síntoma de la completa profesionalización de la ciencia, donde el estudiante de investigación no es más que un aprendiz pagado de una especialidad particular.

#### *Presupuestos nacionales para la ciencia*

Considerese ahora las responsabilidades supremas de una agencia como el *Science Research Council* (tabla 10.4). No solo apoya la investigación universitaria

TABLEA 10.4  
Gastos del SRC por año terminado el 31 de marzo de 1968

	Libras	Libras
Oficina de administración en Londres .	1.000.000	
Laboratorio Rutherford (Física de alta energía) ... ..	7.000.000	
Daresbury (Física de alta energía) ...	3.200.000	
Suscripción al CERN ... ..	5.000.000	
Subvención a Universidades para Física nuclear ... ..	1.270.000	
		17.470.000
Suscripción a ESRO ... ..	4.500.000	
Observatorios Greenwich y otros ... ..	1.130.000	
Estaciones Radio e Investigación espacial ... ..	1.350.000	
Gastos central investigación espacial ...	1.000.000	
Gastos central Astronomía ... ..	70.000	
Subvenciones universitarias para la atmósfera superior ... ..	570.000	
		8.620.000
Computación Laboratorio Atlas ... ..	800.000	
Subvenciones a Universidades para otras investigaciones ... ..	6.570.000	
Premios formación de postgraduados ...	4.810.000	
Esquemas científicos NATO ... ..	320.000	
		12.500.000
		38.590.000

con unas cuantas decenas de miles de libras, en muchos pequeños fragmentos, sino que casi tres cuartas partes de sus gastos sirven para poner en funcionamiento grandes laboratorios para investigación especializada de tiempo completo. Este es el canal de la suscripción británica al CERN y la fuente de financiamiento de los grandes aceleradores británicos en el Laboratorio Rutherford y en Daresbury.

Obsérvese, en efecto, que la física nuclear gasta la mitad de este presupuesto y la investigación espacial y

la astronomía, un cuarto. Esto significa gran ciencia en terminos financieros: las enormes exigencias de equipamiento caro pueden distorsionar la adjudicación de fondos y alejarla de la proporcionalidad debida al valor social de la investigación o al numero de científicos que se beneficiaran con ella. Sin embargo, el SRC es un cuerpo de científicos independientes, con una gama amplia de disciplinas, que, de ninguna manera, esta bajo el dominio de los físicos nucleares avidos de poder. La 16-gica económica de la instrumentación e investigación costosas de grandes equipos crea su propia escala de prioridades y valores dentro de la misma comunidad científica.

El SRC se ocupa solo de una parte de las ciencias naturales. La investigación importante para la medicina, agricultura o medio ambiente (por ejemplo, geología y ecología) la apoyan otros tres Consejos para la investigación, cuyos fondos totales casi igualan a los del SRC (tabla 10.5). La investigación sobre frutales en Long

TABLEA 10.5  
Gastos del Consejo de Investigación (1971-1972)

	Millones de libras
Consejo de Investigación Agrícola ... ..	18,7
Consejo de Investigación Médica ... ..	23,0
Consejo de Investigación Medio ambiente natural ... ..	15,9
Consejo de Investigación Científica ... ..	55,7
Consejo de Investigación de Ciencia Social ... ..	4,1
TOTAL ... ..	117,4

Ashton, por ejemplo, la financia y administra el Consejo de Investigación Agrícola, aunque las actividades académicas del laboratorio dependan de la Universidad de Bristol. El gasto total del Gobierno británico en investigación relativamente básica es así del orden de 100

millones de libras anuales. Pero adviértase que el costo de la física nuclear de alta energía es todavía una parte considerable de esa suma, comparable con todo el gasto del Consejo de Investigación sobre el medio ambiente natural. La cantidad adjudicada al Consejo de Investigación de ciencia social, parece demasiado pequeña. ~Esto se debe a un prejuicio contra la sociología y economía académicas? ~O hay otras fuentes que suministrarán mucho dinero para este tipo de investigación? (vease cap. 12).

Pero el Gobierno británico tiene otros canales para distribuir el dinero destinado a investigación y desarrollo. El gasto total en investigación *civil* (tabla 10.6) es

TABLA 10.6  
Gasto del Gobierno Central en investigación y desarrollo científicos (1968-1969)

	<i>Millones de libras</i>
Industria:	
aeroespacial ... ..	102,8
energía atómica ... ..	47,4
general ... ..	19,0
<i>Total Industria</i> ... ..	169,2
Agricultura, pesca y bosques ... ..	8,3
Caminos y transportes ... ..	3,7
Empleo, industria y comercio ... ..	0,6
Vivienda y medio ambiente ... ..	0,6
Ley y orden ... ..	0,6
Sanidad y bienestar ... ..	2,8
Universidades ... ..	52,4
Consejos de Investigación ... ..	76,7
Varios (Administración, etc.) ... ..	13,3
<i>Total civil</i> ... ..	328,2
<i>Total defensa</i> ... ..	237,2
<b>TOTAL</b> ... ..	<b>565,4</b>

casi tees veces mayor que la cantidad que gasta en universidades y a través de los Consejos de Investigación, e iguala el de investigación en Defensa (vease cap. 13). En este punto, sin embargo, estamos incluyendo los costos del desarrollo tecnológico, mucho más caro que los experimentos de laboratorio (vease cap. 8). Un prototipo ingenieril o una planta piloto pueden costar muchos millones y exigen enormes recursos técnicos y de personal especializado. Un principio convencional afirma que la relación de costos en investigación básica: desarrollo: planta de producción, debe ser: 1: 10: 100. Nadie puede probar que los factores de esta proporción sean «correctos», pero si dan una idea vaga de lo que debe ocurrir. Si se admite que solo la ciencia «básica» es verdaderamente <<ciencia>> y lo demás <<tecnología>, entonces el presupuesto total de la ciencia -500 millones de libras anuales- no es, después de todo, tan generoso.

Es interesante observar que el gasto, mucho mayor, de investigación y desarrollo del Gobierno Federal de

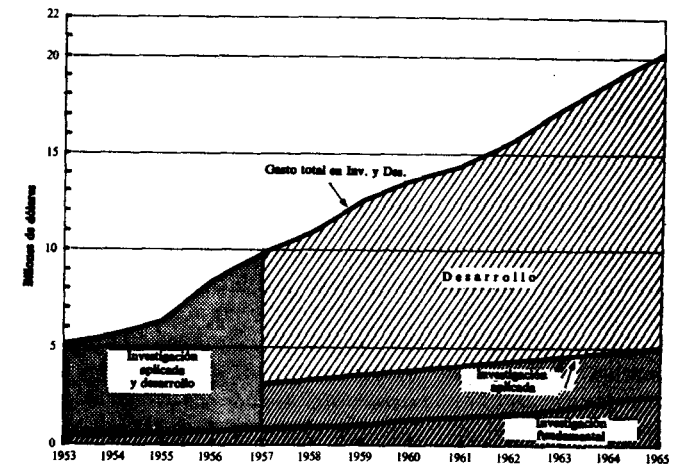


Fig. 10.4. Desarrollo e investigación fundamental en Estados Unidos.



Estados Unidos, sigue un modelo bastante similar (figura 10.4). Sería necesario mucho análisis social para determinar las equivalencias entre agencias como NASA o AEC y los departamentos correspondientes del Gobierno británico, pero la distribución de fondos es, en líneas generales, la misma. Obsérvese, sin embargo, que la investigación en Defensa, en los Estados Unidos (figura 10.5: «Desafío Exterior») se acerca al 60 por 100

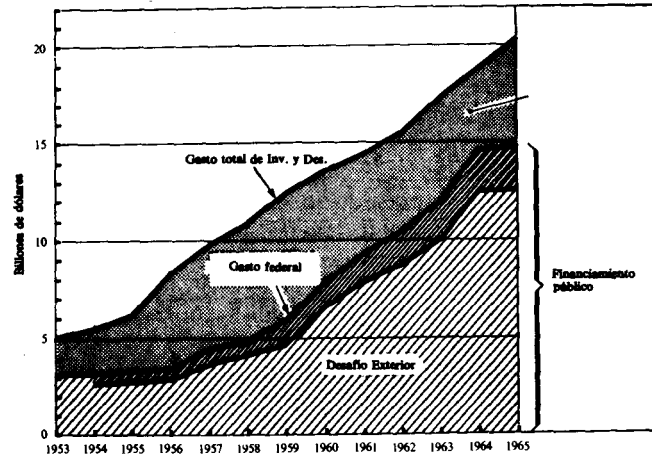


Fig. 10.5. Gasto en investigación y desarrollo en Estados Unidos.

del total, mientras que, en Inglaterra, la proporción es aproximadamente del 40 por 100. Quizá esto signifique simplemente que un país rico puede permitirse hasta despilfarrar en tales lujos. Recordemos, como pequeña compensación, que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos tiene el curioso hábito de financiar muchas investigaciones puramente académicas en las universidades y que hacía de mecenas en algunas aventuras académicas muy elegantes, pero inútiles. La investigación aplicada y el desarrollo se registran como nueve décimos del total, pero esto puede haberse realizado

aplicando la regla empírica más que una contabilidad estricta.

Hay una gran diferencia entre los métodos británico y americano de financiar la investigación: el Gobierno de Estados Unidos distribuye alrededor del 60 por 100 de los trabajos de investigación en forma de «contratos» con la industria privada (tabla 10.7), en tanto que, en

TABLA 10.7  
Gasto del Gobierno Central (1967)

	Estados Unidos		Reino Unido	
	billones de dólares	%	millones de libras	%
Intramuros ... ..	3,4	21,3	238	44
Industria ... ..	9,7	60,1	199	36
Universidades ... ..	2,1	13,2	62	11,3
Otros ... ..	0,8		46	
<b>TOTAL ... ..</b>	<b>16,0</b>		<b>545</b>	

Inglaterra, hay una fuerte tendencia a crear laboratorios especiales del Gobierno -por ejemplo, el *Royal Aircraft Establishment* (Establecimiento Real de Aviación), en Farnborough, y el *Royal Radar Establishment* (Establecimiento Real de Radar), en Malvern- para este tipo de trabajo. El método americano tiene sus ventajas para el costo más beneficio de las corporaciones industriales y también respecto de la actitud hacia la investigación e innovación. Obsérvese, sin embargo, que la proporción de dinero gubernamental destinado a la ciencia, que se canaliza a las universidades, es, con mucho, el mismo en ambos países; solo en números absolutos, la cantidad es mayor en Estados Unidos.

El gasto en investigación y desarrollo que hacen las corporaciones privadas en el Reino Unido y en los Esta-

dos Unidos casi iguala al gasto gubernamental en ambos países. La contabilidad es un tanto complicada en las industrias nacionalizadas, pero el mismo modelo general se repite otra vez (tablas 10.8, 10.9). La nota más sor-

TABLA 10.8

*Gasto en investigación y desarrollo en industrias británicas (1967-1968)*

	<i>Millones de libras</i>
Espacio aéreo ... ..	146,6
Ingeniería eléctrica ... ..	142,7
Ingeniería mecánica (una miscelánea) ... ..	56,5
Vehículos de motor ... ..	33,6
Químicos y carbón ... ..	39,8
Metales y productos metálicos ... ..	23,9
Fármacos y plásticos ... ..	23,4
Alimentos, bebidas y tabaco ... ..	15,4
Petróleo y productos de goma ... ..	14,7
Instrumentos científicos ... ..	12,7
Textiles, fibras sintéticas y vestido ... ..	11,9
Productos de piedra y cerámica ... ..	8,5
Madera, muebles, papel, imprenta, etc. ... ..	8,2
Barcos ... ..	2,3
Ferrocarriles ... ..	1,7
Construcción ... ..	4,4
Otros ... ..	7,0
<b>TOTAL ... ..</b>	<b>553,3</b>

prendente de todas estas cifras es su desigual distribución. La industria científica está fuertemente concentrada en unas cuantas industrias -la aeroespacial y la de ingeniería eléctrica, por ejemplo-, mientras que es casi despreciable en otras de importancia económica y social comparable. ¿Cómo podría justificarse que el gasto en aviación sea cien veces mayor (¿No, no todo es para Defensa!) que en barcos o ferrocarriles? Sería interesante saber si el gasto en investigación y desarrollo en

TABLA 10.9

*Porcentajes del producto neto en investigación y desarrollo, 1951'*

	<i>Compañías americanas</i>	<i>Compañías británicas</i>
Aviación ... ..	30,9	35,1
Electrónica ... ..	22,4	12,3
Varios electricidad ... ..	16,3	5,6
Vehículos ... ..	10,2	1,4
Instrumentos ... ..	9,9	6,0
Productos químicos ... ..	6,9	4,5
Maquinaria ... ..	6,3	2,3
Caucho ... ..	2,7	2,1
Metales no ferreos ... ..	2,0	2,3
Productos de metal ... ..	1,3	0,8
Piedra, cerámica y vidrio ... ..	1,2	0,6
Papel ... ..	0,9	0,8
Metales ferreos ... ..	0,8	0,5
Alimentos ... ..	0,5	0,3
Madera y muebles ... ..	0,2	0,1
Textiles y vestido ... ..	0,2	0,3
Industrias generales ... ..	5,7	3,1

' Tornado de B. R. Williams, *Minerva* 3,61.

la Unión Soviética está igualmente desequilibrado, pero los hechos reales están escondidos en los presupuestos, planes y estadística de recursos humanos.

#### *Gastos crecientes*

Es obvio que una gruesa suma del total monetario para el <<gasto nacional de investigación y desarrollo>> incluye una multitud de piezas disparatadas, desde el salario de académico de un Einstein al costo de instalación de un banco para prueba de cohetes. Pero el incremento de esta suma en las últimas décadas es un fenómeno económico muy importante.

Los datos referentes a Estados Unidos han sido convenientemente expresados a escala logarítmica: en veinte

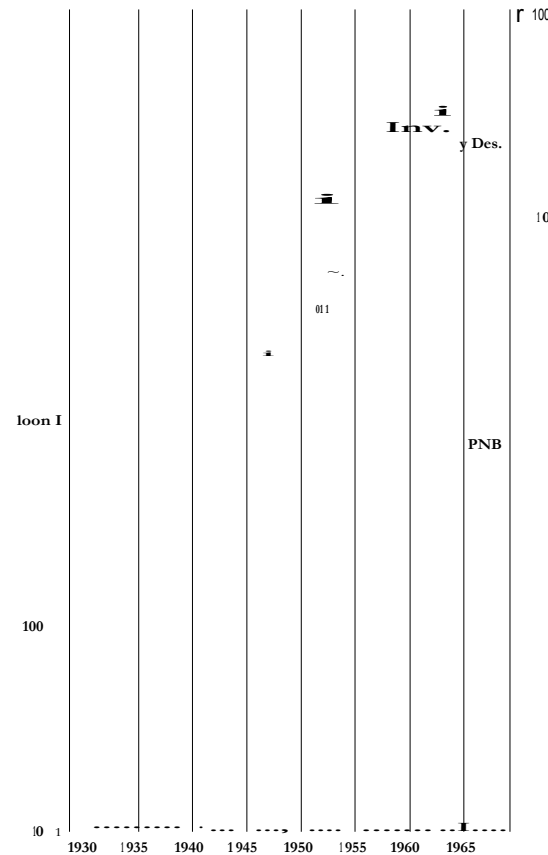


Fig. 10.6. Crecimiento comparativo del PNB, gasto en educacion y en investigacion y desarrollo en Estados Unidos.

En los años, de 1945 a 1965, el gasto en investigación y desarrollo se ha multiplicado por 15. En el mismo periodo, el ingreso nacional (Producto nacional bruto: PNB) se ha multiplicado por tres. En otras palabras, el gasto en

investigación y desarrollo se ha elevado del 0,6 por 100 al 3 por 100 del PNB, con tendencia al equilibrio. Esta es la contrapartida financiera del continuo crecimiento de las actividades científicas de todo tipo -trabajos publicados, por ejemplo (fig. 70), durante siglos; en ella influye el costo extraordinario del equipamiento para experimentos cada vez más complejos en las últimas décadas. Pero note que el gasto en educación, en Estados Unidos, se ha multiplicado por 10 desde el fin de la guerra; así pues, el componente investigación de la educación quizá no ha crecido, después de todo, tan rápidamente.

Tendencias históricas similares pueden observarse en todos los países desarrollados (fig. 10.7). En 1934, J. D. Bernal se quejaba de la magra suma de 6,6 millo-

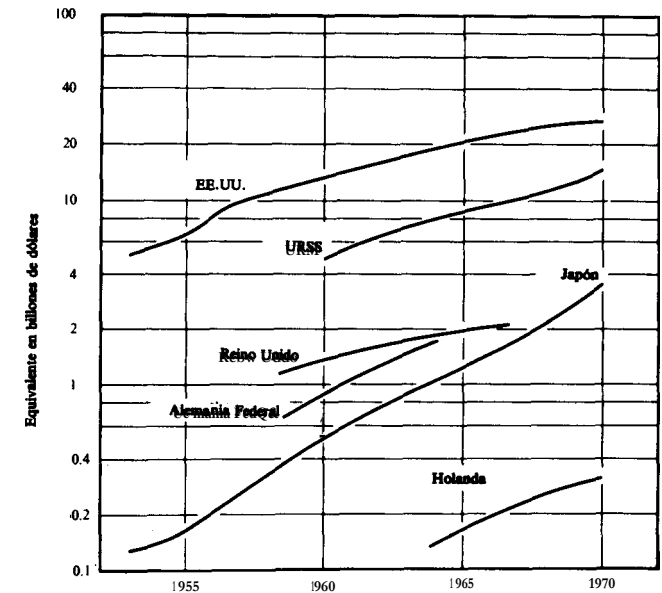


Fig. 10.7. Gastos en investigación y desarrollo en varios países (en dólares americanos).

nes de libras que se gastaba en investigacion, en Inglaterra. Comparese esta cifra con el total actual que supera los 100 millones de libras. Hablando en general, una nation industrializada moderna en Europa (y, por supuesto tambien Japon), gasta del 1 al 2 por 100 de su PNB en investigacion y desarrollo, y aproximadamente una persona en mil de su poblacion es un cientifico o ingeniero cualificado. Estas cifras representan ya una fuerte demanda de recursos monetarios, tecnicos especializados, equipamiento complejo, instalaciones de educacion y, sobre todo, de personas intelectualmente dotadas y bien motivadas. Hay poca probabilidad de que en las proximas decadas, estas cifras puedan elevarse cinco o diez veces mas. En efecto, es poco sorprendente que todos estos (indicadores de la ciencia>> haya interrumpido su crecimiento desde los primeros anos 1970. El punto de saturation estaria por llegar. La ciencia puede no haber alcanzado todavia el culmen de su fuerza social, pero ahora debe enfrentarse con el problema de decidir las prioridades relativas mas que seguir buscando todavia mas hombres y dinero para todo tipo de investigaciones.

Dado que la investigacion cientifica es un < lujo>> no al menos una provision marginal para un futuro distante-, no es sorprendente que un pals rico gaste una proporcion de su ingreso nacional en investigacion y desarrollo mayor que un pals pobre. Hay una estricta correlacion entre la relacion investigacion y desarrollo: producto nacional bruto y el ingreso *per capita*, en todos los paises del mundo (fig. 10.8). Algunos politicos tratan de invertir esta correlacion; adjudicando una cantidad desproporcionada de dinero en ciencia, un gobierno puede pretender parecer mas rico de lo que realmente es. En otras palabras, una organization nacional de investigacion se convierte en un <<simbolo de status\* para la opinion publica de ese pals y le da un carnet para ingresar en el club cientifico. En realidad, el esfuerzo total en investigacion de un pals cuyos habitantes son muy pobres, nunca puede ser muy grande. La parte de los <<paises en desarrollo>> en el gasto mundial en ciencia es

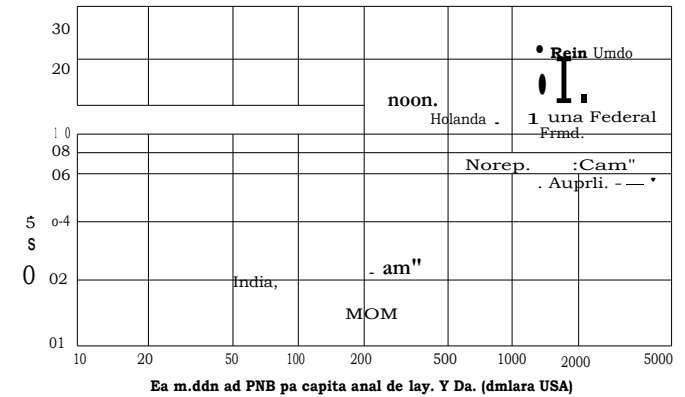


Fig. 10.8. Gasto nacional bruto en investigacion y desarrollo, porcentaje del PNB.

practicamente despreciable, aunque la investigacion que emprenden pueda tener un efecto significativo en las condiciones locales de cada region (vease cap. 11).

*Beneficios econdmicos de la investigacion*

&or que han de gastarse tan grandes cantidades de dinero en la ciencia? ,Cuales son los beneficios de esta inversion? A esta pregunta no puede contestarse solo en terminos economicos. La ciencia tiene valores espirituales y esteticos que no puede traducirse en libras o dolares. Podriamos, por supuesto, jugar a contar cada trabajo cientifico publicado como una unidad de <<valor cientifico producido>>. Sobre esta base, Derek de Solla Price ha valorado el <<tamafio>> de la ciencia, pals por pals, y ha demostrado el establecimiento de una relacion tipica aproximada de un autor cientifico por cada 10 millones de dolares de PNB (fig. 10.9). Adviertase que la India se adapta bastante bien a este esquema, mientras que el Reino Unido e Israel gastan, segun parece, demasiado en ciencia. Por otro lado, los paises latinoamericanos <<podrian mejorar>>. Pero esto puede desorientar:

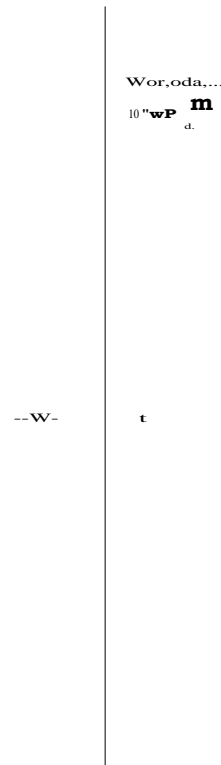


Fig. 10.9. Numero de autores científicos en /uncion del PNB, que muestra que el 90 % de los científicos se halla en los países mds ricos, etc.

contar solo el numero de ttabajos no nos dice nada de *su calidad*. Factores de 10 0 100 en el valor real de cada unidad de contribucion podrian descompensar completamente el computo de nombres en un indice de autores. Un ministro de Finanzas seria muy estúpido si creyera que su país es avanzado y competente, desde el

punto de vista científico, simplemente porque tiene la proporcion requerida de profesores y doctores.

Se arguyo en tiempos que el esfuerzo en investigacion y desarrollo tenia un efecto directo en el crecimiento industrial y que, por lo tanto, adjudicando grandes sumas de dinero para la ciencia, un país debia, inevitablemente, enriquecerse en unos cuantos aflos. La relacion causal parece, en principio, bastante obvia; sin embargo, nada de esto ha sucedido en el pasado reciente (fig. 10.10). El Reino Unido y Estados Unidos gastan, en proporcion, tres veces mas que Alemania Federal y Japon y, sin

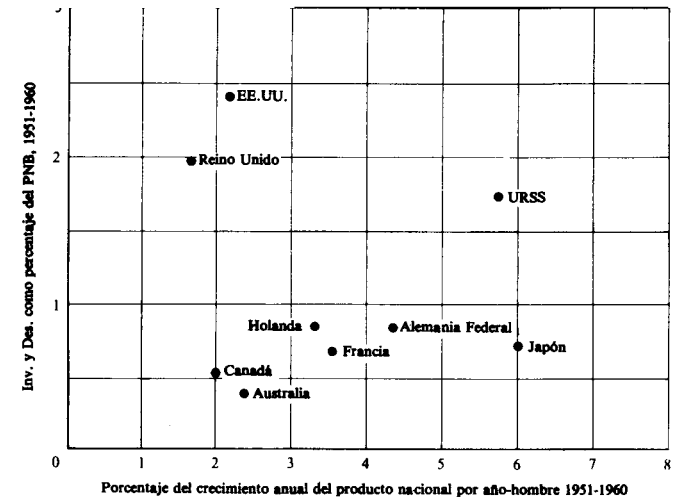


Fig. 10.10. La relación entre gasto en investigación y desarrollo y crecimiento en varios países.

embargo, crecieron económicamente menos de la mitad que éstos. Australia trata de enriquecerse con un gasto científico muy modesto, porque probablemente las grandes compañías internacionales importan las técnicas avanzadas producidas por el trabajo de investigación que hacen en los países metropolitanos (pág. 295). El factor importante no es la cantidad absoluta gastada en la cien-

cia, sino la combinación correcta de investigación básica y desarrollo aplicado a los recursos económicos disponibles del país.

En este periodo de desilusión de los poderes mágicos del gasto científico, es bueno poner de relieve que la rentabilidad a largo plazo de la investigación, en términos puramente económicos, está fuera de duda. Los cálculos no son fáciles, pero un ejemplo famoso de éxito en la investigación dirigida ha sido analizado detenidamente

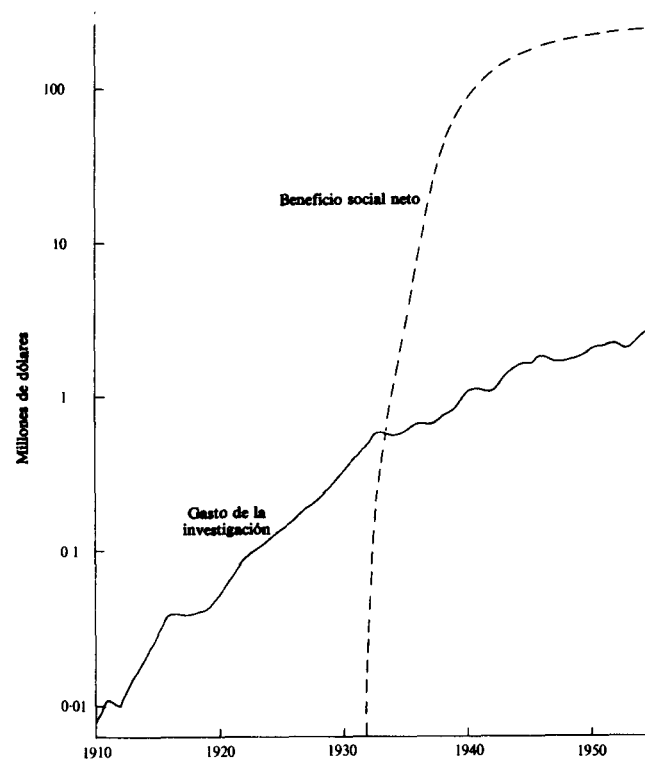


Fig. 10.11. Gastos anuales y beneficios económicos calculados de la investigación sobre maíz híbrido.

(figura 10.11). De 1910 a 1933, varias organizaciones de investigación agrícola en Estados Unidos gastaron sumas que totalizaban cerca de 3 a 5 millones de dólares, para el desarrollo de una variedad comercial de maíz híbrido (página 44). En 1933, se suministró a los agricultores la primera variedad con las propiedades requeridas, que produjo una cosecha de maíz superior en 15.620 por ciento a las habituales. El maíz híbrido así producido, ha reportado desde entonces, sin ningún esfuerzo adicional, cerca de 200 millones de dólares anuales. El cálculo formal de la «tasa de beneficio total neto de la inversión\* puede variar según las hipótesis económicas en que se apoye, pero, mirese como se mire, la tasa es aproximadamente de 700 por 100 anual.

Pero aun en este caso claro de investigación con mucho éxito que condujo a una innovación inmensamente rentable, la respuesta de los agricultores no fue instan-

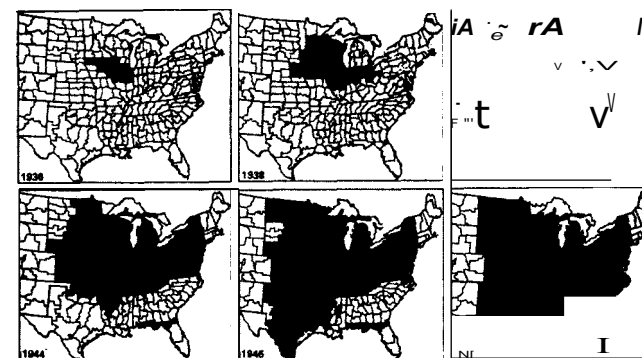


Fig. 10.12. Difusión del maíz híbrido: zonas que sembraban por lo menos el 10% de la superficie dedicada al maíz con semillas híbridas, en los años especificados.

tanea (fig. 10.12). Fueron necesarios 12 años para que el maíz híbrido dominara en todo el cinturón de maíz de Estados Unidos. Podía ser bastante difícil para cada agricultor individual calcular el beneficio que obtendría

al hacer el cambio, que dependería sensiblemente del nivel de sus operaciones. Aunque el costo de esta investigación parezca ahora muy pequeño, superaba las posibilidades de los comerciantes en semillas y cultivadores de plantas ordinarios. Solo con los esfuerzos deliberados y sostenidos de organizaciones permanentes como las estaciones de investigación agrícola federal y estatal, durante 25 años, que no tenían la certeza de un beneficio final, pudo llegarse a estos resultados.

Sería también erróneo concluir que todo el gasto en la investigación, continuado por suficiente tiempo, debe finalmente ser rentable con la misma tasa de ganancia enorme del caso del maíz híbrido, en el que debemos incluir, por ejemplo, todo el dinero y esfuerzos que debió aplicarse, desde principios de siglo, a propuestas sin éxito para aumentar la cosecha de maíz en Estados Unidos. Por cada proyecto de investigación que alcanza la meta final, debe haber 5 o 10 que no llegan a nada o solo aumentan el conocimiento básico, o son suspendidos por razones accidentales antes de llegar a término. La investigación tiene mucho más de lotería que de inversión: la recompensa puede ser muy grande, pero es incierta y puede llegar solo al final de toda una vida de esfuerzos.

Aun en el caso de que el resultado sea razonablemente predecible según los principios técnicos convencionales, como en el desarrollo de un aparato existente, se requieren recursos económicos sustanciales. Considerese el siguiente caso hipotético, discutido por Lord Blackett. Una empresa manufacturera decide desarrollar una línea en, digamos, osciloscopios, que requeriría años de trabajo de un equipo de 10 científicos e ingenieros cualificados. Afrontando los costos de laboratorio, etc. -aproximadamente 10.000 libras anuales por cada miembro del equipo-, la compañía estaría gastando en investigación y desarrollo cerca de 100.000 libras al año. Pero como pocas empresas pueden destinar más del 10 por 100 del volumen de operaciones para investigación y desarrollo, tal compañía esperaría tener ventas del orden de un millón

de libras al año. Si cada osciloscopio cuesta 1.000 libras, tendría que vender por lo menos 1.000 instrumentos al año, con lo cual cubriría todo el mercado británico de ese aparato especializado. Por lo tanto, a no ser que esta empresa tenga un negocio de exportación muy grande, necesitaría gozar casi de una posición local de monopolio. Pero con un solo producto sería muy vulnerable a la competencia técnica. En otras palabras, este tipo de proyecto de desarrollo sería muy arriesgado, a menos que la compañía fuera mucho más grande, vendiera muchos instrumentos diferentes por valor de 10 millones de libras al año o más, y empleara varios miles de personas. Si quisiésemos hablar de computadores o de plantas de energía, donde cada artículo cuesta cientos de miles de libras, tendríamos entonces que multiplicar esas cifras por 10 ó 100.

Esta es la razón fundamental para que la investigación este financiada principalmente por muy grandes compañías o Gobiernos. Son estos, en efecto, los que tienen los recursos, los grandes equipos de científicos e ingenieros, para lograr el desarrollo exitoso. Las ideas fundamentales pueden [proceder de](#) individuos que cuestan poco, pero la tecnología a gran escala exige arriesgar grandes cantidades de capital.

*Murid en el exilio; como a todos los bombres, le habia tocado vivir tiempos malos.*

JORGE Luis BORGES

De la China imperial al Peru de los incas, toda sociedad civilizada tiene actividades que corresponden a lo que ahora llamamos ciencia: la inventiva técnica de la porcelana china, la destreza matemática del calendario maya, la agudeza filosófica de los escritos sagrados de los hindúes, la curiosidad por los fenómenos naturales de todas las sociedades humanas. Estos ingredientes de la actitud científica se encuentran fácilmente en toda cultura que haya dejado un registro de sus pensamientos y actividades. Los logros de una civilización antigua son un motivo de orgullo para toda nación en proceso de regeneración. Descubrir y admirar estos logros es una de las principales tareas del historiador y del arqueólogo.

Pero no hay ninguna prueba tangible de que algo parecido a la revolución científica de la Europa del siglo xvll haya tenido lugar, o vaya a tener lugar, en ninguna otra región del mundo. Sea por casualidad, sea por fatalidad histórica, los ingredientes estaban presentes mezclados en las proporciones correctas y sometidos a las necesarias temperaturas religiosas y presiones políticas, para reaccionar

y combinarse en un nuevo compuesto cultural. La ciencia moderna, en cualquier parte del mundo, se ha desarrollado a partir de esta <sup>única</sup> fuente. Junto con la locomotora de vapor, el arma de fuego y la Biblia cristiana, la ciencia fue exportada de Europa, en los siglos xix y xx, a otros países, como un componente menor de la civilización occidental. En la era del colonialismo e imperialismo, no hubo intento de injertar los métodos e ideas científicas occidentales en el patrón de la filosofía y técnica ya existentes en países como la India o Japón. El sistema completo como se exponía y practicaba normalmente en Cambridge, París o Berlín, debía ser impuesto como un todo. La segunda ley de la termodinámica es una parte integral del paquete de la máquina de vapor.

En este capítulo, echaremos un vistazo a la difusión mundial de la ciencia, que ha tenido lugar durante el siglo pasado. Desafortunadamente, este tema no está bien documentado ni en el pasado ni en el presente. Parece no haber habido ningún esfuerzo académico serio para describir esta difusión como un fenómeno social por propio derecho. Se ha supuesto vagamente que «la ciencia» va junto con la tecnología» y la «industrialización», como un factor, pequeño pero esencial, de la modernización».

### *Ciencia y desarrollo social*

Aun en un país «desarrollado» como Inglaterra, la relación entre investigación científica e innovación técnica no es, en absoluto, tan simple; en un país «en desarrollo», como Brasil, donde casi todas las técnicas de industrialización han sido importadas como proyectos o maquinaria, la relación causal se hace todavía más tenue y oscura. La vasta literatura sobre la organización ideal de la investigación gubernamental en agricultura: sobre la relación costo-beneficio de un complejo nuclear de fertilización, desalinización e irrigación, no nos dice casi nada de las capacidades y entusiasmo de pequeños grupos de in-



dividuos que deben desarrollar estos proyectos deseables. Simplemente se acepta que las instituciones educativas que imiten a Harvard o al MIT, apoyadas en unos cuantos espectrofotómetros automáticos y reactores para investigación, produzcan múltiples bienes. La decepción por los pequeños beneficios de inversiones tan costosas y la consecuente desilusión de la ciencia, como catalizador del desarrollo social, son ahora un factor político importante en el Tercer Mundo. El fracaso por no haber pensado cuidadosamente en la racionalidad de la ciencia en la sociedad moderna, esta ahora teniendo serias consecuencias donde es más doloroso.

### *Australia*

Considerese el caso de *Australia*. A principios del siglo xx, este país a pesar de sus orígenes coloniales recientes, tenía varias grandes ciudades cuyos habitantes seguían el estilo técnico corriente más encumbrado. Las universidades modeladas según el patrón de Inglaterra y Escocia habían sido fundadas en los años 1850 y estaban formadas por florecientes escuelas de Ciencia, Ingeniería, Medicina, etc. Había sociedades eruditas locales: la *Royal Society* de New South Wales fue fundada en 1821. En los años 1920, se estableció una organización gubernamental (CSIRO) bastante buena para la investigación agrícola.

Pero hasta después de la segunda guerra mundial, Australia era un desierto en ciencias físicas. La investigación industrial no existía y la ciencia académica era de muy baja calidad. Holanda o Dinamarca tenían más peso en el mundo científico. ¿Por qué ocurría esto? En parte, porque Australia vivía principalmente de sus productos agrícolas y mineros e importaba la mayor parte de los productos manufacturados. No había casi mercado local del conocimiento que pudieran producir los científicos físicos, ni tampoco incentivo material para darles ayuda financiera. El estímulo espiritual del prestigio nacional

por los logros científicos permanecía también inactivo. Las universidades no tenían escuelas de graduados. Un estudiante capaz se trasladaba automáticamente a Inglaterra para hacer el doctorado en Cambridge y labrarse allí una posición científica. O volvería como profesor a una universidad de Australia, y se establecería tranquilamente, desanimado de la investigación por causa de los escasos recursos y la incompreensión local de su objetivo. Totalmente alfabetizado y con íntimos lazos culturales con Inglaterra y Estados Unidos, ningún australiano podía decir que se le negaba el acceso directo al más elevado conocimiento científico, pero la distancia geográfica, las circunstancias económicas y la relación histórico-política con Inglaterra mantuvo a ese *Bran* continente en un estado de profundo *provincianismo* cultural. La ciencia australiana era débil y fragmentaria, porque nadie creía que pudiera ser un producto local: la física se hacía en el Laboratorio Cavendish o en Gotingen, no en Sydney.

Después de la guerra, todo esto ha cambiado. Medidas políticas deliberadas en apoyo de la investigación universitaria y la creación de nuevos laboratorios gubernamentales han tenido mucho éxito. Muchos científicos australianos de primera categoría que habían vivido en Inglaterra o estaban allí, volvieron a su país para fundar auténticas escuelas de investigación. En radio-astronomía, por ejemplo, Australia ejerce un liderazgo mundial; en muchos otros campos, el trabajo tiene el nivel internacional más elevado. No se necesita calcular algunos parámetros —la producción de trabajos científicos por cabeza, por ejemplo—, para verificar que la ciencia académica australiana ha <despegado>> en los años 1960 y goza de una salud tan buena como en cualquier otra parte del mundo.

Esta transformación fue relativamente fácil porque la vida urbana australiana es esencialmente el modo de vida británico transportado y modificado para adaptarse al clima. Los científicos australianos y británicos pueden trasladarse fácilmente de un ambiente a otro sin ningún choque cultural fuerte. Dadas las adecuadas instalaciones

para la investigación y los eficientes canales de comunicación con el resto del mundo, la mayoría de los científicos australianos prefieren vivir y trabajar en su propio país. Si se consigue que unos cuantos investigadores experimentados se reúnan en su país, surgirá pronto una comunidad intelectualmente estimulante y autosuficiente. En la era del avión de propulsión por chorro, la ciencia en Brisbane o Adelaide no tiene porque ser ya más provinciana que en Aberdeen o Aberystwyth.

Pero, en Australia, la industria privada todavía apoya muy escasamente la investigación. La industria manufacturera australiana está dominada por las corporaciones internacionales *La General Motors*, por ejemplo- que acuden a los laboratorios de investigación de sus propios países de origen para procurarse el conocimiento técnico fundamental y los nuevos inventos científicos. Australia se enriquece así con la acumulación general de la tecnología moderna, pero no contribuye a ella en la proporción debida a la riqueza y educación de su pueblo. La ciencia aplicada en Australia, interesada aun principalmente en la agricultura y en el uso de los productos primarios -la lana, por ejemplo-, se lleva a cabo principalmente en los laboratorios gubernamentales.

### *japón*

Japón es la historia de un gran éxito en el desarrollo industrial. Cuando se abrió de nuevo al intercambio con el extranjero, a mediados del siglo XIX, la cultura japonesa estaba en un nivel medieval. Pero, aproximadamente de 1870 en adelante, hubo una política gubernamental deliberada y racional para importar las técnicas y los conocimientos europeos. Las universidades recientemente fundadas empleaban profesores extranjeros y a muchos japoneses se les enviaba a estudiar al extranjero. Se escogía el país más avanzado en cada técnica especial: Inglaterra para maquinaria, geología y construcción de buques; Francia para biología y matemáticas; Alemania

para física, química y medicina; los Estados Unidos para métodos industriales y agricultura. El rápido éxito de esta política, especialmente en lo que concierne a técnicas militares e industriales, es un hecho conocido de la historia mundial.

Hasta hace poco tiempo, sin embargo, la investigación científica japonesa no igualaba este desarrollo material. Se formaba primariamente a ingenieros y tecnólogos para emplear los métodos y diseños europeos convencionales. Se tenía éxito en la fabricación de acero, construcción de buques, manufactura de aviación y otras técnicas avanzadas, empleando gran número de expertos técnicos cuidadosamente formados, más bien que con la invención de nuevos métodos. Las instalaciones de investigación tanto en la industria privada como en los laboratorios gubernamentales, eran escasas. La acusación de que Japón floreció comercialmente imitando los productos industriales extranjeros es esencialmente justa.

A pesar de su tamaño sustancial, la investigación en las universidades no tenía una base muy firme. Por los años 1930, estaba Japón entre los principales contribuyentes a la literatura científica total del mundo, pero se subvencionaba pobremente la investigación en la universidad y el trabajo era de baja calidad. El puente cultural entre Alemania y Japón no era suficientemente amplio y el intento de transplantar la ciencia occidental a un medio intelectual completamente diferente había sido demasiado precipitado. El estudiante japonés de física, que pasaba unos cuantos años haciendo su doctorado **en Berlín, aprendía** a efectuar las manipulaciones formales del experimento y la teoría, pero, debido a su conocimiento inadecuado de la lengua y a esta brevísima experiencia de la atmósfera de la investigación, no podía llegar a pensar por sí mismo, como un científico independiente. Para decirlo crudamente, la ciencia académica en Japón era principalmente imitativa y carecía del espíritu creativo **de la** filosofía natural genuina. Es interesante observar, como indicador del lugar de la ciencia en la vida japonesa, que **durante la segunda** guerra mundial, se

empleó muy poco los recursos intelectuales de su numerosa comunidad científica. No había armas científicas japonesas que pudieran compararse con la bomba atómica, el radar, los cohetes, los aviones de propulsión por chorro o la penicilina. Los laboratorios universitarios fueron gradualmente transformados en fábricas especializadas de municiones, en vez de ser utilizados para la investigación.

Después de la guerra, sin embargo, la ciencia japonesa ha adquirido una madurez genuina. El cambio a la manufactura del complicado equipamiento electrónico y óptico exigió un gasto mucho mayor en investigación y desarrollo. Los laboratorios de investigación de las grandes corporaciones industriales son comparables en tamaño y calidad a los de sus competidores americanos y europeos. Los científicos y tecnólogos empleados, en número verdaderamente elevado, en la industria japonesa, están bien formados y son muy expertos. Con el excelente aparato técnico que hoy fabrican para sí mismos, pueden investigar tan bien como los mejores del mundo.

Sin embargo, la investigación y desarrollo industrial japoneses están todavía dominados por la vieja política de imitar las nuevas ideas de otros y ponerlas en producción. Es todavía cierto afirmar que Japón fabrica el equipamiento electrónico americano mejor que los americanos, las cámaras de fotografía mejor que los alemanes, los coches italianos mejor que los italianos y los relojes suizos casi tan bien como los suizos. A pesar de tan notables logros como el sistema de ferrocarril y el superbuque cisterna, Japón tiene todavía una balanza comercial deficitaria por pago de regalías de patentes. Si la innovación industrial depende en última instancia de la originalidad técnica y la imaginación creadora del científico o inventor, la vida japonesa entonces no favorece todavía apropiadamente estas habilidades.

La ciencia académica tiene ahora también una calidad de nivel internacional. No está muy claro que medios han utilizado exactamente para lograrlo. Después de la guerra, la ciencia japonesa, en completo caos, estuvo

mucho tiempo aislada de la comunidad científica mundial. Quizá de este período aprendió las duras lecciones de autocrítica e independencia intelectual que hicieron evolucionar una nueva generación de dirigentes que tenían completamente asimilada la actitud científica. No se trató simplemente de mejores recursos materiales. Los laboratorios de las principales universidades están bien equipados para las investigaciones que allí se hace, pero el apoyo financiero para la adquisición de aparatos es todavía bajo comparado con el americano. La gran ciencia de la investigación espacial es débil en Japón, que ha quedado, por supuesto, al margen del armamento nuclear y extravagancias similares; pero en muchos campos menos espectaculares, sus científicos figuran entre los líderes mundiales.

Por otra parte, son dignas de consideración las cualidades características de la investigación japonesa: la meticulosa observación, la destreza, la diligencia técnica y la crítica bien informada. La vida académica japonesa, protegida por las barreras geográficas y del idioma de la informalidad y espontaneidad infecciosas de la comunidad intelectual americana, da poca importancia al estilo de investigación artístico, intuitivo, especulativo. Pero esto puede ser también una consecuencia del laborioso sistema académico alemán, según el cual históricamente la ciencia japonesa se moldeó en su origen; en todo caso, el alto nivel de pericia y el espíritu crítico son una base nada mala para futuros logros científicos.

### *India*

Los funcionarios ingleses que tenían afición a la historia natural llevaron la ciencia europea a la *India*. Para dar satisfacción a necesidades civiles y militares, el Gobierno británico estableció estudios geodésicos, geológicos y botánicos, servicios médicos y sanitarios, y escuelas de Ingeniería. Pero hasta los años 1920, no hay en absoluto ningún intento de investigación que pudiera

ser valiosa para la industria. En las escuelas y universidades, solo se daba un conocimiento superficial de la ciencia.

Esto nos sorprendera poco si consideramos la actitud oficial hacia la educacion cientifica en la Inglaterra de ese tiempo. El ideal de un graduado en Artes, con una formacion bien redondeada en los Clasicos o en Historia, habia sido exportado a la India el siglo xix, y siguio vigente mucho despues de que en Inglaterra misma se consideraba anticuado. Algunos afirman que esta forma peculiar de educacion se imponia deliberadamente en la India para producir funcionarios gubernamentales dociles; sea de esto lo que fuere, la verdad es que ha dominado desde entonces las universidades de la India.

Sin embargo, en los años 1920, hubo un florecimiento espectacular del nativo talento cientifico hindu. La figura dominante fue C. V. Raman (1888-1970), personalidad fascinante en el viejo estilo de «hombre de ciencia», interesado en toda suerte de fenomenos naturales. Fue un aficionado cuya obsesion por la investigacion le llevo de una carrera confortable en la administracion civil a un profesorado pobremente pagado en Calcuta y finalmente a la fama internacional y al Premio Nobel de Fisica. Por un azar historico, la Universidad de Calcuta se convirtio en el manantial del que surgieron fisicos tan distinguidos como S. N. Bose (1894- ) y M. N. Saha (1893-1956). La mayoría de los miembros de este grupo pasaron cortos periodos en el extranjero, pero es justo decir que su formacion cientifica basica en educacion e investigacion, era hindu. Mirando la ciencia academica en India, en ese periodo, se podria haber considerado razonablemente que Calcuta, Madras, Lahore y Bangalore eran un embrion de Harvard o Gottingen que predecian un renacimiento inmediato de la cultura cientifica de la India.

La India tiene ahora una numerosa comunidad cientifica, pero las expectativas que se hacian sobre ella no se han cumplido plenamente. En los años 1930, la fisica estaba, en todas partes, todavia en la epoca primitiva (pagina 239). Los aparatos eran simples, baratos y, en

gran medida caseros. La pobreza material de las universidades indias no era obstaculo insuperable para una buena investigacion fundamental. Habia tambien una actividad muy personal, en el estilo del academico particular, que no necesitaba un equipo de trabajo ni accion corporativa. La ciencia india en la epoca de Raman, carecia, segun parece, de cohesion mas alla de la esfera de cada profesor con sus ayudantes y alumnos. Algunos «agakanes» inhibieron, imponiendo una ruda lucha por los nombramientos academicos y una conducta autocratica, el crecimiento de un verdadero espiritu comunitario. Anticuada en estilo y sin una base industrial para darle un significado, la ciencia academica en la India estaba a la merced de individuos pendencieros y de circunstancias economicas externas. La expansion de la actividad cientifica desde la independencia nacional no estuvo bien orientada: los recursos se distribuian muy inequitativamente y los niveles cientificos variaban mas que en otras grandes naciones.

En la cima, encontramos unas cuantas instituciones elitistas de calidad inigualada en personal, equipamiento y resultados de la investigacion. El caso mas conocido es el *Tata Institute for Fundamental Research* (Instituto Tata de Investigacion Fundamental) en Bombay. Fue fundado en 1945 por Homi Bhabha (1909-1966), que habia vuelto a la India despues de una brillante decada en Cambridge como fisico teorico. Los contactos con la familia millonaria Tata y las relaciones personales con Nehru le proporcionaron el dinero y la autoridad para formar un «Centro de Excelencia\* de fisica basica, en la India. En terminos cientificos, el Instituto Tata ha tenido un completo exito y es un motivo justo de orgullo. Sin embargo, la atencion dedicada a la mas insignificante rama de la ciencia pura no es saludable para un pais que tiene una investigacion tan deficiente en puntos practicos fundamentales. El personal tiende a descuidar y a no involucrarse en los problemas generales de la ciencia en su pais. De modo caracteristico, muestran su falta de confianza en la ciencia india publicando todos sus trabajos en America, Inglaterra o en otras revistas extranjeras.

En el siguiente nivel podríamos situar los Institutos indios de Tecnología, fundados los años 1960 para dar una formación compleja en ingeniería. A través de sus relaciones con países avanzados concretos, los institutos están razonablemente bien equipados y han podido atraer cierto número de científicos indios que habían estado trabajando algunos años en el extranjero. Es todavía incierto si la «fuga de cerebros» fue dañina a la larga, para la ciencia o para la sociedad india. Perder hombres cualificados puede ser muy peligroso, pero, dado que los trabajos de investigación abiertos previamente para ellos en la India, no están adecuadamente respaldados con instalaciones y materiales, no es obvio que estos científicos hubieran hecho mucho más si se hubieran quedado en su país. Puede ser más significativo que aquellos que finalmente regresan a la India, traigan consigo los niveles científicos, el estilo de investigación y los métodos técnicos de Berkeley, Oxford, Harwell, o de los Laboratorios Bell, donde han ocupado puestos de responsabilidad. El hecho de que los científicos indios hablen corrientemente inglés y compartan mucho de la cultura básica del mundo angloparlante, les da un acceso más inmediato a la ciencia y sociedad americanas e inglesas que a sus contemporáneos japoneses. Si la ciencia india de los años 1920 estaba modelada según la pauta de Oxbridge y la *Royal Society*, los años 1960 y 1970 se está orientando según los modelos del MIT y de la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos.

La investigación en la industria privada india está todavía bastante muerta. Para llenar este vacío, el Gobierno ha erigido un gran número de nuevos laboratorios de aeronáutica, física del estado sólido, energía atómica, etc. Pero estos laboratorios son de calidad muy desigual. No tienen los expertos en ciencia aplicada para administrarlos. Los graduados universitarios que se integraron a ellos con un título de doctor o una licenciatura en Ciencia, son tan ingenuos científicamente y socialmente, que solo una dirección energética podría hacerlos útiles. Con bajos salarios, instalaciones inadecuadas y una buro-

cracia cancerosa, es poco sorprendente que hayan defraudado las esperanzas que se tenía cifradas en ellos. Pero aquí también, la inyección de fuertes dosis de experiencia extranjera aplicada por los científicos que han vuelto del extranjero, y las presiones de la realidad económica y técnica según se va industrializando la India, están teniendo su efecto.

En peor posición están las universidades y escuelas. Cargadas con masas de estudiantes, con poco personal, edificaciones y equipamiento, desorganizadas frecuentemente por huelgas y desmoralizadas por el alto nivel de desempleo de graduados, pueden escasamente ser consideradas centros inspiradores de un alta ciencia. Los aparatos para la investigación —sobre todo para la enseñanza— son enteramente inadecuados y anticuados. Los físicos universitarios indios se concentran en el trabajo teórico, porque no tiene aparatos para hacer los experimentos y ni siquiera computadores para evaluar sus fórmulas. Los *currícula* científicos son muy formales, abstractos, anticuados; pero la organización colegiada de las universidades hace la reforma casi imposible.

Sin embargo, queda en pie una conmovedora devoción al ideal del intelectual que distribuye su tiempo entre la enseñanza y la investigación. Muchos profesores y catedráticos jóvenes tienen largas listas de trabajos publicados y existe una feroz competencia por la promoción académica basada en los trabajos publicados. Gran parte de esta investigación es muy académica y vulgar, pero cuando se acepta para publicación una revista científica inglesa o americana; pero la actividad incansable y el vigor intelectual que la producen, no están en tela de juicio. En varios lugares, en varias universidades, algunos excelentes científicos están luchando para que se les reconozca. Si estas personas de talento se abriesen a una visión algo más amplia de sus especialidades científicas y se les diesen los recursos materiales de que gozan sus contemporáneos europeos, entonces la India llegaría a ser pronto una potencia importante en la ciencia básica. La pobreza de toda la nación confina sus habilidades creativas. Si estas

habilidades pudieran orientarse más directamente para el enriquecimiento del pueblo, entonces se podrían también desatar rápidamente esas ataduras.

La sociedad india en su conjunto casi no comprende el significado y el poder de la investigación científica y tecnológica. La comunidad científica india es demasiado grande y fragmentaria para actuar como una fuerza significativa e independiente. La gama de capacidades y habilidades que cubre es demasiado amplia y la actitud general hacia la ciencia es demasiado libre y irreal. Pero se encuentran ahora en la India muchos científicos técnicamente competentes, bien motivados, críticos e imaginativos, capaces de emprender o dirigir una investigación de primera categoría en todos los campos. En este grado, la difusión de la ciencia moderna en la India es un hecho histórico cumplido.

#### *Problemas de la ciencia en el Tercer Mundo*

El crecimiento y difusión de la ciencia es evidentemente un proceso complejo, con características muy diversas en los diferentes países. El mero factor del desarrollo industrial no es una explicación suficiente; las fuerzas generales culturales, económicas y políticas son también significativas. En el caso de *Canadá*, por ejemplo, la proximidad del Tío Sam a lo largo de la frontera es el principal factor. En *Brasil y Argentina*, debemos tener en cuenta la incompetencia económica y la brutalidad política, al explicar la debilidad de la comunidad científica. Respecto de China, nadie sabe por ahora si la decisión de poner la ciencia al servicio del pueblo ha tenido éxito o cuál ha sido el efecto en los niveles de investigación de dos décadas de aislamiento.

#### *Un país imaginario con problemas reales*

El Estado de *Saturnia*, pues, no se encuentra en el mapa, aunque ha sido miembro de las Naciones Unidas desde que consume su independencia nacional. Poco puede decirse de él: es un país muy pequeño, con 20 millones de habitantes pobres, analfabetos en su mayoría, ocupados en vivir, lo mejor que pueden, sus vidas concretas. Las modestas instituciones de educación superior, heredadas del pasado, se han transformado en grandes universidades, abarrotadas de estudiantes que buscan calificaciones formales para trabajos permanentes como funcionarios gubernamentales o maestros. A la mayoría de ellos, por lo tanto, poco les importa que los cursos escolares no hayan cambiado desde hace medio siglo; tampoco que cada materia se enseñe, separada y dogmáticamente, como material para memorizar y reproducir fielmente en época de exámenes.

El número de estudiantes de ciencia pura es, de hecho, muy pequeño, pero suficiente para reemplazar a los profesores que los enseñan. En efecto, lo que debía sorprender es que aún haya estudiantes de ciencia, puesto que esta es la materia peor enseñada en las escuelas secundarias, por las cuales pasa toda la *intelligentsia* de Saturnia. La carrera del posible profesor universitario no es, en principio, muy atractiva. Durante 10 años será ayudante docente y debe manifestarse sumiso y obediente a toda indicación de su catedrático, pasar numerosos exámenes para probar su conocimiento detallado de todos los aspectos de su materia que en algún momento fueron de interés científico, y asegurar que un número suficiente de publicaciones hayan aparecido firmadas con su nombre. Pero, después, convertido en catedrático, vivirá muchos años de comodidad, con un salario modesto de clase media, que puede acrecentar prestando su nombre para este o aquel anuncio comercial o documento político; mantendrá así las pautas sociales de su profesión académica sin demasiado esfuerzo intelectual.

El principal obstaculo para la promoción automatica en esta posición socialmente prestigiosa, es la necesidad de hacer algo llamado «investigación». En este primer estadio de su historia como nación independiente, Saturnia no tiene escuelas de graduados que otorguen el doctorado. Es necesario, por lo tanto, emprender en el extranjero estudios avanzados. Armado con una beca del Gobierno, el joven científico brillante parte a Estados Unidos, a la Unión Soviética, o al país metropolitano de los tiempos coloniales, en cuyo lenguaje ha sido formado. Durante tres, cuatro o cinco años vive más o menos como cualquier otro estudiante graduado de una gran universidad -Chicago, Moscú, París-, como miembro de un equipo de investigación de un profesor famoso internacionalmente, trabajando con los aparatos más modernos y complejos sobre el problema más novedoso en la auténtica vanguardia del conocimiento. Ha conquistado denodadamente su doctorado, pero su esfuerzo ha sido compensado: su nombre aparece entre los autores de varios trabajos en las revistas de mayor fama, y su tesis es la prueba de que ha seguido con éxito un aprendizaje en análisis cristalográfico de proteínas, en diseño de cohetes espaciales o en lógica matemática.

Al volver, así equipado intelectual y psicológicamente, a su país nativo, se dispone con entusiasmo a ulteriores investigaciones en la misma línea. Pero, por desgracia, los recursos de Saturnia son bastante inadecuados para tan delicadas tareas. Los aparatos científicos son bastos y obsoletos. Los técnicos de laboratorio son pocos más que barrenderos. El dinero para equipamiento y materiales llega en cantidades ridículas. El reglamento de importaciones retrasa en meses el gasto de unos cuantos dólares en piezas menores de recambio para los instrumentos importados. Los libros y revistas nuevos llegan años después. Los procedimientos burocráticos administrativos obstaculizan toda iniciativa y consumen la mitad del tiempo de trabajo diario. Aunque los cursos son anticuados en contenido y estilo, la tarea docente es pesada y colegas menos emprendedores están celosos de sus logros en la

investigación. El nepotismo, la presión política, el favoritismo profesional y las intrigas internas de la universidad le niegan la promoción académica merecida y amargan su espíritu. Es totalmente consciente de que sus intereses en la investigación no tienen raíces en su propio país. Lo peor de todo es el aislamiento de la comunidad científica a la que perteneció por algún tiempo, llena de espíritu competitivo, críticamente exigente, pero estimulante. Aunque ha escrito unos cuantos trabajos triviales, sucumbe a las presiones locales y toma con alivio el pasatiempo de jugar al juego de la oca académica o, desesperado, escribe a su antiguo supervisor de investigación y obtiene un trabajo científico en un país técnicamente desarrollado, participando así en la «fuga de cerebros».

Sin embargo, un día, tuvo los talentos para constituir un auténtico beneficio para su país. Los recursos naturales de Saturnia, explotados adecuadamente, podían enriquecer al país. El dinero para el desarrollo económico no falta del todo y muchas fábricas están produciendo bienes para el mercado local. Pero estas industrias dependen del capital y tecnología extranjeros. Fábricas enteras, incluidos muebles de oficina, libretos de instrucciones e ingenieros de producción, son importadas como proyectos del tipo «de vuelta a la llave», listas para encender los aparatos de radio, subir las cremalleras de Saturnia, tocando un botón. Los científicos de Saturnia no son contratados para adaptar las técnicas existentes al uso local o para inventar nuevos productos. Los expertos extranjeros traen el conocimiento técnico; los nativos contribuyen meramente con mano de obra barata y una administración costosa e ineficaz.

El Gobierno tampoco ha superado estas deficiencias. Sería enormemente tedioso volver a relatar la saga política de Saturnia durante los últimos años. Políticos demagogos, aventureros financieros y soldados reaccionarios han tenido todos su turno en el poder y todos han demostrado su incapacidad total para entender el lugar de la ciencia en esta nueva nación. La acción policiaca ha conducido al exilio a cierto número de los científicos

académicos más francos y mantiene al resto en un triste y malhumorado silencio. Cada gobierno sucesivo hace subir al poder a un nuevo grupo de coroneles o abogados, con sendas actitudes diferentes frente a la investigación.

En una ocasión, por ejemplo, hubo un plan de largo alcance para transformar a la nación a través de una ciencia y tecnología avanzadas. Se proyectó una red de consejos, institutos, oficinas y laboratorios de investigación; se nombraron directores, se iniciaron algunas edificaciones y se asignaron generosos presupuestos para personal. De este plan, sin embargo, solo sobrevive la *Comisión de Energía Atómica de Saturnia*, cuyo presidente encontró la manera de acomodarse a las exigencias de los sucesivos gobiernos. Su orgullo es un reactor nuclear, comprado por varios millones de dólares a una empresa americana y ahora casi completo. Este aparato, por supuesto, no producirá ninguna energía eléctrica vendible, pues está proyectado como «instalación para investigación». En efecto, la CEAS emplea dos o tres físicos experimentales que están construyendo un aparato para emplear los modestos haces de neutrones que producirá el reactor, cuando llegue a un estado crítico.

Los otros principales proyectos de investigación iniciados en esa época, no han tenido tanto éxito. El Instituto de Investigación Espacial de Saturnia fue violentamente dispersado antes de que pudiera instalarse en su nuevo edificio, y el Programa de Investigación del Cáncer fue liquidado, cuando su director, el famoso saturniano laureado con el Nobel, decidió volver a su antigua cátedra en los Estados Unidos. Pero Saturnia se enorgullece del Laboratorio Nacional de Química, donde se analiza el contenido en arsénico de los desechos de la cervecera local, y de la Oficina Meteorológica Gubernamental, localizada cerca del aeropuerto internacional.

Para muchos saturnianos perspicaces, la debilidad más seria en la investigación gubernamental aparece en el campo de la agricultura, de la que vive, por supuesto, el 90 por 100 de la población. El antiguo poder colonial

estableció, en efecto, cierto número de estaciones de investigación agrícola y granjas experimentales que apoyaban la producción de cosechas de las grandes plantaciones, vendidas al contado para la exportación. Esta investigación continúa. Pero, como hay muchas más bocas por alimentar, se necesita urgentemente variedades de maíz comestible de alta productividad para el consumo local. A pesar de gastos considerables en la investigación agrícola, Saturnia ha progresado poco en esta dirección. En efecto, el número de doctores que actualmente investigan en agricultura es decreciente, puesto que los pocos que eligen estudiar esta ciencia poco inspiradora, prefieren trabajos de escritorio en el Ministerio de Agricultura, en la capital del país.

En el último par de años, sin embargo, ha habido un gran despertar en los círculos gubernamentales de Saturnia a la importancia de la investigación científica. Los estudios sobre el medio ambiente deben ser promovidos, y apoyados solo los proyectos de significación tecnológica. Se ha decretado, por ejemplo, que cada profesor universitario emprenda una investigación sobre un tema importante -sea la detección y eliminación de un contaminante peligroso, sea la invención y manufactura de un aparato técnico agrícola o doméstico. Para cada uno de tales proyectos, se ha propuesto un tiempo de dos años. Entretanto, la investigación académica debe ser prohibida en la universidad durante las horas hábiles de trabajo.

Este informe sobre el estado de la ciencia en Saturnia es necesariamente algo esquemático. Para completar el cuadro, se necesitaría compararlo y contrastarlo con las condiciones existentes en *Neptunia* y *Urania*. Neptunia, en efecto, es tan primitiva, que la reciente creación de una universidad ha sido un hito en la ruta del progreso; el primer doctor de Neptunia habrá de volver en breve, para ser profesor de química. La *República Popular de Urania*, por otro lado, dando un salto al camino de la industrialización, ha incrementado rápidamente su personal científico. Queda por ver si, bajo el liderazgo del



Partido Progresista del Pueblo y su heroica aliada, la Union Sovietica, podra llevar a cabo este proceso sutil con mayor exito que Saturnia.

*La tragica realidad*

Los problemas y dificultades que han sido sugeridos en esta caricatura de la ciencia en un pais en desarrollo no deben ser motivo de risa. Para muchas personas inteligentes, pensantes, patrioticas y sinceras, que luchan por la autorrealizacion e ilustracion de su pais, estas circunstancias pueden ser profundamente tragicas. Los cientificos europeos y americanos no han demostrado siempre mucha simpatia por su posicion. Han formado alegremente estudiantes extranjeros en las mas complejas ramas de la investigacion pura, sin considerar sus futuras circunstancias, para despues aseverar con arrogancia que, por supuesto, lo unico adecuado para esos pafses serfa la ingenieria practica. La maquinaria de las agencias internacionales, como la UNESCO, es demasiado pesada, demasiado intimamente unida a los circulos gubernamentales, para tratar de estas delicadas cuestiones. Las revistas de chismorreio del mundo cientifico, como *Nature* y *Science* no dicen casi nada acerca de la ciencia en el Tercer Mundo: Saturnia no solo es un pais distante, cuyos cientificos cuentan poco internacionalmente; es tambien una cortesia y reticencia convenidas para no hacer todavia mas dificil a los cientificos de Saturnia su lucha para sobrevivir en medio de enemigos locales.

Es de urgente necesidad una discusion mucho mas abierta de estas cuestiones. El lugar de la investigacion basica en el pais en desarrollo no es bastante claro en principio y puede ser muy complicado en la practica. La formacion de cientificos, tecnologos y tecnicos no es simplemente cuestion de crear un gran numero de universidades o institutos de tecnologia, segun el modelo europeo; es necesario discutirla completamente de nuevo. La relacion entre ciencia aplicada y desarrollo industrial y

agricola no puede establecerse por una formula valida para todas las circunstancias politicas y economicas. Si los que deben tomar decisiones sobre estos asuntos, han de actuar sabiamente, deben fortalecerse con el conocimiento de la experiencia de otros en circunstancias similares y con un bagaje de propuestas imaginativas de una vasta gama de personas y lugares. Solo la verdad los hara libres.

*Cualquiera que reflexiona sobre este punto, no puede menos de maravillarse de que los filósofos bayou dirigido sus energias at estudio del mundo de la naturaleza, que solo Dios conoce, porque to hizo, y hayan descuidado el estudio del mundo de las naciones que los hombres podian llegar a conocer, puesto que ellos to hicieron.*

Vtco

Dado que la ciencia tiene una inmensa influencia en la sociedad, epor que no resolver todos nuestros problemas con una ciencia *de* la sociedad? Apliquemos el instrumento del metodo científico a los hombres y sus institutions sociales: observemos, analicemos, predigamos y controlemos la conducta humana, como observamos, analizamos, predecimos y controlamos el comportamiento de los electrones y las amebas. Tal ciencia tendri seguramente mayor influencia y eficacia como fuerza social que cualquier nuevo invento mecínico extraño.

Este es un sumo antiguo. Todo reformador social tree y afirma poseer la via racional \*científica» para la felicidad y prosperidad humanas. *La Reprublica* de Platen exaltaba a la filosofia. Thomas Hobbes (1588-1979), en *Leviathan or the matter, form and power o f a commonwealth ecclesiastical and civil* (Leviatin o la materia, forma y poder de una republica eclesiistica y civil), publicado en 1651, *hizo un anilisis* científico del comportamiento politico para justificar la autocracia absoluta. Dos siglos despises, Karl Marx (1818-1883) reivindico la auto-

ridad intelectual del <<socialismo científico>> para sus predicciones revolucionarias. El estudio academico de la politica se llama frecuentemente «ciencia politica», aun para aquellos que enseñan que se trata de un arte intuitive.

Otra frase estereotipada afirma: *Klas ciencias sociales deben ahora encontrar su Newton>>*, indicando que toda la cuestion estd todavia en un estadio muy primitivo e incoherente de desarrollo, sin los poderosos principios unificantes de los cuales puede sacarse firmes deducciones. Se da a entender, por supuesto, que un «Newton\* deberd, en efecto, aparecer finalmente y enunciar las leyes sociales que nos permitirin cartografiar los sucesos politicos con la misma precision con que podemos predecir las conjunciones de los planetas, y sentarnos a disefiar una nueva sociedad, como podriamos disenar un nuevo avion.

Hasta que llegue ese dia feliz, sin embargo, debemos actuar del mejor modo posible con lo que pueden descubrir *hombres de menor envergadura*. Existe un vasto cuerpo de conocimientos bajo el titulo de ociencias sociales y del comportamiento> , que comparte muchas de las características de las ciencias físicas y biológicas, y que estudia al hombre como set social. Es imposible aqui, por supuesto, intentar resumir el contenido de estas disciplinas -antropologia, sociologia, psicologia social, economia, etc.-, pero dejariamos incompleto nuestro tema principal, si no tratiramos de decir algo acerca de sus reivindicaciones generales de ser consideradas vlldidas científicamente y sobre su papel en la sociedad misma.

#### *Gran teoria*

Podriamos comenzar con un punto de vista que esti mis cerca de la escoldstica medieval que de la ciencia moderns: el intento de definir una estructura teorica formal, dentro de la cual -segtin se supone- encajan todos los fenomenos sociales observables. No es ficil dar

un ejemplo sencillo de este tipo de sociología, porque todo el sistema se expone normalmente en un lenguaje general muy abstracto y difuso, de tal modo que todo párrafo independiente parecería sin sentido. Precisamente porque el comportamiento humano tiene una significación subjetiva y emotiva tan grande para el observador humano, se siente la necesidad de describirlo con una fraseología neutral y definirlo por axiomas explícitos y deducciones formales. Precisamente por la inmensa variedad de circunstancias que inciden en los sucesos sociales reales, el estilo es seco y abstracto para acentuar la generalidad de los fenómenos en cuestión. Sin duda el estudiante serio tiene cierta visión de conjunto, cuando domina el sistema teórico, pero, como este no dice en absoluto casi nada acerca de ninguna situación social concreta y casi todo enunciado dentro de la teoría resulta verdadero por definición, no puede ser verificado o falseado apelando a la experiencia. Nadie que tenga una formación ordinaria en investigación científica puede sentirse defraudado por un intento de imitar el estilo de la física axiomática teórica, ¡una disciplina, de todas maneras, bastante estéril!

#### *Descripción histórica*

Sin embargo, si queremos hacer algún progreso en la investigación de problemas más limitados, es necesario tener un cuadro general de los funcionamientos de la sociedad humana. Este cuadro lo pintan con detalle los *historiadores políticos, sociales y económicos*, y otros expertos académicos. Así como vivimos en un planeta concreto y en un universo cuyos caracteres han explorado y cartografiado geógrafos y astrónomos, vivimos también en países concretos, en una comunidad mundial cuyas características e instituciones sociales deben ser descubiertas, descritas y registradas. Los «hechos» brutos no constituyen una ciencia muy viva, pero deben ser conocidos y aceptados, si la «teoría» ha de tener alguna base

en la realidad. La afirmación de que entre el reinado de Carlos I y el de Carlos II se dio el gobierno de Oliver Cromwell, constituye un elemento del conocimiento científico, como el hecho de que el Mediterráneo este separado del Atlántico por el estrecho de Gibraltar, o que la cabeza del caballo se une al tronco a través del cuello. Cualesquiera sean las teorías que podamos eventualmente construir para explicar estos hechos, estos siguen en pie.

Sorprende poco, sin embargo, que historiadores, economistas y filósofos de la política hayan intentado ordenar estos hechos en estructuras teóricas. La historia sería meramente una sucesión infinita de investigaciones detectivescas, si solo fuera un registro de los «crímenes, locuras y desgracias de la humanidad». Tales teorías, como las del geólogo o cosmólogo que interpreta los rastros de sucesos muy distantes en el espacio o en el tiempo, han de ser probablemente muy especulativas, pero sirven para enfocar investigaciones ulteriores.

Considerese, por ejemplo, los escritos de Herbert Spencer (1820-1903), influencia intelectual dominante en la Inglaterra victoriana. Contemporáneo de Darwin (pág. 111), desarrolló sus ideas propias acerca de la evolución de las organizaciones sociales por analogía con los organismos biológicos. En la era del Progreso, describió la transformación histórica de las comunidades primitivas en civilizaciones industrializadas como un proceso afín al origen y transformación de las especies biológicas, que regían los principios de la selección natural y de la supervivencia del más apto. Ahora consideramos este modelo biológico del cambio social demasiado simplista e ingenuo, pero dio cierta coherencia a un vasto cuerpo de diversas informaciones sobre muchas sociedades diferentes y puso de relieve que toda sociedad, como todo organismo, es una estructura de partes interdependientes, cada una de las cuales tiene una función diferenciada en la vida del todo. En aquel tiempo, como hoy, esta descripción simplista no había que aceptarla como un dogma, ni más ni menos que, digamos, la teoría de la gran explosión para explicar el origen del Universo o cualquiera de la docena

de hipótesis referentes a los orígenes del sistema solar; para no hablar de que una buena metáfora puede ser una gula más valiosa para el pensamiento que todo un volumen de «datos».

### *Antropología*

A finales del siglo XIX, empezó a verse con atención muchos aspectos de la sociedad humana que habían sido descuidados por los historiadores, cuyo objeto de estudio eran solo comunidades alfabetas. Fue recogido un vasto cuerpo de información sobre mitos, grupos totémicos, sistemas de parentesco, costumbres de matrimonio, ritos de iniciación, etc. La antropología social se parece un poco a la historia natural: prescindiendo de lo que a cada uno gustaría probar teóricamente, su objetivo principal es registrar con veracidad las diferentes maneras en que los hombres se comportan realmente en diferentes sociedades. Los biólogos modernos parecen despreciar la taxonomía, pero sin un adecuado conocimiento sistemático de las diferentes especies existentes en la naturaleza, sería muy difícil realizar una investigación fiable en fisiología o patología. Sabemos hechos, que todas las sociedades humanas, sean primitivas o civilizadas, tienen caracteres estructurales bien definidos y bastante permanentes, que pueden ser comparados y clasificados de diversas e instructivas maneras. Se trata, pues, también de una tarea científica auténtica que requiere capacidad y pericia profesionales, especialmente cuando debe recabarse la información en una lengua extranjera, en circunstancias físicamente incómodas.

Debe admitirse, sin embargo, que esta masa de información no ha sido ordenada según ninguna teoría general, universalmente aceptada. Los antropólogos sociales o culturales de diferentes escuelas de pensamiento ponen de relieve diferentes aspectos del comportamiento social y enfocan su investigación para confirmar múltiples hipótesis y principios teóricos. Pero los datos son extremada-

mente cualitativos; es muy difícil asignar valores numéricos al material sobre rituales y mitos, parentesco y prácticas de crianza de los niños, y no puede verificarse las relaciones causales mediante experimentos. El problema de encontrar pruebas convincentes que lleven a la aceptación o rechazo de una conjetura es, por tanto, casi insuperable. En este campo, la línea de demarcación entre especulación científica válida y fantasía poética no es neta, no porque los antropólogos carezcan de «actitud científica», sino porque están tratando de entender fenómenos muy profundos y difíciles.

Sin una teoría precisa y fiable, la antropología no es capaz de predecir las consecuencias de acciones políticas tales como la propaganda para el control de natalidad o la reforma de la tenencia de la tierra. ¿Es, entonces, meramente una disciplina académica inútil, sin resultados prácticos? A esto puede quizás responderse que el conocimiento de las costumbres sociales de un grupo concreto de hombres es sumamente valioso para la relación con esos mismos hombres. Muchos de los crímenes que las naciones «civilizadas» han cometido en contra de los «salvajes» se han debido a ignorancia, prejuicio y malentendimiento de sus maneras nativas y sus valores culturales. Como observador, el antropólogo no tiene el deber de intervenir en los conflictos políticos entre sociedades diferentes; pero, como intérprete de una cultura a otra, puede eliminar algo de la irracionalidad de tales conflictos. Por ello, el «Proyecto Camelot», una empresa abortada del Departamento de Defensa de Estados Unidos, fue tan mal dirigido. Era manifiestamente un intento de estudiar detalladamente los factores que podrían llevar a un cambio social violento, a la insurgencia y a la guerra civil en un país como Chile. Los sociólogos, antropólogos, economistas, etc., no estaban implicados en una investigación pura desinteresada, sino que debían sugerir las maneras de tomar la mejor acción política contra tal cambio. Este proyecto partidista fue, por tanto, una corrupción grave de la neutralidad de estas disciplinas aca-

demicas y puso en duda las credenciales de cientos de honestos científicos sociales americanos que trabajaban en muchos países extranjeros.

### *Economía*

La única ciencia social auténticamente *cuantitativa* es la *economía*. Tratando de reducir todas las relaciones sociales a la medida singular del dinero, la economía aspira a la precisión de la física. Dado que muchas de las relaciones reales en una civilización industrial desarrollada se expresan en salarios o precios, este es un objetivo científico razonable.

Podemos considerar que, de hecho, la economía es una ciencia desarrollada a partir de una tecnología. Durante muchos siglos, ha habido comerciantes, banqueros y tesoreros reales que han practicado el oficio de la contabilidad, que han aprendido el arte de colocar fondos en la inversión más beneficiosa. La economía es a la contabilidad, lo que la física a la ingeniería. Los directores financieros de un negocio de manufactura deben conocer por experiencia como se manejan factores tales como los valores inmobiliarios, las tasas de interés, las reservas de impuestos, que están ultimadamente determinados por fuerzas económicas; los ingenieros diseñan la maquinaria según reglas prácticas, sometidas finalmente a las leyes de la física. Un economista no es necesariamente un financiero competente, como un físico no es necesariamente un buen ingeniero; pero, en todo caso, la ciencia teórica sería estéril si no tuviese algunos vínculos con las técnicas materiales.

La economía es, por lo tanto, una ciencia muy aguda, con una auténtica capacidad predictiva en el campo de la acción social. El principal ejemplo de esta capacidad en nuestro tiempo es la teoría económica de John Maynard Keynes (1884-1946). La gran depresión económica de los años 1930 fue, para el pueblo de casi todas las naciones capitalistas, un desastre comparable a la gran guerra. Diez

millones de hombres quedaron sin empleo y las familias pobres vivían en una terrible miseria. Keynes arguyó, como una deducción de la alta teoría económica, que este mal podía evitarse mediante un cambio deliberado en la política gubernamental; en realidad, trocando los principios de la economía familiar ordinaria y gastando mucho en tiempos malos. La política funcionó: sea cualquiera el juicio que hagamos sobre la justificación teórica detallada de la economía keynesiana, el grave problema de la depresión económica parece haber sido largamente resuelto con una aplicación de esta rama de las ciencias sociales.

Observese, sin embargo, que, aunque Keynes empleaba el razonamiento matemático, no pudo calcular las consecuencias de las medidas políticas que proponía. Siendo el mismo no solo un economista académico, sino también un financiero práctico muy hábil tuvo una captación acertada de las realidades sobre las que basaba sus argumentos teóricos; pero sus ecuaciones matemáticas contenían muchos términos imponderables, como la «preferencia de liquidez», que nunca pudieron ser medidos directamente. Las fuerzas económicas dependen, en última instancia, de los juicios, valores y preferencias humanas; no hay un método absoluto para comparar unas vacaciones en Mallorca con una lavadora automática. Las controversias auténticas entre economistas no estriban en detalles de álgebra, sino en los valores que debe asignarse a los objetivos políticos y sociales, que no puede resolverse introduciendo todavía términos en las ecuaciones. En el reino de la teoría general, la analogía con la física se interrumpe: a diferencia de las leyes fundamentales de la naturaleza, las leyes económicas son en gran medida lo que los hombres hacen de ellas.

Pero en la búsqueda de rigor científico en las ciencias sociales, podríamos tomar nota de dos nuevas técnicas de teoría económica. La *teoría de juegos* es un intento de establecer modelos muy simples de ciertos tipos de sistema económico y estudiar muy cuidadosamente su comportamiento preciso. Un modelo de competencia econo-

mica, por ejemplo, podría consistir en dos jugadores\* que haven alternativas para ganar apuntos., según reglas preestablecidas; el problema matemático consiste en descubrir la estrategia «óptima\* de cada jugador, teniendo en cuenta las jugadas más probables del contrario en cada estadio. El estudio de tales modelos, iniciado por John Von Neumann (1903-1957), uno de los talentos más importantes en matemática aplicada de nuestro tiempo, condujo a muchos nuevos resultados matemáticos y, en algunos casos, a entender teóricamente fenómenos tales como la formación de coaliciones entre grupos de jugadores, que parecen reflejar los de la vida real económica y política. Este es claramente un procedimiento muy fecundo para probar la lógica interna y la consistencia de un modelo conceptual de sistema social, pero no prueba que los sucesos deban ocurrir como el modelo parece predecir. La aplicación de la teoría de los juegos a los problemas de estrategia militar (pág. 368) es, sin duda, un ejercicio intelectual interesante que nos dice mucho, por ejemplo, sobre las presunciones centrales de la estrategia de disuasión mutua, pero no puede ser tomada como una guía científica seria, a través de los terribles laberintos de la diplomacia y la guerra.

Otra técnica económica es el *análisis de entradas y salidas*. Se construye una «matriz\* para mostrar el flujo de bienes y materiales de una industria a otra. Supongase, por ejemplo, que se usa acero por valor de 50 millones de libras anuales para hacer motores de coches. En la intersección de la línea etiquetada como «industria motriz» con la columna etiquetada como «industria del acero\*», anotamos esta cifra. Si se puede recoger suficientes datos para llenar esta matriz, varios cientos de líneas y columnas, tendremos entonces un plan muy coherente de toda la economía. La manipulación de los números —en la práctica con un computador electrónico—, proporciona respuestas numéricas a muchas cuestiones prácticas referentes a los efectos probables de nuevas inversiones, cambios en el sistema impositivo, etc. Es difícil determinar si esto es una nueva y brillante aplicación de

la economía académica o un ejercicio refinado en el viejo arte de la contabilidad, pero ciertamente desempeña ahora un importante papel en la planificación política y económica. Desgraciadamente, los datos cuantitativos que entran en las ecuaciones son normalmente muy imprecisos y contienen grandes errores de muestreo y muchos factores empíricos de escala. Los resultados de los cálculos *no* son muy fiables en la práctica: aun las predicciones más obvias pueden ser bastante erróneas. Debemos recordar siempre, además, que la contabilidad solo describe los hechos dados y no nos dice nada acerca de cómo se comportan los hombres o cómo podría esperarse que se comportaran en circunstancias históricas diferentes.

### *Estadística social*

~Es posible obtener otros datos cuantitativos genuinos respecto de la sociedad? Aun cuando no podamos *medir*, siempre nos es posible *contar*. El censo de un pueblo, los registros de nacimientos, matrimonios y defunciones, la serie de estadísticas sobre ingresos, beneficios, rentas, tamaño o de las granjas, número de cuartos de baño, de grados escolares aprobados, de robos, suicidios, camas de hospital, etc., son actividades a gran escala que realizan muchas organizaciones públicas y privadas. Gran parte de esta información se usa para propósitos puramente prácticos —comprobar que un mercado existe, que un trabajo ha sido realizado o medir la eficacia de un servicio existente. Pero rara vez se pueden discernir los usos tecnológicos políticos y científicos de tales datos. Considerese, por ejemplo, una de las primeras y más famosas «encuestas sociales»: Charles Booth (1840-1916), *Labour and Life of the People, East London* (Trabajo y Vida del Pueblo, Londres Este), publicado en 1889. Usando los informes de los inspectores de la Oficina de Escuelas, Booth pudo obtener los datos sobre ingreso y empleo de todas las familias de la zona. Su propósito científico consistía en demostrar

la relación entre condiciones de empleo y pobreza, especialmente entre el 7,5 por 100 de la población, cuya entera subsistencia dependía de salarios eventuales. Y mostro tan eficazmente el grado de pobreza extrema y la imposibilidad de aliviar esas condiciones por la caridad privada, que su obra tuvo una influencia política importante en la legislación sobre pensiones de vejez, seguros de enfermedad, relaciones laborales, etc. El valor real de tales estudios estadísticos no reside en la confirmación de teorías sociológicas, sino en que dan a conocer hechos fundamentales sobre las circunstancias reales en que vive el pueblo. Destacando la necesidad de datos fiables y objetivos acerca de individuos e instituciones, las ciencias sociales y del comportamiento ejercen una influencia de primer orden en el realismo y racionalidad con que deben actuar el gobierno y la política.

#### *El problema de la inferencia estadística*

La cuestión difícil versa sobre la posibilidad de sacar conclusiones teóricas tiles del análisis de tales datos. Aplicando técnicas de estadística y calculando los coeficientes de correlación entre las frecuencias observadas de ocurrencia de diversas características individuales, ¿podemos hacer generalizaciones significativas acerca de la naturaleza del hombre y de la sociedad? Por ejemplo, hace veinte años, la correlación observada entre el uso excesivo del tabaco y las enfermedades pulmonares era muy elevada; parecía darse una frecuencia mayor de muertes por cáncer pulmonar entre los fumadores de varios paquetes de pitillos al día, que entre los no fumadores. De esta observación estadística, se infirió -casi ciertamente con razón- que fumar podía ser una causa importante de enfermedades pulmonares. Es bien sabido y lógicamente correcto que ninguna relación causal de este tipo puede ser *probada* con datos estadísticos; sin embargo, la mayoría de los científicos estarían de acuerdo en que se trata de un argumento científico válido. &ue-

de darse el mismo peso a observaciones similares de altas correlaciones entre características sociales, de comportamiento o biológicas, cuando las circunstancias imposibilitan llevar a cabo un experimento directo para probar una cuestión?

Puede no haber ninguna respuesta mecánica a este tipo de preguntas. Ninguna dosis de ingenio en el manejo de los datos puede realmente decirnos si la relación observada es un nexo causal directo, se debe al azar, a un defecto de muestreo o a un factor común no observado. El punto esencial es pensar en el mecanismo real de la correlación e investigarlo. El nexo entre fumar y tener cáncer pulmonar parece únicamente demasiado obvio -inhalación de partículas de humo químicamente activas a los pulmones-, aunque algunos profesionales de la estadística académica sienten un placer casi perverso en inventar todo tipo de mecanismos peculiares que habrían posiblemente producido el mismo resultado estadístico. Se dijo, por ejemplo, que las personas con una tendencia innata a desarrollar el cáncer pulmonar, podrían también ser proclives a un uso excesivo de la nicotina; lo cual no es más improbable que muchos fenómenos bioquímicos o médicos aceptados. Hablando con rigor, el empleo adecuado de los métodos estadísticos es *probar* hipótesis teóricas, no generarlas a partir del computador. La estadística demostro claramente la falsedad de la hipótesis de que «fumar no puede ser una causa del cáncer pulmonar», pero esto solo podría ser el principio de una investigación mucho más detallada.

Ejemplo del uso apropiado de la estadística en sociología es el argumento central del famoso libro sobre el *Suicidio* de Emile Durkheim (1858-1917). Una hipótesis obvia es que el suicidio se da cuando un hombre padece un estado mental depresivo, debido a desgracias personales, como la muerte de una persona amada o la bancarrota. Se esperaría, por lo tanto, que la tasa de suicidios fuera mayor durante la guerra o durante una depresión económica que en tiempos más «normales». La estadis-

tica demostro otra cosa. La incidencia del suicidio *des-ciende* realmente durante la guerra y puede ser tan elevada en un periodo de apogeo economico como en uno de derrumbe. La demostracion de que esta expectativa ingenua era falsa fue un descubrimiento sociologico muy sorprendente que condujo a Durkheim a una manera completamente nueva de considerar la relacion del individuo con la sociedad. Debe admitirse, sin embargo, que su observacion ulterior de que la tasa de suicidio es mas elevada entre protestantes que entre catolicos, ha sido interpretada de muchas maneras diferentes, sin que se haya llegado a una conclusion cierta.

### *Indicadores sociales*

Una de las dificultades que se presentan incluso a la hora de contar los fenomenos sociales <objetivos> es encontrar un modo adecuado de definir las categorias y sumar las cantidades. Supongase, por ejemplo, que queremos construir un <<indicador social>> del numero de <<delitos>> en un pais o region dados -quiza para demostrar que una medida politica particular tiene efectos favorables. De 'los informes de la policia, sacamos los datos que muestran el numero de < actos susceptibles de penalizacion legal>> por aiiio, de 1920 a 1970. Observamos que esta cifra se eleva mas rapidamente que el crecimiento de la poblacion. ~ Significa esto que la gente se esta haciendo menos temerosa de las leyes? No necesariamente. Puede significar que los informes policiacos estan siendo archivados con mayor cuidado, que se esta arresando una proporcion mayor de delincuentes o quiza que la ley ha sido de tal modo cambiada, que la categoria de <<actos susceptibles de penalizacion legal>> incluye ahora muchos que antes se consideraban como infracciones menores de la ley. Podria deberse el aumento a la inclusion de un gran numero de infracciones de trafico que de ninguna manera son del mismo tipo de fenomeno social que los robos o pleitos de borrachos. El

homicidio es obviamente un crimen muy serio; Zdeberia darsele mayor peso en el < Indice criminal>> total que a las raterias? Ademas, una alta proporcion de asesinatos se cometen por motivos personales y no tienen relacion con el crimen organizado; tcomo deberia evaluarse en el total? La clasificacion que hacemos de los tipos particulares de sucesos sociales no es en si misma objetiva y-depnde mucho de la historia, el prejuicio, la costumbre local y los procedimientos practicos. Ningun numero de analisis estadisticos de datos variados puede volver a estos a la vida y extraer de ellos las realidades sociales que se supone representan.

Hay un comentario divertido -en realidad, devastador- sobre el intento de construir <<indicadores sociales>>: nadie parece coincidir en la misma formula. Algunos sociologos americanos escepticos, Bonjean, Hill y McLemore, en 1967, contaron en la literatura sociologica 3.609 intentos de medir varios fenomenos mediante escalas o indices. De las 2.080 medidas diferentes empleadas, solo 589 se utilizaron mas de una vez y solo 47 mas de cinco veces. Tales indices, por lo tanto, no satisfacen el criterio de < consenso> fundamental para un enfoque cientifico.

### *Sondeos de opinion*

Estas objeciones se aplican particularmente al estudio de <<actitudes>>. La tecnica de la encuesta con series de preguntas es demasiado conocida. <gQue piensa usted de las medidas politicas del Gobierno actual?>> (Aprueba incondicionalmente. Aprueba. No sabe. Desaprueba. Desaprueba totalmente.) Conducida - con habilidad, tal encuesta puede predecir con razonable exactitud el resultado de una votación, en unos cuantos dias, pero hemos de preguntar si estos resultados pueden elevarse al status de los datos cientificos. No esta en diccusion si los porcentajes resultantes son una medida fiable de la opinion sobre las cuestiones que se estudian, sino si tales



opiniones pueden constituir una base firme para generalizaciones validas sobre la sociedad. ~Aprendemos de ellas mas de lo que puede deducir un reportero habil y experimentado?

Considerese, por ejemplo, los siguientes datos de un informe, publicado en *The American Soldier* (El Soldado Americano) (cap. XII, pag. 380, vol. II), sobre muchas encuestas sobre attitudes, opiniones y experiencias, realizadas por la rama de investigation del Ejercito de Estados Unidos, durante la segunda guerra mundial. Esta tabla (fig. 12.1) muestra la relation entre la experiencia

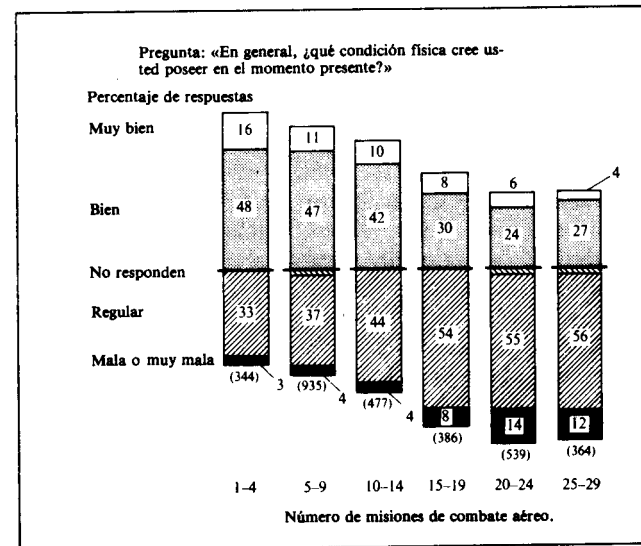


Fig. 12.1. Correlación entre la experiencia de combate y la respuesta a la pregunta: «En general, ¿qué condición física cree usted poseer en el momento presente?»

de combate de cada miembro de la tripulación de un bombardero y su respuesta a la pregunta: «En general, ¿qué condición física cree usted poseer en el momento

presente?» Evidentemente, la proporción de los miembros de la tripulación de un bombardero pesado que se considera a sí misma en una buena condición física decae 64 por 100 al principio, a cerca del 31 por 100 al final de la «vuelta» de 30 misiones de combate. No hay en esto nada sorprendente; pero adviértase también que la proporción permanece estable o incluso se eleva ligeramente, durante el último tercio de la vuelta. Una interpretación posible de esto: los hombres que han sobrevivido hasta ese momento, contemplan ahora la posibilidad de terminar sanos y salvos la vuelta y esperarán desesperadamente superarla y tenerla hecha lo más pronto posible. Aquí tenemos un caso auténtico de la interacción compleja entre las circunstancias sociales y la psicología personal, digno de una seria atención científica. Sin embargo, todo el que ha leído la brillante novela, satírica y sarcástica de Joseph Heller, *Catch 22* (Trampa 22), reconocerá en esto uno de los numerosos sutiles modelos de pensamiento, racional e irracional, a los que recurren los hombres en circunstancias similares. El estilo del novelista no es, en apariencia, científico; pero lo que dice es precisamente tan significativo para el estudiante de las instituciones humanas, como los resultados estadísticos de encuestas elaboradas por los más serios psicólogos sociales.

Otro ejemplo sacado de *The American Soldier* ilustra el uso de las encuestas sobre actitudes, de manera óptima. Al final de la guerra, fue un problema encontrar una política para licenciar a una enorme cantidad de gente del ejército americano. ¿Debería darse prioridad a los hombres que habrían estado más tiempo en el ejército, a los que habrían servido en ultramar, a los más viejos o a los que tenían familiares bajo su dependencia? Mediante una encuesta de muestreo se consultó los deseos de los distintos soldados y se elaboró un sistema de «puntos», que indicaban adecuadamente el peso de cada uno de estos factores -1 punto por mes en el ejército, 1 punto por mes en ultramar, 12 puntos por hijo y 5 puntos por estrella de campana o condecoración de combate. Se

licencio primero a los hombres que tenían mayor número de puntos. Esta política tuvo un notable éxito. Los soldados pensaron que era justa y toda la operación se llevó a cabo ordenada y tranquilamente. De esta manera, en las encuestas de mercado, votaciones políticas, etc., las ciencias sociales proporcionaron una nueva *tecnología* valiosa, mediante la cual las acciones de grandes organizaciones se pueden realizar con una conformidad tolerable con los deseos de los afectados. Algunos creen que estas mismas ciencias han dado instrumentos realmente eficaces a los que tratan de *manipular* la opinión pública para sus siniestros propósitos. Sin embargo, el argumento es débil: el demagogo, el dictador político, el vendedor ambulante no son inventos modernos y no necesitan saber de psicología social para abrirse camino en el mundo.

#### *Pruebas psicológicas*

Los sistemas sociales son inevitablemente complejos e impredecibles. ¿Podemos encontrar un mejor material para una disciplina poderosa en el hombre como individuo? Pregunta particularmente interesante, la naturaleza de la *inteligencia*, que es la facultad que distingue al ser humano de otros animales. No podemos *definir* la inteligencia; pero quizá podemos reconocerla *y medirla* y en ello tendremos una base para una ciencia cuantitativa.

La idea de que la inteligencia debe ser considerada una característica innata de un hombre concreto tiene poco más de 100 años. En su famoso libro, *Hereditary Genius* (Genio Hereditario), publicado en 1869, Francis Galton (1822-1911) demostró con cierto número de ejemplos que la inteligencia elevada parecía darse por familias y debía ser un rasgo hereditario. Siguiendo las líneas darwinianas, que debía estar sujeta a la variación genética y al mecanismo de la selección natural. De hecho, saltaba a la conclusión de que esta

<<cantidad>>, que no tenía medios para medir realmente, debía estar <<equitativamente distribuida>>, es decir, que debía haber la misma pequeña proporción de <<genios>>, muy por encima del promedio de inteligencia, que de <<idiotas>>, a la misma distancia por debajo de este nivel hipotético.

Alrededor de 1900, el intento de medir la inteligencia empezó en serio. Los pioneros fueron Alfred Binet (1887-1911), en Francia, y Charles Spearman (1863-1955), en Gran Bretaña. Binet se planteó un problema práctico: ¿cómo separar a niños mentalmente insuficientes que debían recibir una educación especial, y distinguirlos de aquellos que habían sido catalogados como <<retrasados>>, como resultado de una educación defectuosa? Elaboró una serie de simples pruebas de nivel mental que podían aplicar individualmente los psicólogos y profesores, y descubrió que estas pruebas podían ser graduadas con bastante fiabilidad, según la edad en que podían pasarlas niños normales. Pudo así afirmar que un niño de diez años que solo era capaz de pasar la prueba de un niño normal de ocho años, tenía una *edad mental* de ocho, y pudo predecir con certeza razonable, que este niño sería capaz, en dos años aproximadamente, de pasar la prueba de diez años. Estableció así la existencia de una secuencia regular de desarrollo mental que se desarrollaba paso a paso, a una velocidad variable, de un niño a otro. Esto era, en efecto, un descubrimiento científico significativo.

El trabajo de Spearman fue más teórico. Su problema era explicar el hecho de que los individuos tengan diferentes puntuaciones en diferentes tipos de pruebas mentales: algunos son buenos en las pruebas aritméticas y malos en las pruebas verbales, etc. Mediante elaborados análisis estadísticos, demostró que estas puntuaciones podían interpretarse como la resultante de varios <<factores>> mentales -aritméticos, verbales, etc.- y un componente principal que se podía describir como <<inteligencia general>>. Las conclusiones de Spearman fueron probablemente exageradas y gran parte de la investigación subsiguiente que usa el *análisis factorial* esta grotes-

camente inflada de matemáticas. Un científico natural preguntaría si los factores invariantes auténticos (es decir, las <<fuerzas>> psicológicas) se podrían separar, con esta técnica estadística un tanto arbitraria, aplicada a estos datos muy empíricos. Pero las correlaciones diversas entre estas puntuaciones en las pruebas, son cualitativamente interesantes y han sido fructuosas al sugerir esquemas hipotéticos para relacionar varios tipos de habilidad mental.

Sea cual fuere su mérito teórico, las pruebas de inteligencia han resultado valiosas en la práctica, durante la primera guerra mundial. La *Prueba Alfa* del ejército de Estados Unidos, aunque era más bien una prueba de grupo rudimentaria, fue bastante eficaz al detectar y rechazar a los reclutas de muy baja inteligencia. Estas fueron precursoras de series innumerables de pruebas de inteligencia y aptitud, que ahora se aplica, en un volumen de varios cientos de millones anuales, a los aspirantes a una promoción escolar, al ingreso en educación profesional, para selección de pilotos, para empleo en las oficinas de correos, etc. El poder predictivo de la mayor parte de estas pruebas no ha sido determinado con gran exactitud, pero, por cuanto examinadores y examinados creen en ellas, tienen la ventaja de parecer objetivas e imparciales.

#### *Selección educativa*

Un caso conocido del uso de pruebas de inteligencia es el de la selección para educación secundaria que se hace en Inglaterra. En los años 1920, las técnicas convencionales de exámenes para seleccionar a los niños que recibirían una beca para las escuelas secundarias fueron atacadas. Los psicólogos demostraron que estos exámenes dejaban demasiado margen al azar y proveían de resultados poco fiables. Se elaboraron nuevas pruebas homogéneas, junto con una prueba general de inteligencia que resultó el mejor elemento de predicción del éxito en

la escuela secundaria. Las autoridades ilustradas de educación empezaron a confiar en estas pruebas que veían como el medio más justo de seleccionar a los niños más inteligentes y prometedores de la clase trabajadora, para una educación más avanzada.

El Decreto sobre Educación de 1944 proveyó de facilidades para la educación secundaria de todos los niños e incremento considerablemente el número de los que accedían a escuelas secundarias más académicas. Las presiones de la demanda popular forzaron la adopción general de un procedimiento más o menos homogéneo para la selección a <<11-más>> con pruebas de inteligencia y ejecución. Aunque la aplicación de tales pruebas a gran escala se hizo más bien mecánica y aunque había algunos defectos técnicos serios en este procedimiento —por ejemplo, el descuido en las asignaciones para la categoría de edad de un año alrededor de la de <<11-más>>—, el sistema en su conjunto se consideró como un intento concienzudo de encontrar al niño que <<probablemente se beneficiaría>> con una educación académica. Las pruebas de inteligencia para la selección escolar fueron ardientemente defendidas por maestros y psicólogos de la educación, como un instrumento de justicia social progresista, científicamente bien fundado.

Sin embargo, alrededor de 1960, esta política general fue cayendo en des crédito, no solo porque a muchos no les gustaba que sus hijos fueran excluidos de las mejores escuelas, sino también porque se había puesto de manifiesto una falacia fundamental. El concepto de Binet de edad mental había sido transformado aritmeticamente en una noción de *Cociente Intelectual (CI)*, que es simplemente la relación de la edad mental aparente con la edad cronológica real. Esta cifra concreta —100, por definición, para el niño promedio— se tomaba como la medida de la inteligencia innata; se suponía que un CI medio a la edad de once años, podía ser considerado como un índice fiable de la capacidad intelectual futura del estudiante adulto. En grado considerable, esta suposición es válida; pero experimentos cuidadosos han de-

mostrado que el 20 por 100 de los niños ganan o pierden, entre los once y los treinta y ocho años, de 10 a 14 puntos de CI. Esta variación es bastante grande para tener significación en una política educativa. Muestra claramente lo injustificado de usar reglas rígidas para transferencia a estilos educativos bastante diferentes (con las respectivas consecuencias para carreras futuras, salarios futuros, clase social futura). Como resultado de esta revisión, los psicólogos en educación fomentan ahora una política de educación secundaria <<comprehensiva>>, donde cada niño tenga la oportunidad de desarrollarse más o menos académicamente, como si pasase por una escuela única.

Este episodio es aleccionador, porque muestra el peligro de confiar demasiado en la < ciencia>> como guía de la acción. Nadie duda que las pruebas de inteligencia suministran una guía burda y fácil de competencia relativa en la solución del tipo de problemas que están siendo examinados en el momento de la prueba. Pero no está muy justificado tratar el CI como una <<cantidad>, comparable a una propiedad física, como la densidad o la temperatura. ¿Qué podría significar esta proporción para un adulto cuya edad cronológica sigue aumentando, después de que su <<edad mental> se ha detenido? Siguiendo, presuntamente, las viejas conjeturas de Galton, los psicólogos adoptaron una elaboración convencional de las cotas alcanzadas en las pruebas de inteligencia, de tal modo que apareciesen < normalmente>> distribuidas, cuando se las media en una población grande. De hecho, este criterio completamente arbitrario se usa con frecuencia para definir una <<buenas>> prueba.

Otro tipo de críticas pone de relieve que la cota del CI puede depender de la experiencia cultural tanto como de alguna capacidad <<biológica>> innata. Los niños de clase media, con un fondo cultural más variado y la oportunidad de aprender un vocabulario más amplio, tienen inevitablemente una ventaja. El propósito global de las pruebas de inteligencia era eliminar toda parcialidad debida a la educación o a la clase social, pero esto parece

un objetivo inalcanzable. ~Se puede imaginar una <<inteligencia> de un ser humano adulto que no este fuertemente determinada por todo el proceso de su crianza en una sociedad específica? Las preguntas típicas de <<acertijos>>, incluso de las pruebas más elaboradas, obedecen a la noción medular de un < acertijo>>, vistas por un adulto que ha demostrado ya su habilidad en este modo de vida muy especial que llamamos universidad. ~Considerarfa un esquimal inteligente tales acertijos como estereotipos de los <<problemas>> que tiene que resolver en su contexto cultural?

### *Raza e inteligencia*

Esto nos lleva al antiguo problema de <<naturaleza>> o <<medio>>. ¿En qué grado es la inteligencia un rasgo genético? Son los hijos de padres inteligentes también inteligentes por su herencia corporea, o porque han sido criados en un ambiente familiar más estimulante? A partir de estudios sobre gemelos idénticos que han sido separados desde el nacimiento, se ha arguido que aproximadamente el 70 u 80 por 100 de la variación de la inteligencia de un individuo adulto a otro, puede ser considerado genético y que las diferencias de medio ambiente pueden tener solo un efecto del 5 por 100. Pero esto se establece firmemente solo para las diferencias de crianza y educación dentro de la misma estructura general. Estudios estadísticos más complejos sugieren que el factor auténticamente genético puede explicar solo aproximadamente el 50 por 100 de la varianza total del CI. Nadie sabe -y es muy difícil pensar el modo de probarlo- si las diferencias ambientales amplias, como las existentes entre grupos étnicos diversos, en una sociedad poliglota, pueden ser la única causa de las diferencias observables en los resultados de las pruebas ordinarias aplicadas a sus miembros.

Y así, por supuesto, nos encontramos en el meollo de una de las cuestiones más controvertidas y delicadas de

mostrado que el 20 por 100 de los niños ganan o pierden, entre los once y los treinta y ocho años, de 10 a 14 puntos de CI. Esta variación es bastante grande para tener significación en una política educativa. Muestra claramente lo injustificado de usar reglas rígidas para transferencia a estilos educativos bastante diferentes (con las respectivas consecuencias para carreras futuras, salarios futuros, clase social futura). Como resultado de esta revisión, los psicólogos en educación fomentan ahora una política de educación secundaria <<comprehensiva>, donde cada niño tenga la oportunidad de desarrollarse más o menos académicamente, como si pasase por una escuela única.

Este episodio es aleccionador, porque muestra el peligro de confiar demasiado en la <<ciencia>> como guía de la acción. Nadie duda que las pruebas de inteligencia suministran una guía burda y fácil de competencia relativa en la solución del tipo de problemas que están siendo examinados en el momento de la prueba. Pero no está muy justificado tratar el CI como una <cantidad>, comparable a una propiedad física, como la densidad o la temperatura. ¿Qué podría significar esta proporción para un adulto cuya edad cronológica sigue aumentando, después de que su <<edad mental>> se ha detenido? Siguiendo, presuntamente, las viejas conjeturas de Galton, los psicólogos adoptaron una elaboración convencional de las cotas alcanzadas en las pruebas de inteligencia, de tal modo que apareciesen <<normalmente>> distribuidas, cuando se las media en una población grande. De hecho, este criterio completamente arbitrario se usa con frecuencia para definir una <<buena>> prueba.

Otro tipo de críticas pone de relieve que la cota del CI puede depender de la experiencia cultural tanto como de alguna capacidad <biológica> innata. Los niños de clase media, con un fondo cultural más variado y la oportunidad de aprender un vocabulario más amplio, tienen inevitablemente una ventaja. El propósito global de las pruebas de inteligencia era eliminar toda parcialidad debida a la educación o a la clase social, pero esto parece

un objetivo inalcanzable. ~Se puede imaginar una <<inteligencia>> de un ser humano adulto que no esté fuertemente determinada por todo el proceso de su crianza en una sociedad específica? Las preguntas típicas de <<acertijos>>, incluso de las pruebas más elaboradas, obedecen a la noción medular de un <<acertijo>>, vistas por un adulto que ha demostrado ya su habilidad en este modo de vida muy especial que llamamos universidad. ~Consideraría un esquirol inteligente tales acertijos como estereotipos de los <<problemas>> que tiene que resolver en su contexto cultural?

#### *Raza e inteligencia*

Esto nos lleva al antiguo problema de <<naturaleza>> o <medio>>. ~En qué grado es la inteligencia un rasgo genético? Son los hijos de padres inteligentes también inteligentes por su herencia corpórea, o porque han sido criados en un ambiente familiar más estimulante? A partir de estudios sobre gemelos idénticos que han sido separados desde el nacimiento, se ha arguido que aproximadamente el 70 u 80 por 100 de la variación de la inteligencia de un individuo adulto a otro, puede ser considerado genético y que las diferencias de medio ambiente pueden tener solo un efecto del 5 por 100. Pero esto se establece firmemente solo para las diferencias de crianza y educación dentro de la misma estructura general. Estudios estadísticos más complejos sugieren que el factor auténticamente genético puede explicar solo aproximadamente el 50 por 100 de la varianza total del CI. Nadie sabe -y es muy difícil pensar el modo de probarlo- si las diferencias ambientales amplias, como las existentes entre grupos étnicos diversos, en una sociedad poliglota, pueden ser la única causa de las diferencias observables en los resultados de las pruebas ordinarias aplicadas a sus miembros.

Y así, por supuesto, nos encontramos en el meollo de una de las cuestiones más controvertidas y delicadas de

toda la esfera de las relaciones sociales: ¿hay diferencias significativas de «inteligencia innata» entre las diferentes «razas» de la humanidad? La dificultad de dar una medida cuantitativa objetiva al concepto de inteligencia es patente. ¿Es el concepto de «raza» más preciso?

Si retrocedemos a mediados de la era victoriana, encontramos un interés científico genuino por las diferencias biológicas entre grupos humanos. La disciplina de la «antropología física» se consagró no solo a la caracterización de varios grupos, según el color de la piel, sino también a la diferenciación de los muy mezclados habitantes de Europa, según índices tan refinados como la forma del cráneo. Los esquemas de clasificación fueron elaborados por varios entusiastas trabajadores de la investigación. Como en los de muchos géneros de plantas y animales, no coincidieron siempre en los detalles, pero, al menos, las cuestiones que estaban investigando eran susceptibles de ser falseadas por la observación directa. Gran parte de este trabajo puede ahora parecer demasiado especulativo, pero el estudio moderno de las frecuencias relativas de los grupos sanguíneos en diferentes troncos raciales puede vincularse íntimamente con la biología molecular, la genética y conceptos cuantitativos precisos, como la deriva genética.

El problema estaba en que las características sociales y culturales de cada grupo racial eran consideradas también, sin pruebas, como manifestaciones exteriores de rasgos innatos, biológicamente heredables. En particular, la dominancia cultural de las razas blancas era atribuida a la superioridad genética del intelecto, carácter, etc. Esta visión se mezclaba obviamente, en muchos casos, con el intento de justificar la dominación política, como sucedió en el esclavismo americano o el colonialismo europeo. Pero para la mentalidad de un hombre como - ¡una vez más! - Francis Galton, era difícil separar este tipo de prejuicios, nacidos de su experiencia personal en Sudafrica, de las racionalizaciones teóricas del Hdarwinismo social», en base a las cuales se argumentaba que las razas blancas debían ser más «aptas» para

governar, porque habían sobrevivido a situaciones muy adversas y evolucionado a una forma superior.

Se trata de un punto importante, porque ilustra una consecuencia alarmante y peligrosa del progreso científico. Una teoría científica nueva y perfectamente válida, como el principio de la evolución biológica por la selección natural, se saca de su esfera propia -el origen de las especies zoológicas y botánicas- y se aplica sin sentido crítico para apoyar toda suerte de nociones dudosas. La idea de la lucha por la existencia y la supervivencia entre culturas o sistemas de comportamiento social rivales no carece completamente de sentido, pero en cuanto se la estudia críticamente, tiene tantas dificultades y objeciones, que es imposible aceptarla como una verdad necesaria.

La controversia moderna sobre raza e inteligencia es un residuo intelectual de este viejo tema. Se hace el intento de *probar* por el análisis estadístico de series de pruebas de inteligencia, que las diferencias conjeturadas de antiguo realmente existen. Repetimos, no es una hipótesis completamente absurda, pero mientras más se consideran los problemas técnicos de demostrar el hecho más allá de toda duda, más difíciles parecen. Siendo la «inteligencia» misma un concepto muy alejado de la neutralidad cultural, ¿que estaría afirmandose si simplemente se indicara que los negros, en promedio, obtienen 10 puntos menos que los blancos en una serie dada de acertijos? En todo caso, la gama de variaciones entre individuos de cada grupo es tan grande, que nunca podrá esta pieza de «conocimiento científico» ser la base de una política educativa.

Estos obstáculos son tan formidables para el estudio «científico» de las relaciones entre raza e inteligencia, que se debe empezar por cuestionar los motivos de los que abogan por tal estudio. ¿Son de verdad investigadores honestos de la verdad o tienen objetivos políticos, ideológicos, que están intentando justificar recurriendo a la autoridad científica? No debe olvidarse que la investigación sería, por implicación, ofensiva para todos los

que podrian asi ser considerados inferiores. ¿Or que deberia herirse su sensibilidad en nombre de la investigacion, cuando su resultado mas probable es una interrogacion permanente?

*'Es neutral la ciencia?'*

Algunos van mas lejos y utilizan este tema controvertido como prueba de que la ciencia no puede estar nunca elibre de valores>> y ser «neutral». Señalan el poder de las ideologias sociales dentro de las cuales todos hemos sido educados y aseveran que a todo cientifico deben afectar los prejuicios del capitalismo, socialismo o fascismo, o cualquier otra cosa, para sus observaciones y deducciones. Esta inclinacion ideologica es particularmente significativa en las ciencias sociales, donde no existe ningun aparato instrumental simple para corregir el angulo de vision del observador. Mirando retrospectivamente a obras tan famosas como las de Malthus (pagina 151) o Spencer (pig. 315), no podemos detectar ahora facilmente las suposiciones implícitas acerca de la organization de la sociedad que habrfan parecido evidentes por si mismas en aquel tiempo, pero que ahora rechazamos. Es imposible, por tanto, que cada uno de nosotros evite ahora el mismo tipo de error, que echari a perder todo intento de «objetividad» científica.

Este desafio fundamental a todo esfuerzo por construir un cuerpo vilido de ciencia social tiene mucha fuerza. Ciertamente se le debe tomar en serio, si tratamos de basarnos en el conocimiento «cientifico» para tomar decisiones politicas que tocan valores humanos. Pero esto es solo una forma extrema y significativa de la cuestion basica sobre la <<verdad absoluta>> del conocimiento cientifico de todo tipo. En ultima instancia, estamos obligados a confiar en nuestro propio juicio sobre la validez de cada observacion y deduction, y sujetos todos al clima intelectual de nuestro propio tiempo. Sin embargo, el paradigma de la fisica clisica no fue, a principios del

siglo xx, un gran obsticulo para la aceptacion de la teoria de la relatividad y de la teoria cuantica, cuando el paradigma cultural de la sociedad europea inclinaba a aceptar el relativismo antropologico y el funcionalismo.

Esto visto, sin embargo, es suprema estupidez suponer que el angulo de vision de una ideologia objetable (es decir, falsa), puede corregirse abrazando la ideologia contraria. En muchos casos, los que acusan a la ciencia de no ser neutral, se ocupan principalmente en hacerla una aliada de su partido en algun conflicto politico o religioso. Pero en este asunto cada uno de nosotros debe ejercitar su propio juicio, confiando en las virtudes de sentido común, de honestidad y escepticismo que cada quien ha extraido de su experiencia vital personal.

*El punto de vista sociologico*

Este capitulo iniciado con tan pocas esperanzas de siquiera poder delinear una cuestion tan amplia como las ciencias sociales y del comportamiento en la sociedad, podria resumirse asi:

El punto de vista sociologico que tiene como objeto propio de inquisition sin prejuicios el hombre en sociedad, es inmensamente valioso. Quita las anteojeras de los sistemas convencionales de pensamiento religioso, politico y social y da libertad al observador para ver las cosas bajo una nueva luz. El mapa-mundi social y psicologico que el hombre medio carga dentro de su cabeza es extraordinariamente estrecho y restringido; la sociologia y la antropologia sugieren esquemas totalmente diterentes para representarlo.

El descubrimiento de la variedad inmensa de las condiciones sociales y culturales reales es tambien extremadamente aleccionador. Es muy facil estar ciego a las realidades de la vida en nuestro entorno, ignorar lo que tenemos ante los ojos y darnos cuenta solo de la gente y los sucesos que nuestros prejuicios nos permiten ver. Tras la observacion, registro y computo de todo tipo de

hechos simples, el científico social los presenta con la debida ponderación a la atención de directores y políticos. Los criterios científicos de objetividad, reproducibilidad de los datos, de medición y de cantidad, hacen que esta información sea más fiable, como base de una posible acción, que la mera opinión.

Sin embargo, la parte que desempeña la teoría en esta región de la ciencia, es mucho más débil que en las ciencias físicas y biológicas. Los hechos mismos son, con frecuencia, suficientes para demoler los que J. R. Ravetz ha llamado <<ciencia popular>>: los viejos sistemas de prejuicios y superstición que gobiernan las mentes de la mayoría, respecto de las relaciones raciales, las prácticas sexuales, las barreras de casta y clase, etc. Pero las ciencias sociales no han tenido éxito a la hora de construir un cuadro de referencia teórico totalizante, del cual pueden deducirse en abstracto, sin referencia a hechos, predicciones fiables. El poder real de la física está en que podemos lanzar un cohete al espacio, con la velocidad prescrita, y calcular con precisión que aterrizará en la Luna. Nadie puede lanzar una reforma social o una empresa industrial y calcular su trayectoria con ayuda de la sociología, matemática o la economía. Los modelos y conceptos teóricos son absolutamente ayudas esenciales para la investigación práctica en las ciencias sociales, pero rara vez podemos tomarlas al pie de la letra, como guías de acción. Poco se gana desechando una ciencia popular, sensatamente basada en una larga experiencia, para reemplazarla con una <<pericia>> seudocientífica basada en una teorización ligera y una observación superficial.

En muchos asuntos de gran importancia social, la verdadera ciencia no tiene nada positivo que decir. No sabemos, por ejemplo, si los hombres negros son algo más inteligentes que los hombres blancos o viceversa. Lo que necesita la sociedad es una afirmación positiva de nuestra *ignorancia* en tales cuestiones, esto es, el rechazo de toda autoridad científica con que quiera legitimarse, para su beneficio, un prejuicio o superstición

---

particulares. Esta es quizá la tarea ideológica más importante de la actitud científica en el reino de las ideas generales, la acción social, la filosofía, etc.: clarificar los valores del escepticismo, la amplitud de miras y la atención a los hechos aseverables, en cuestiones que no se pueden resolver por la aplicación mecánica del tipo de racionalidad que usa la ciencia misma.



*Habia todo tipo de cosas que la gente estaba desenterrando y remozando, cosas infernales, cosas estzupidas, cosas nunca intentadas; grandes maquinas, explosivos terribles, grandes canones. Conoceis la manera estuipida de esa suerte de hombres ingeniosos que hacen esas cosas: ilas realizan como los castores construyen diques, sin ninguna consideraci6n a los rios que van a desviar y a las tierras que van a inundar!*

H. G. WELLS

Hablamos con frecuencia de que la ciencia responde a las *necesidades* de la sociedad. La *demanda* mas persistente proviene del poder militar. Cualquiera sea, desde un punto de vista etico, nuestra postura sobre este punto, no podemos negar que la preparacion para la guerra y la guerra misma, son una parte integrante de la moderna vida humana.

La sociologfa de la guerra entre estados nacionales se discute rara vez, a no ser desde la posicion del historiador politico. El papel de la ciencia y tecnologia en la guerra moderna es demasiado evidente y gran parte del aborrecimiento de la guerra en personas civilizadas ha sido transferido a la ciencia misma, sin estudiar mas profundamente las causas subyacentes. Es un tema demasiado amplio para poder discutirlo aqui completamente. Consideraremos este fen6meno perverso y horripilante solo en cuanto afecta la ciencia upura» y la comunidad cientffica.

La maestria tecnica ha sido siempre, por supuesto, un factor decisivo en la guerra. Pero normalmente esta ha

sido un arte practica, mejorada y desarrollada por prueba de errores. Algunos de nuestros mejores ejemplos de tecnologia compleja (vease, por ejemplo, pagina 24) han sido armas Micas bastante simples -maquinas para sitiarse, espadas, cañones, etc. Tecnicas mas generales como las construcciones de barcos, la arquitectura, el diseno de aviones y la ingenierfa mecanica, han sido influidas fuerte e inmediatamente por la guerra. El barco mercante *East Indiaman* y el barco de guerra, la catedral y el castillo, el bombardero de propulsion por chorro y el avion de pasajeros con propulsion por chorro; el tractor oruga y el tanque, son miembros de una misma familia para el hombre que los disena y construye. Ninguna historia seria de la tecnologia puede ignorar que, desde los tiempos mas remotos, inventos pacfficos tienen aplicaciones militares, ni tampoco que las necesidades militares primarias han influido en el origen de muchos inventos utiles. La medicina misma, la mas humana de todas las tecnologfas, debe casi tanto a la guerra, como a la paz (pags. 167-187). Pero este no es el tema que estamos tratando ahora.

Debatiriamos tambien sobre la guerra como fuente de inspiracion para la ciencia pura. No es accidental que la ciencia de la mecanica, con su peculiar acento en el movimiento de proyectiles esfericos, se haya desarrollado durante el Renacimiento, la gran era del canon. Galileo, por ejemplo, recibio una fuerte influencia de lo que podia observar en el gran arsenal de Genova. La investigacion de Rumford sobre el calor (pagina 91) se hizo cuando este era ministro de Guerra del elector de Baviera. Los cientificos nunca se han opuesto a sacar material de investigacion de la experiencia de la guerra, ni tampoco a anadir su contribucion personal a la practica militar. Un 10 por 100 de las investigaciones emprendidas por los miembros de la *Royal Society* en sus primeros anos, estaba relacionado, directa o indirectamente, con la tecnologia militar (pig. 30).

Pero el alistamiento general de la comunidad cientffica en favor de la nacion en guerra es una costumbre

moderna. Por supuesto, Arquimides (pag. 24), cuyos brillantes artefactos vencieron a los romanos que sitiaban Siracusa, fue precisamente esa suerte de genio que se sintió obligado a ayudar a su patron en contra de sus enemigos. Como recuerda Plutarco:

*«Arquimides poseía un espíritu tan elevado, un alma tan pro/unda y una riqueza tal de inquisition científica, que, aunque habia adquirido por sus inventos un nombre y una fama de poseer una inteligencia mas divina que humana, no se hubiera dignado a dejar tras si ningun escrito sobre tales temas. Considerando el negocio de la mecanica y todo arte utilitario como innoble y vulgar, se entregó devota y entusiastamente solo a aquellos temas cuya elegancia y sutileza no obstaculizan las necesidades de la vida.>>*

Este desden de elevadas miras por el arte rastrero de matar a otros hombres ha seguido siendo la doctrina oficial de la ciencia pura hasta nuestro tiempo, y solo lo iguala el desprecio del soldado profesional por los inventos de primera categoria de los academicos.

El cambio sobrevino en la primera guerra mundial. Por ambos lados, los cientificos academicos se movilizaron finalmente. Por ejemplo, los profesores mas prominentes de fisica, ingles y frances respectivamente, W. H. Bragg y P. Langevin, formaron una comision para trabajar sobre la detection antisubmarina. Langevin descubrio que los microfonos piezoelectricos eran eficaces para detectar maquinas submarinas. En el *Royal Aircraft Establishment*, en Farnborough, encontramos diseiando y pilotando nuevos aviones a F. A. Lindemann (vease pagina 140 [1021]), G. P. Thomson, E. D. Adrian y G. I. Taylor. La movilizacion del talento cientifico se puso lentamente en marcha -la perdida de Moseley, uno de los mas brillantes discipulos de Rutherford, muerto en campaia en Gallipoli, como otros millones de jovenes, era el argumento convincente para la accion oficial-, pero fue deliberada y pago dividendos.

### *Guerra quimica*

El arma nueva mas espectacular y con mas exito que produjeron los cientificos, fue el gas venenoso. La idea no era nueva; ya en 1812, el almirante lord Dundonald habia sugerido el empleo de sulfuro caustico como arma. Fue propuesto de nuevo en 1855, durante el sitio de Sebastopol, pero se consideró demasiado terrible. La guerra quimica fue declarada ilegal por la Convention de la Haya de 1899, que suscribieron todas las potencias mayores.

Pero, en 1915, la guerra de trincheras en el frente occidental estaba proxima al punto muerto. Los franceses habian hecho, sin entusiasmo, experiencias con granadas de gas lacrimogeno, en 1914, y los alemanes hablan probado proyectiles que contenian un irritante quimico. A principios de 1914, hicieron pruebas con otro agente quimico contra los rusos, pero el tiempo era demasiado frio. La «irruption» tecnica llego el 22 de abril de 1915, cerca de Ypres. Dos horas antes de la salida del sol de aquel excelente dia primaveral, el intenso ataque con explosivos contra las fronteras francesas se detuvo y se abrieron 500 cilindros que contenian 168 toneladas de gas de cloro. El efecto fue devastador. La nube de gas produjo 15.000 muertes y toda resistencia fue eliminada en un radio de varias millas en profundidad, a lo largo de un frente de cuatro millas. Si los alemanes hubieran estado preparados para atacar realmente masivamente, hubieran podido irrumpir directamente en la linea de trincheras. En unos cuantos dias, sin embargo, se disponia de sencillas mascararas anti-gas y se habia logrado el control de la nueva arma que hubiera podido ganar la guerra.

Quien fue el responsable? El quimico aleman mas notable de aquellos dias era Fritz Haber (1868-1934), que habia inventado el proceso de fijacion del nitrogeno, con lo que Alemania logro autoabastecerse de nitratos-material clave para la industria de municiones. Fue

capitan en el eercito, junto con W. Nernst (1864-1941), el gran quimico fisico que habia sido profesor de Lindemann. Juntos trabajaron sobre los gases venenosos y desarrollaron las tecnicas cientificas, tomaron a su cargo la organization de la guerra con gases y hasta vigilaron los efectos en el campo de batalla. Por este esfuerzo patriotico, Haber fue mas tarde severamente criticado por la comunidad cientifica, que conserva todavia fuertes sentimientos internacionales, especialmente cuando fue premiado con el Nobel por su proceso de fijacion del nitrogen. Ironicamente, Haber era judio y, en 1934, perdio su puesto y murio exiliado en Suiza.

Pero, por supuesto, los ingleses y franceses no dudaron en responder de la misma forma y pronto estaban atacando con sus propios gases. Se probo con nuevos productos quimicos, como el fosgeno, mucho mas toxico que el cloro, y se diseiaron nuevas mascarar anti-gas (fig. 13.1). Se inventaron tecnicas para dispersar el gas con granadas y bombas de mortero. Una investigation y un esfuerzo de desarrollo grandes habian comenzado e involucraban a muchos jovenes cientificos buenos. Por ejemplo, en las notas necrologicas de la *Royal Society*, se menciona el servicio belico de C. A. Lovatt Evans (1884-1968), un fisiologo ilustre. Tras haber recibido el titulo de medico en 1916, se agrego al Cuerpo Medico del Ejercito Real y trabajo en el Departamento anti-gas del Colegio de Medicos del Ejercito Real, en Millbank. Alli se estudio el arsinoso, el fosgeno y el acido hidrocianido. Recomendaron tambien el use de lo que llamaban gases de mostaza, pero el Ejercito lo rechazo. Cuando los alemanes empezaron a usar este producto quimico, quince meses despues, los chicos del Colegio de Medicos mostraron su disgusto por haberse dejado adelantar por el enemigo. De hecho, el gas mostaza se sigue considerando como un arma muy eficaz y peligrosa, porque actua en la piel y a traves de ella, de tal modo que una simple mascara anti-gas resulta una proteccion inadecuada.

Se pone de relieve rara vez la proportion de guerra quimica en la primera guerra mundial. Mas de tres mil



Fig. 13.1. Ametralladoristas con cascos antigas. Batalla del Somme, cerca de Orvilliers, Julio de 1916.

substancias fueron analizadas como posibles agentes toxicos, aunque solo una docena fue considerada eficaz; 125.000 toneladas de gas fueron diseminadas por 17.000 hombres de la tropa quimica entrenada especialmente; mas de nueve millones de granadas fueron rellenas con mostaza y produjeron 400.000 muertes, y fueron cinco veces mas eficaces que los explosivos de alto poder o las granadas expansivas. Se ha estimado que el gas afecto aproximadamente a un millon entre muertos y heridos en la guerra, en cuyo ultimo ano las armas quimicas fueron causa del 16 por 100 de muertos y heridos ingleses y del 33 por 100 de los americanos. Fue, pues, un factor militar significativo que ambos bandos emplearon al maximo grado, a pesar de que la opinion popular calificaba el metodo de < cobarde >, << inhumano >>, etc.

Pero observese que, en los anos 1920, la opinion tecnica general consideraba el gas como un arma *Humana*>>. Se indicaba que la proportion de muertes en el

grupo de personas afectadas por estas armas, era mucho menor y menos serios los efectos permanentes de incapacidad, que con las armas convencionales. Así, aunque la guerra química fue de nuevo prohibida por el protocolo de Ginebra de 1925, la comunidad científica podía argüir que, después de todo, no era tan perversa. Durante la primera guerra mundial, hubo científicos que continuaron con el trabajo de desarrollar nuevas armas químicas y de inventar defensas contra las mismas. Hasta J. B. S. Haldane (pág. 86 [621]), ese campeón de la bondad y amabilidad, escribió un librito que ponía de relieve las ventajas humanas del gas. El Gobierno y los políticos adoptaron la postura emocional y elaboraron el protocolo de Ginebra.

A pesar de su inmensa importancia, aun en años recientes, no me propongo delinear la historia ulterior de la guerra química. La situación cambia mucho cuando los alemanes inventaron gases extremadamente tóxicos para los nervios en los años 1930, pero, por algún motivo, ninguno de los dos bandos se atrevió a usarlos en la segunda guerra mundial. Aunque las potencias mayores almacenaron grandes cantidades de gas y prepararon defensas anti-gas a gran escala, prevalecieron los argumentos de disuasión mutua. Pero todo esto pertenece ahora a la historia y tecnología de la guerra misma.

Este episodio nos enseña que las tensiones de una guerra <<patriótica>> amplias no permiten restricciones éticas reales a los científicos o a cualquier otro ciudadano. La guerra moderna utiliza toda la maquinaria industrial y todas sus técnicas. Los alemanes hicieron el primer gran ataque con gases, no porque fueran especialmente malvados, sino porque su industria química era especialmente poderosa. La escalada del esfuerzo científico en ambos bandos era una consecuencia inevitable e inmediatamente la comunidad científica ejerció todo su poder. El límite entre científico puro y tecnólogo resultó no tener sentido: los <<académicos> tenían reservas de conocimiento e inventiva, escasamente utilizadas en tiempo de paz, que podían ser decisivas en la guerra. La cues-

tion de la < humanidad >> relativa de un arma de tipo particular merecía poca consideración; la eficacia militar era evidentemente el único criterio para adoptarla. Obsérvese también que, excepto Haber, el esfuerzo científico fue casi anónimo. El gran público no hizo héroes a sus científicos en la primera guerra mundial. Se dice que un ministro del Gobierno comentó: <<Lo que me gusta de los científicos es que formen un equipo; ni siquiera tiene uno que conocer sus nombres.>>

### Radar

Después de un salto de veinte años y se llega a la segunda guerra mundial. Este gran conflicto fue dominado y decidido por las técnicas científicas. Métodos de guerra que solo habían podido ser estudiados dentro del contexto de la investigación científica pura, llegaron a tener una primordial importancia. Ninguna nación que no tuviera un *establishment* científico, podía haber sostenido su potencial militar.

Otra vez, el tema es demasiado amplio. Consideremos brevemente la historia del radar.

La idea básica de detectar las ondas de radio, reflejadas y captadas por un receptor, se remonta a 1924, cuando Appleton y Barnett (Reino Unido) y Breit, Tuve y Taylor (Estados Unidos) empezaron a estudiar las reflexiones de la ionosfera. Observaciones ocasionales de los efectos de aviones o barcos que interferían con la propagación de la radio fueron también registradas y muchos sugirieron que este efecto podría ser útil para detectar los barcos en la oscuridad o la niebla. En 1930, la Armada de Estados Unidos empezó un proyecto para detectar por radio barcos o aviones, aunque hasta 1934, no se descubrió que la idea de transmitir radio-impulsos era la clave de la técnica (fig. 13.2).

El mismo proceso de pensamiento tuvo lugar en Alemania, donde se pusieron en marcha desarrollos similares. Una vez más, los principios básicos eran bastante

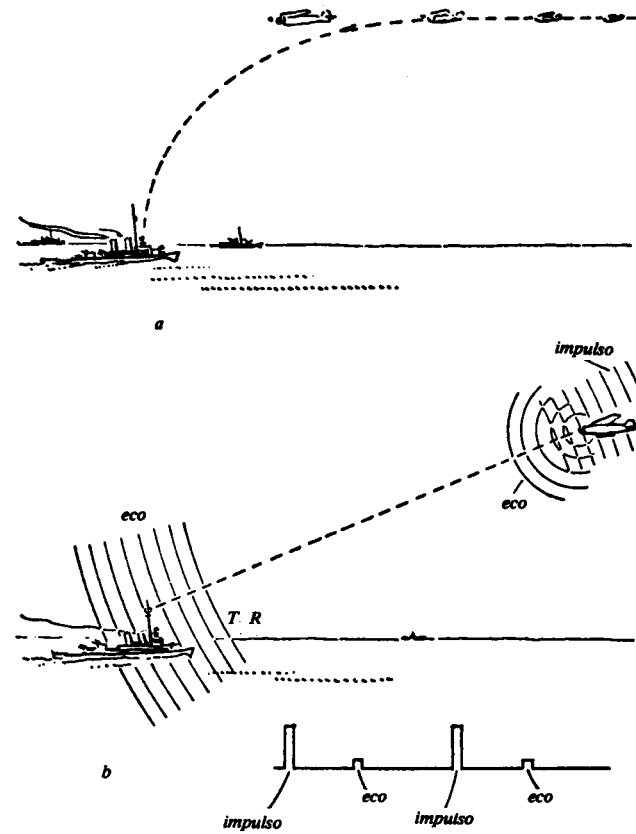


Fig. 13.2. Diagrama de la idea del radar de impulsos. (a) Problema: para que un avión avise a los barcos por radio, el transmisor y el receptor deben estar muy cercanos. (b) Idea: usese impulsos cortos con intermedios de espacios largos; así el transmisor no estara transmitiendo, mientras el receptor escucha los ecos.

obvios para cualquier científico o ingeniero eléctrico bien preparado y no requerían un genio científico o un inventor excepcional.

Realmente no era un problema trivial, con las técnicas de radio de mediados de los años 1930, la producción de un sistema eficaz de radar por impulsos. Era totalmente evidente que las longitudes de onda más cortas serían preferibles, pero estas no se podían generar eficazmente en aquel tiempo. Sin embargo, el circuito apropiado para aparatos primitivos que trabajan a una longitud de onda de pocos metros se diseñó y construyó aproximadamente en dos años. En 1936, se obtuvieron (¡independientemente!) en Inglaterra, América y Alemania, excelentes ecos de avión a la distancia de 50-100 kilómetros. Cuando Alemania entró en guerra, su equipo estaba todavía en nivel experimental, pero fue desarrollado más tarde y llegó a un alto nivel técnico (figura 13.3). Por aquellas fechas, cuando Estados Unidos entró en la guerra, en 1941, cerca de veinte buques te-

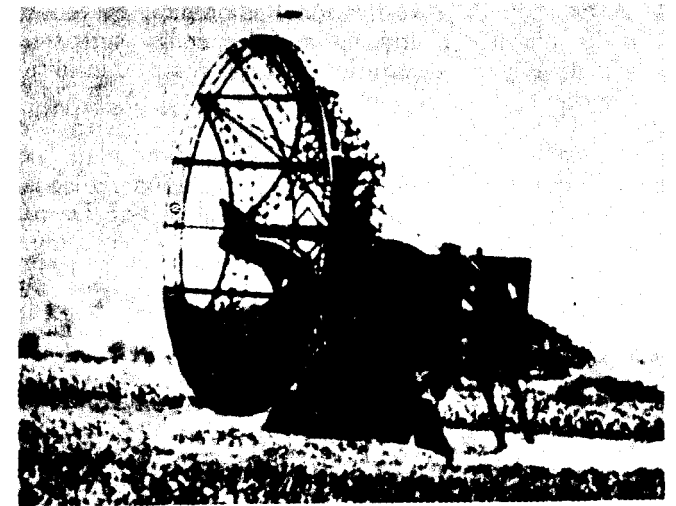


Fig. 13.3. Equipo de radar alemán. El <Gigante Wurzburg>. Un miembro de la Organización Belga de Espionaje tomó la fotografía durante la segunda guerra mundial.

nian sistemas de radar completamente instalados. En efecto, cuando la aviación japonesa atacó Pearl Harbour, fue detectada con tiempo suficiente para hacer sonar la alarma, pero el aviso no fue tomado en cuenta.

La historia del radar británico es especialmente aleccionadora. Según parece, en 1934, A. P. Rowe, un científico del Ministerio del Aire, hojeando los 53 archivos sobre defensa aérea, quedó asustado del pequeño esfuerzo que se estaba haciendo para abordar científicamente el problema. Sugirió a su jefe que debía establecerse una Comisión de Defensa Aérea para iniciar y organizar la investigación en este campo. Esta Comisión, presidida por Henry Tizard, tuvo ciertos problemas políticos y técnicos en sus relaciones con F. A. Lindemann (fig. 159). El evento histórico esencial ocurrió antes de la primera reunión, cuando H. E. Wimperis, director de Investigación del Ministerio del Aire, preguntó a R. A. Watson-Watt (1894-1973), director de la Estación de Investigación Radiofónica, en Slough, si podía dirigirse contra un avión enemigo suficiente radioenergía para destruirlo. Watson-Watt transmitió esta pregunta a un miembro de su personal, A. F. Wilkins; que, después de un cálculo rápido, demostró que la idea de un «rayo mortal» no tenía sentido, pero que era teóricamente factible detectar la radiación reflejada. Se envió un memorandum para este fin al Comité Tizard, que animó a Watson-Watt, Rowley a un pequeño equipo a comenzar los experimentos secretos. En abril de 1937, el Gobierno había decidido cubrir las costas este y sur de Inglaterra con una red de radares, que se terminó el verano de 1939.

Este sistema costó cerca de un millón de libras, suma nada despreciable en el presupuesto de Defensa de ese tiempo; pero, de hecho, era técnicamente muy primitivo. Por trabajar a una longitud de onda bastante larga -cerca de 10 metros- la forma del rayo era muy irregular y cada estación debía estar muy cuidadosamente calibrada. Había, especialmente en los ángulos bajos, grandes espacios interlobulares, que debían obturarse con

otro equipamiento especial (fig. 13.4). Pero había la intención de elegir un tercer sistema mejor. Como lo observó Watson-Watt: «Lo óptimo no llega nunca; lo

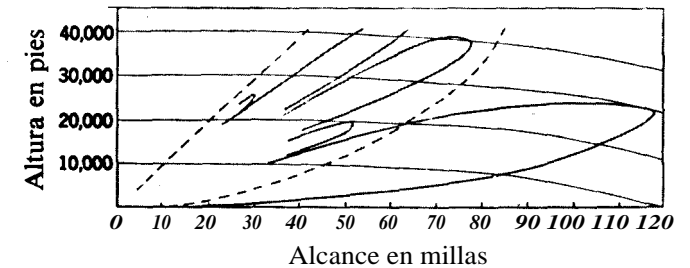


Fig. 13.4. Diagrama polar de la típica estación de radar de Chain Home para detección fiable de un avión de Gaza a lo largo de la línea de visión.

mejor, demasiado tarde. Quizá también el carácter improvisado de gran parte de este equipamiento se debió a que los científicos que lo construyeron eran expertos en el uso de aparatos experimentales más bien que en diseño ingenieril para la producción industrial.

Por otro lado, las estaciones en cadena estaban cuidadosamente situadas (fig. 13.5) y conectadas por líneas terrestres para filtrar los centros, y de allí a los cuartos de operaciones, donde los registradores situaban en un mapa la información recibida por teléfono (fig. 13.6). En lugar de aparatos de radio elaborados, computadores, etc., para correlacionar y corregir los mensajes que venían de las diversas estaciones, un «funcionario-filtro» asistía a los registros y decidía, por ejemplo, si dos rastros vecinos eran idénticos. Así el juicio humano se esforzaba hasta el límite para conseguir el máximo de eficiencia de un equipamiento técnico no totalmente perfeccionado.

Otro factor importante fue la insistencia de Tizard en que la Fuerza Aérea Real debía realizar en 1938 los ejercicios para el manejo del radar para intercepción

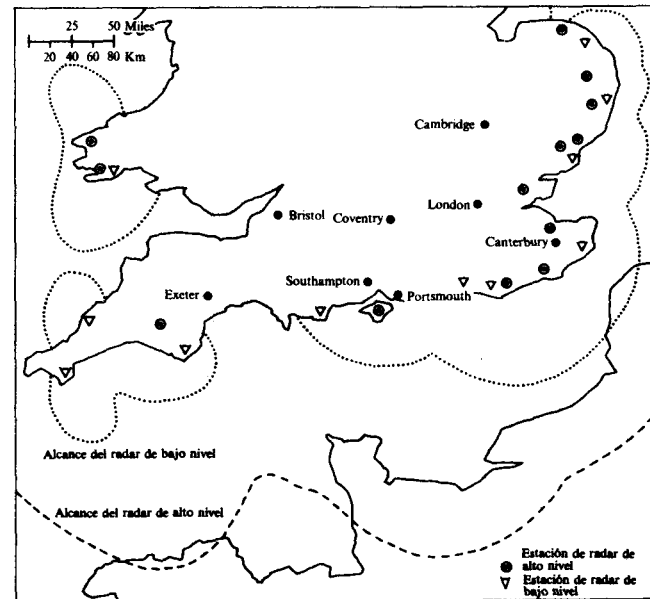


Fig. 13.5. Mapa del sistema de radar Chain Home.

aerea. Cuando estalló la guerra, los oficiales operadores estaban acostumbrados al uso de la técnica y «hechos al radar». Notese también que sir Hugh Dowding, jefe del Comando de Cazadores durante la Batalla de Inglaterra, había sido miembro de la Investigación Aérea, en 1935, cuando se constituyó la Comisión Tizard, de tal modo que ya estaba interesado en el radar y dispuesto a que este fuera la base de las operaciones militares bajo su mando. Estos lazos humanos entre científicos y combatientes fueron de gran importancia. Sin este respeto y confianza mutuos y sin el radar, la Batalla de Inglaterra no hubiera podido ganarse. Cuando la *Lustwaffe* atacó, los cazadores británicos, dirigidos al punto de interceptación por el sistema Chain Home, contraatacaron en cada punto. La fuerza y eficacia del Comando de Caza-

adores se dobló prácticamente, al no tener que montar continuamente patrullas para detectar al enemigo. Con esto se midió el poder de la nueva arma.

Sin embargo, la superioridad británica en el radar, en estos primeros y decisivos años de la guerra, no se debió a una capacidad científica superior en radio-ingeniería,

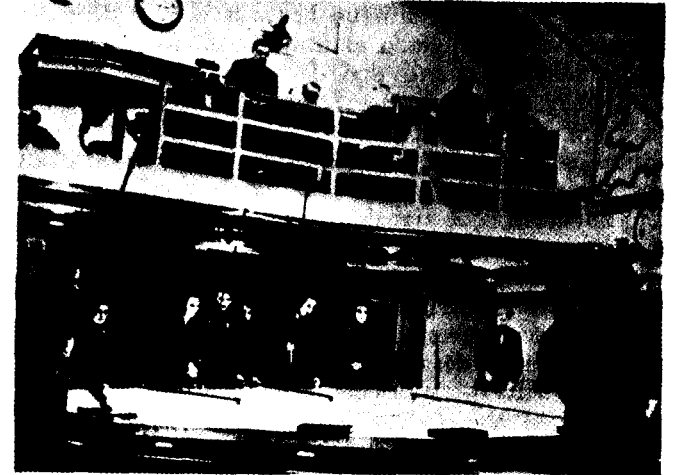


Fig. 13.6. Delmeantes y funcionarios-jefes de la WAAF. Cuarto de operaciones en los cuarteles generales del Mando de Cazadores, en 1940.

ni tampoco al descubrimiento de algún inimaginable secreto de la naturaleza. El factor significativo es el juicio prudente de unos cuantos funcionarios de alto rango, políticos y científicos que estaban dispuestos a trabajar conjuntamente sin considerar demasiado el protocolo de servicio, que podían responder tanto a las propuestas teóricas heterodoxas, como a la experiencia práctica de los hombres de acción, y que vieron la absoluta necesidad de usar, con rapidez y economía, los recursos limitados de hombres y materiales. Los científicos no solo aportaron la técnica, sino también su realismo racional, su independencia de las doctrinas militares convencio-

nales y su capacidad para captar los objetivos primarios de la operación total.

La gran novedad técnica que mantuvo esta superioridad inicial, llegó el verano de 1940. Como hemos visto, era fundamentalmente necesario que todos los sistemas de radar tuvieran longitudes de onda mucho más cortas, para que pudieran emitir un haz más preciso de radiación que recorriera todo el firmamento. Esto podía lograrse solo con cierto tipo de válvula transmisora de alta potencia. Los alemanes creyeron que era imposible pero, en el otoño de 1939, varios equipos británicos, formados principalmente por físicos nucleares académicos, empezaron a investigar sobre este problema. J. T. Randall, que trabajaba en la Universidad de Birmingham, bajo la dirección de M. H. L. Oliphant, examinó la idea de construir una cavidad de resonancia en el interior de un aparato de microondas ya existente, el magnetron. El resultado fue casi un éxito instantáneo -10 kilovatios de energía a una longitud de onda de 10 centímetros-, suficiente para un sistema de radar radicalmente nuevo. Este fue el principio de la tecnología de microondas que ahora domina la ingeniería de radar y telecomunicaciones. La misión técnica enviada de Inglaterra a los Estados Unidos, en septiembre de 1940, llevó consigo un «magnetron de cavidad», del que se ha dicho que es el producto singular más valioso que jamás cruzó el Atlántico. Aquí vemos el tipo de aportación que la ciencia fundamental académica puede dar a la guerra: un «arma secreta» revolucionaria, producida en medio del conflicto, capaz de cambiar el equilibrio táctico del poder en una amplia gama de operaciones militares.

Pero la explotación de la novedad presentó demandas ulteriores a la comunidad científica de Inglaterra y Estados Unidos. Debía descubrirse muchos nuevos medios técnicos antes de poder manejar las microondas con eficacia (fig. 13.7). Debían desarrollarse muchos tipos diferentes de radar para la puntería automática de los cañones antiaéreos, para la interceptación de cazas nocturnos,

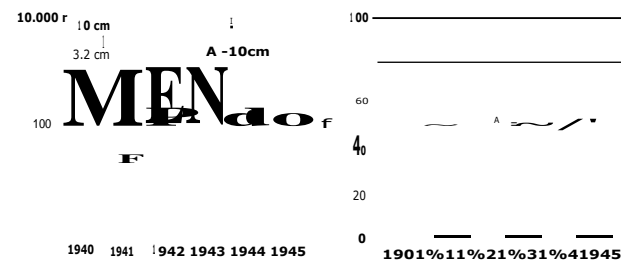


Fig. 13.7. Desarrollo histórico de los magnetrones de microondas.

para la detección de submarinos, bombardeos, detección naval y puntería de cañones, etc. Un trabajo particularmente difícil era el diseño de una espoleta de proximidad -un aparato de radar incorporado a un proyectil de artillería, que explotaría a corta distancia de su objetivo. Tomamos como un hecho la pantalla indicadora por la cual la antena rotativa de un aparato de radar se sincroniza con el movimiento rotativo de un haz electrónico frente a un tubo de rayos catódicos para trazar un mapa a partir del eco del radar. Este artefacto es fácil de imaginar, pero requiere gran habilidad su diseño y su puesta en operación práctica.

Hoy en día, los ingenieros electrónicos, esto es, tecnólogos acostumbrados al uso de los métodos básicos y experimentados en el diseño práctico, harían este tipo de trabajo de desarrollo. Pero en 1940 no existían; la tecnología de ingeniería de microondas, completamente nueva, estaba aún en pañales. Muchos físicos investigadores académicos fueron llamados al nuevo gremio. De hecho, una buena parte de los físicos universitarios ingleses que ahora rozan la cincuentena, tuvieron esta valiosa experiencia durante la guerra. Esta es una de las razones para que la aplicación de las técnicas electrónicas de microondas en todas las ramas de las ciencias físicas haya estado tan de moda, después de la guerra. La enteramente nueva ciencia de la radio-astronomía era sólo uno de los subproductos intelectuales de la ingeniería del radar.

La presión tremenda de terminar el trabajo creó una



atmosfera humana especial dentro de la organizacion de investigacion y desarrollo del radar. En septiembre de 1939, varios científicos universitarios visitaron los establecimientos de investigación del radar y se les mostro lo que se estaba realizando. Cuando empezaron el trabajo, no se les forzo a seguir la ruda disciplina burocratica, como hubiera sido el caso en una organizacion militar regular, sino que se les trato como a personas inteligentes e independientes. Muchos rasgos de la vida <<academica > fueron mantenidos dentro de *Telecommunications Research Establishment* (TRE) (Establecimiento para la Investigación en Telecomunicaciones), que se desarrollo a partir del pequeno grupo de 1936-1938. Un rasgo peculiar de la investigación inglesa sobre el radar fue el «soviet dominguero», donde los funcionarios mas antiguos de la RAF y otras personas <<importantes>> tomarian parte en discusiones abiertas con científicos bastante jóvenes, sobre los problemas operacionales y los nuevos artefactos tecnicos. El espíritu científico de libre debate entre intelectuales iguales se mantuvo asi dentro de la organizacion de desarrollo cerrada y secreta.

Los científicos <<puros>> tuvieron asi, en la segunda guerra mundial, logros de primer orden. Aunque podian, a veces, haberse beneficiado de las habilidades ingenieriles habituales, demostraron poder hacer cosas mas ally de las capacidades e imaginaciones de los expertos militares establecidos. Exitos similares en el campo de la investigación operacional, como el trabajo de P. M. S. Blackett y J. D. Bernal contra los submarinos, demostraron que los intelectuales científicos eran indispensables en la guerra moderna. Por esta razon, las organizaciones militares han continuado empleindolos desde entonces. Esto constituye uno de los hechos basicos de la ciencia de nuestro tiempo. Ningun Ministerio de Defensa moderno puede tener la arrogancia de prescindir de científicos bicos en gran escala, para sus actividades internas.

Recuerdese, sin embargo, que la segunda guerra mundial fue, para el bando aliado, absolutamente patriótica. Nunca se trato la cuestion, pero ninguno de los involu-

crados aceptaba la idea de perder la guerra. El problema básico del entusiasmo -creencia en la causa por la cual se esta luchando- se resolvía así y la creencia general (bien fundada) de que los nazis no se detendrían ante nada, eliminaba todas las inhibiciones éticas para este uso de la ciencia. Notese, por ejemplo, una observación de Bernal, en 1939, respecto de un posible boicot de la investigación de guerra: < En la presente situación mundial es incluso dudoso si tal política tendría buenos resultados, pues el primer efecto inmediato sería poner a los países democráticos en una situación desventajosa respecto de los fascistas.>>

Una vez mas, nos llevaria demasiado lejos discutir la aportación de la ciencia alemana al esfuerzo belico, aunque debe decirse que este descansaba mas en una destreza ingenieril inmensa que en la física o química académicas. La historia de la bomba atómica, con todo el drama de su investigación, desarrollo, decisión militar y espionaje, es también demasiado compleja ( y demasiado importante en si misma) para resumirla aquí en pocas paginas. Saltemos, por tanto, 20 años mas tarde, a otro episodio que ejemplifica la relación de la comunidad científica con la realización de la guerra: el debate sobre el ABM -*Anti-Balistic Missile System*- (Sistema de misiles antibalísticos), en Estados Unidos.

#### *Misiles contra misiles*

En 1955, los americanos estaban desarrollando misiles de tierra a aire para la defensa antiaerea y llegaron a la conclusión de que era técnicamente posible, con tal arma, dar en el blanco de un misil balístico enemigo, según se acercaba a la zona de su objetivo. El problema esencial, que creyeron podría ser resuelto entonces, era construir aparatos de radar de suficiente sensibilidad y precisión para asegurar la intercepción. En 1961, el sistema *Nike-Zeus*, que habría provisto de baterías de misiles antibalísticos de corto alcance para proteger las zonas de las

principales ciudades de Estados Unidos, estaba en su fase de prototipo.

Pero era obvio que este sistema no seria realmente muy efectivo como defensa contra los misiles rusos, a menos que se desarrollara a una escala extravagante, por lo que nunca se inicio su production. En 1963, se habia empezado a trabajar sobre un sistema ABM mas avanzado, Nike-X. En 1965, se habia confirmado claramente que los misiles enemigos podian ser interceptados y destruidos muy lejos, fuera de la atmosfera; se protegia asi una zona mayor del pals, pues al caer los misiles causarían menos danos. Pero se dirio todavia la decision de proseguir con la instalacion de este sistema.

Desgraciadamente, por este tiempo, hubo informe de que los rusos habian inventado un sistema ABM y estaban desarrollandolo en los alrededores de Moscu y Leningrado. Decian, en todo caso, que los ABM eran puramente defensivos, pero los expertos americanos en estrategia se preocuparon mucho, porque el equilibrio de la < disuasion mutua >> podria romperse si la Union Sovietica no debia temer ya la destruction terrible de un (contra) ataque americano. La alarma era superflua. Las cifras que dio, en enero de 1967, Robert McNamara, secretario de Defensa de los Estados Unidos, demostraban que aun un sistema ABM muy costoso alteraba muy poco la situation: los calculos estimados de muertes y danos reciprocos en una guerra nuclear total eran aun una vision demasiado terrible (tabla 13.1).

A pesar de todo, en septiembre de 1967, los generates conjuntos del Estado Mayor de Estados Unidos se salieron con la suya. Desput s de un debate sin conclusiones del Congreso, se tomo la decision politica de seguir adelante con un sistema ABM <<fino>>, llamado SENTINEL, que cubria vastas areas del pals. Se hablo de proveerse de una defensa contra las amenazas nucleases chinas, pero ello aiadio poca fuerza a un argumento convincente para embarcarse en un programa tan costoso, que ciertamente provocaria movimientos ulteriores en la carrera armamentista.

TABLA 13.1

Numero de muertos en un enfrentamiento estrategico total<sup>1</sup>

Programas de EE.UU.	Ataque soviético Revancha de EE.UU.		Ataque de EE.UU. Revancha soviética <sup>3</sup>	
	Muertes en EE.UU. (en millones) <sup>2</sup>	Muertes en URSS (en millones) <sup>2</sup>	Muertes en EE.UU. (en millones) <sup>2</sup>	Muertes en URSS (en millones) <sup>2</sup>
Aprobado ... ..	120	120†	100	70
Postura A ... ..	40	120†	30	70
Postura B ... ..	30	120†	20	70

<sup>1</sup> Suponiendo que no hay respuesta soviotica al desarrollo ABM de Estados Unidos. Las cifras de muertes indicadas aquf representan muertes a causa de la explosion y caída; no incluyen muertes que resultan de tormentas de viento producidas por grandes incendios, enfermedad y el dislocamiento general de la vida cotidiana.

<sup>2</sup> Los datos de esta tabla son muy sensibles a pequeños cambios en los modelos de ataque y a pequeños cambios en niveles de fuerza.

<sup>3</sup> Suponiendo que EE.UU. minimiza las muertes en URSS maximizando la efectividad de su ataque contra los sistemas ofensivos soviéticos.

En el centro del sistema SENTINEL (fig. 13.8) hay varios radares de captacion de perimetro (PAR) muy grandes y complejos, cuya funcion es rastrear los misiles que atacan a gran distancia. Este artefacto que cuesta cientos de millones de dolares, puede abarcar muchos objetos diferentes al mismo tiempo, <<orientando>> electronicamente los rayos del radar desde un vasto ordenamiento de antenas. De hecho, un aparato PAR funciona mas bien como un radiotelescopio al revés y presuntamente se ha beneficiado de la investigation en ese arte pacifica. Pero debe recordarse que los misiles de ataque vendrian acompañados de un enjambre de disfraces, como globos aerostaticos y cintas de metal, de modo que la tecnica de «captacion» no es tan simple. Sin embargo, si funciona correctamente, el PAR dispara un gran cohete SPARTAN de tres pisos, que puede interceptar en la atmosfera, a una altura de 200 a 300 kms., y destruir los misiles

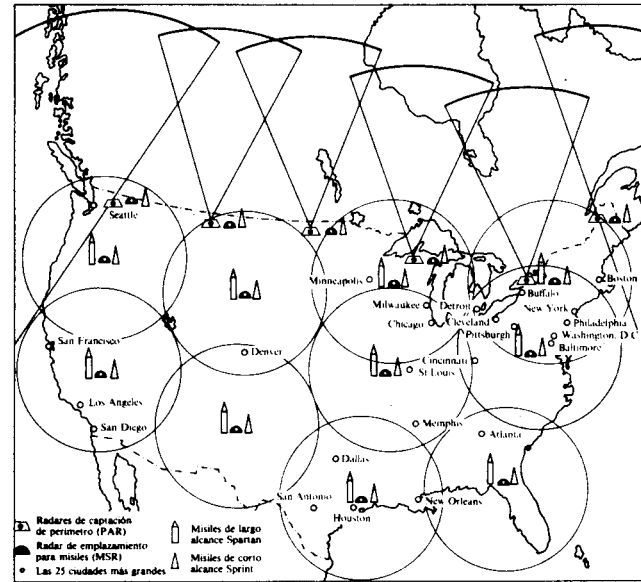


Fig. 13.8. Sistema ABM «SENTINEL», plan original.

enemigos con rayos X, desde una cabeza de combate termonuclear.

Pero supongase que el misil enemigo sigue adelante. Entonces lo espera SPRINT, un cohete de dos pisos de muy alta aceleración, conducido por un radar de emplazamiento para misiles (MSR), que puede interceptarlo a una distancia de cerca de 40 kms., en la atmosfera. Cada batería de SPRINT (o <<granja>> de misiles, como se la llama excentricamente) debe, por lo tanto, estar proxima del objetivo que defiende, por ejemplo, de una gran ciudad.

Todo esto cuesta dinero (tabla 13.2). El sistema basico SENTINEL, segun se suponía, costaba entre 5 y 10 billones de dolares, pero algunos piensan que esto no era probablemente mas que el principio de un gasto que ascendia a 40 billones de Mares. Notese, por ejemplo, el

TABLA 13.2  
Costos estimados de los sistemas ABM

	Costo de inversión (billones de dólares)	
	Postura A	Postura B
Sistemas de radar (PAR, MSR, etc.) ...	6,5	12,6
Misiles (SPARTAN, SPRINT) ...	2,4	4,8
Departamento de Defensa ...	8,9	17,4
Comisión de Energía Atómica ...	1,0	2,0
<b>Costo total de inversión (excluyendo investigación y desarrollo) ...</b>	<b>9,9</b>	<b>19,4</b>
Costo anual de operación ...	0,38	0,72
Número de ciudades defendidas ...	x	2x

costo enorme de los sistemas de radar -;cerca de mil veces mayor que el de la primitiva línea Chain Home, que sirvió tan bien a su proposito!

Para muchos, por supuesto, este gasto enorme fue muy bien recibido. El dinero de los misiles finalmente termina como dinero contante y sonante en los bolsillos de muchos miles de personas que trabajan honestamente o reciben su comision, cuando pasa la corriente de bienes. Los científicos e ingenieros estan implicados en gran medida. Se dice que la investigación y desarrollo de sistemas ABM ha costado cerca de 4 billones de Mares hasta 1968, y es el esfuerzo tecnico-cientifico mayor que jamas se haya emprendido. Este gasto podria, dicen algunos, haber sido justificado, aun cuando el arma nunca se hubiera instalado, como una precaucion para una eventual invasión del < otro bando>>. Pero tambien puede arguirse que la fuerza principal que mueve el diseno y construcción de tales sistemas, no es la demanda militar, sino las presiones de innovación que ejercen los mismos laboratorios

de investigación, que pagados para inventar nuevas armas, se sienten desgraciados e inquietos, si sus brillantes ideas no son ejecutadas.

Esta presión puede derrotarse a sí misma. Los chicos de la trastienda también han sido contratados para imaginar métodos de frustrar sus propios inventos. El sistema de radar ABM es, de modo bastante obvio, sensible a todo tipo de simulaciones; puede ser interferido con upaja>> (es decir, nubes de alambres finos) u oscurecido con una <<bola de fuego>> nuclear de partículas ionizadas (figura 13.9). Los rusos son presuntamente igual de in-

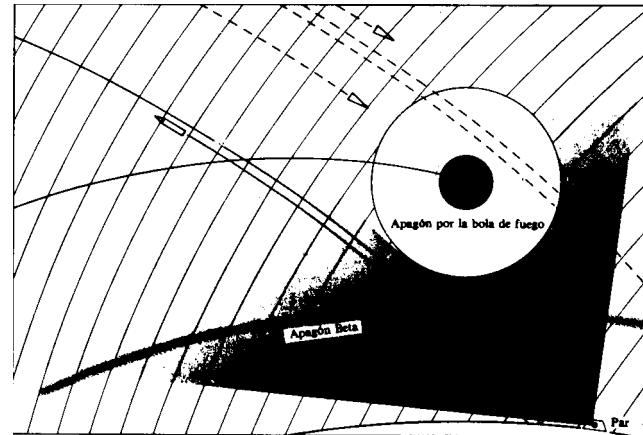
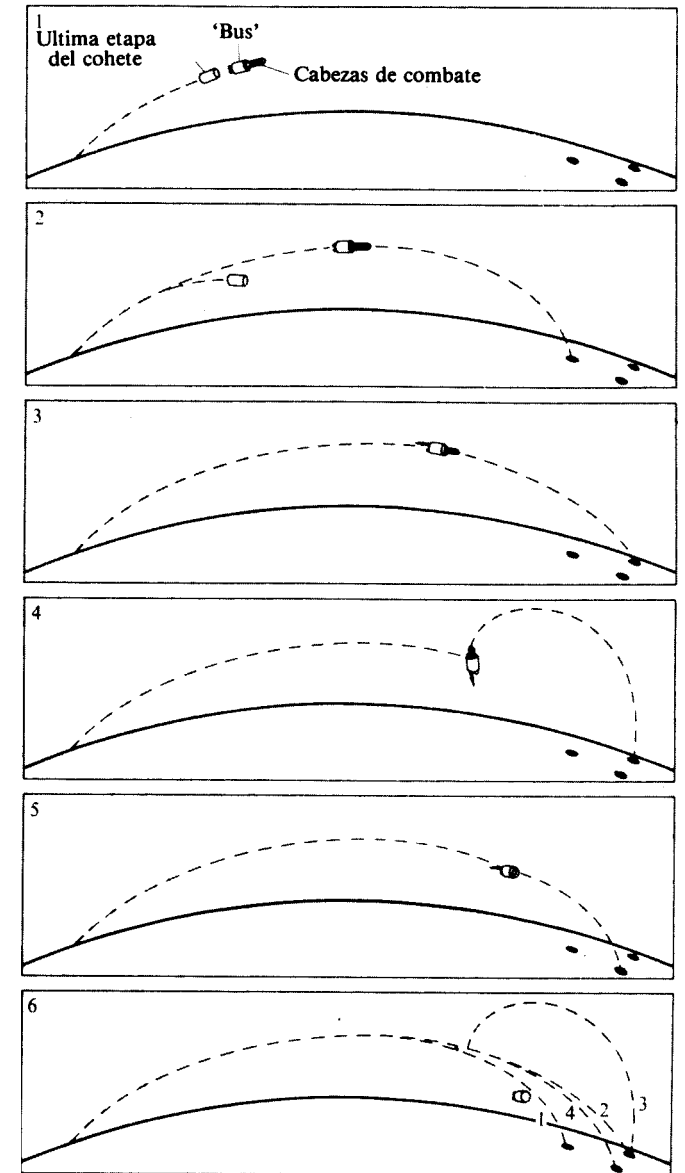


Fig. 13.9. La <<bola de fuego>> de una explosión nuclear en la atmósfera superior, oscureciendo totalmente la observación raddica de los misiles atacantes.

teligentes en el mismo juego y podrían poner en marcha otros trucos en los que nadie ha pensado. Las incertidumbres del juego arma-contraarma, en tiempos de paz, hacen que los científicos parezcan más importantes de lo que son en la guerra real, cuando sus artefactos maravillosos se prueban en las operaciones contra un enemigo real.



En efecto, en diciembre de 1967, apareció una nueva serie de iniciales -MIRV (Vehículo de reentrada múltiple independiente)- (fig. 13.10). Cada cohete principal contiene varias cabezas de combate nucleares, cada una de las cuales puede separarse de manera independiente, para dar en un blanco diferente. El efecto militar de esto podría ser la anulación de la respuesta de Estados Unidos, después de un ataque por sorpresa por parte de, digamos, la Unión Soviética, dado que estas cabezas de combate podrían ser dirigidas a destruir los misiles americanos, en su almacén, antes de que pudieran siquiera ser lanzados.

Prescindiendo de lo que pudiera estar sucediendo tras bambalinas, la instalación del sistema SENTINEL empezó en 1968. Pero cuando los habitantes de esas localidades vieron que estaban estableciendo granjas de misiles ABM en los suburbios de sus propias ciudades, surgió una gran protesta política. Nadie quería cabezas de combate, nucleares, que podían ser destruidas, pocos segundos después de la notificación, en sus propios patios traseros, aun cuando fueran para su propia protección. Así la nueva administración de Nixon hizo un rápido cambio a un nuevo sistema llamado SAFEGUARD: los ABM debían ser instalados alrededor de los almacenes de misiles ofensivos, en lugares desiertos lejanos, para protegerlos contra el primer golpe de un ataque sorpresivo.

El verano de 1969, un gran debate político se abrió en el Congreso sobre el futuro del sistema ABM. Por primera vez, la oposición científica y técnica a la defensa antimisiles se manifestó abiertamente y se trocó en un caso de fuerte interés público, en artículos, libros y testimonio de expertos ante las Comisiones del Congreso. Protestas públicas, como la marcha de 100 físicos a la Casa Blanca (fig. 13.11), tuvieron probablemente menos influencia que las opiniones de expertos muy destacados -incluidos cinco antiguos consejeros científicos de la Presidencia y otras «autoridades» de nivel superior- sobre las capacidades probables del arma y sus efectos en el equilibrio estratégico de poder. Pero son dignos de



Fig. 13.11. Los científicos se reúnen/restan contra de los ABM.

compasión los pobres senadores que tenían que decidir entre las estimaciones conflictivas sobre la precisión a que podían llegar probablemente los hipotéticos MIRV rusos y sobre el número de los misiles americanos *Minuteman* que quedarían después del ataque probable más eficaz. Las diferencias entre el profesor Albert Wohlstetter (en pro de los ABM) y del profesor George W. Rathjens (en contra de los ABM), por ejemplo, dependían de suposiciones respecto de la resistencia a la onda explosiva de un almacén de *Minuteman*: ¿sería afectado o no por una explosión con un megatón de fuerza, a la distancia de un octavo de milla? (Más estrictamente: < se puede (a) usar el diagrama de Pacard y una suposición CEP para leer un PK, o (b) usar los datos de Nitze y un exponente para hacer la escala del radio letal con la canti-

dad producida, para deducir los PI para 1-MT, usando los PK para 50-KT, pero no ambos\*.)

En ese tiempo, el análisis global de si es mejor, mas barato, mas prudente, etc., tener los MIRV y/o los ABM, habia llegado a ser irremisiblemente confuso. Los analistas, de armas inventaron parametros como el siguiente:

Costo en dolares de los misiles adicionales por fabricar en sustitucion de los «suprimidos» por los ABM

«Tasa de costo financiero»>>:

Costo de los ABM

Però este margen de error de tres constituiria una diferencia muy grande respecto del resultado humano, como muestran estas cifras (tabla 13.3). Estos argumentos cuantitativos no son mas convincentes que la logica verbal, cuando los datos son tan vagos.

TABLA 13.3

Muertes en EE.UU. (en millones)	Tasa de costo financiero
40	1/4
60	1/2
90	1/1
100	Caso indefendible.

Al final, los opositores de los ABM perdieron la batalla en el Congreso, por solo un voto. En 1970, el Departamento de Defensa encontro un camino mas facil, pero con el *Strategic Arms Limitations Treaty* (SALT) (Tratado de limitacion de armas estrategicas) y varias *detentes* diplomaticas entre las superpotencias, la cuestion de los ABM habia cambiado de significado (fig. 13.12). Los rusos, por ejemplo, renunciaban al sistema ABM para Lenigrado, que fue la chispa para la reaccion americana, y

mantenian solo una tenue defensa para Moscu. Los sistemas fantasticos, monstruosos, de armas <<disuasorias>> existen todavia como una amenaza desesperada a toda la humanidad, pero- los factores politicos asumidos en mu-

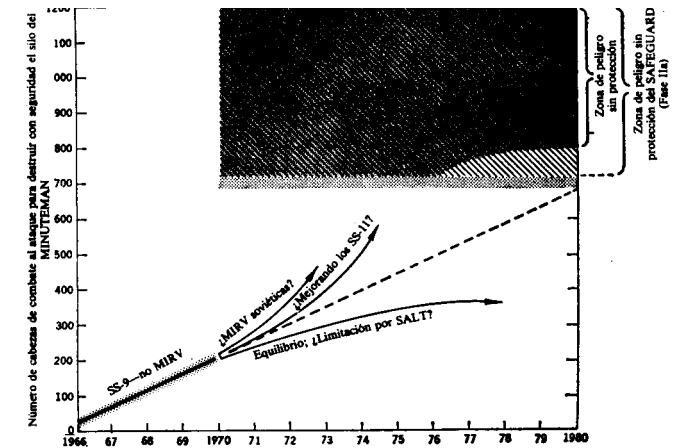


Fig. 13.12. Gráfico de los posibles movimientos soviéticos en el desarrollo del armamento.

chos análisis, han cambiado de peso y forma. Sólo podemos sufrir y comentar cómo se hace a sí misma la historia, o la hacen.

### Los soldados técnicos

Però los científicos están ahora completamente integrados en la maquinaria estatal de fabricación de la guerra. La movilización temporal de la comunidad científica en las guerras mundiales se ha venido haciendo permanente. Las naciones desarrolladas están gastando una fracción significativa de su producto nacional en investigación y desarrollo para propósitos directamente militares. El Reino Unido, por ejemplo, opera la industria militar más

fuerte en investigación del mundo, gastando (en 1964) 62,2 libras por cada 100 libras de equipamiento militar comprado (vease fig. 276). Un número muy grande de hombres y mujeres formados científicamente, están empleados, a tiempo completo, para la concepción, diseño, producción y comprobación de armas para matar a otros hombres y mujeres o para destruir los frutos de sus trabajos.

No se trata de un fenómeno marginal que solo tenga una significación simbólica. Significa que aproximadamente un cuarto de los estudiantes aprenden ciencia o ingeniería, haciendo este trabajo; Significa que un gran número de nuestras autoridades científicas dirigentes —no meramente los grandes jefes administrativos, sino también los «curanderos» intelectuales— están personalmente implicados, aun en tiempos de paz, en las decisiones sobre estrategia y técnica militares. Hombres como Hans Bethe, Freeman Dyson, Paul Doty o George Kistiakowsky, con categoría de Premio Nobel, son respetados por sus contribuciones al conocimiento puro, no por su poder político; sin embargo, se encuentran actuando ellos mismos como potentados, obligados a cargar su influencia para uno u otro lado, privadamente o en público, como consultores, consejeros, testigos, *expertos* en esta monstruosa perversión de las necesidades sociales. Ni ellos ni tampoco sus contrarios soviéticos, chinos, británicos, franceses, japoneses o israelíes tienen la culpa. Este es el mundo en que todos vivimos.

Hemos sido testigos hasta del nacimiento de una especialidad científica nueva directamente ocupada en la guerra. A los científicos del radar, del cohete y nucleares, se suman ahora los «analistas estratégicos» que dicen a los soldados como deberían luchar eficazmente en las guerras. Son estos los sucesores de los especialistas de investigación operacional de la segunda guerra mundial, que enseñaban, mediante un simple análisis estadístico, el mejor modo de disponer los horarios de servicio para la aviación, o cuál era la profundidad óptima para hacer explotar una carga de profundidad suspendida cerca de

un submarino. En esos días inocentes, aplicaban las matemáticas a los problemas de táctica y logística; durante la guerra fría, han estado luchando en escenarios estratégicos calientes de sus computadores, buscando soluciones de teoría de juegos, según las cuales no todos los combatientes queden en ruinas!

Es un desarrollo intelectual interesante el intento de hacer «ciencia» a partir del conflicto y la guerra. La guerra, por supuesto, siempre ha tenido sus practicantes expertos, sus profesiones, su sistema de formación, sus colegios, sus universidades, como cualquier otra tecnología. Ha habido famosos teóricos, como Clausewitz (1780-1831), que casi llegó a poseer un tipo de mente filosófica.

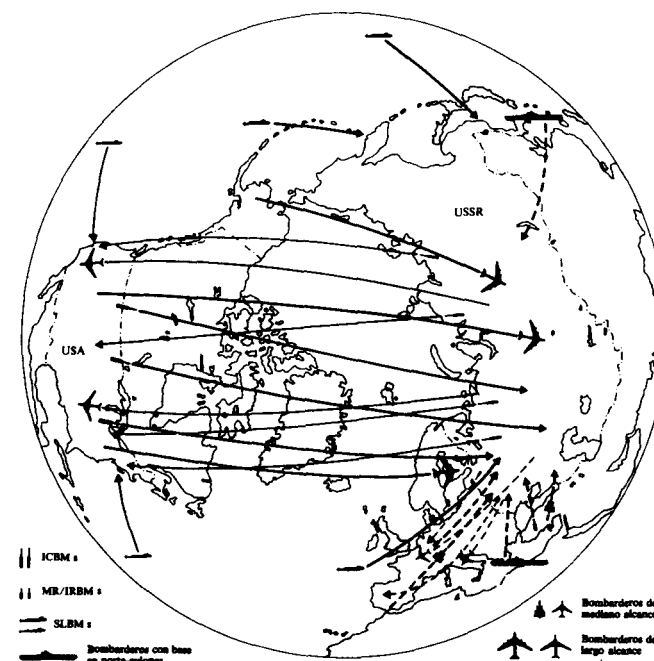


Fig. 13.13. Mapa que muestra el equilibrio estratégico.

Pero en la Corporacion RAND y en el Instituto Hudson -los llamados <<tanques pensantes>>, mantenidos por la maquinaria militar americana-, se ha hecho el intento de llevar esta ciencia a su estudio cuantitativo final. Aunque uno sea esceptico respecto del valor del consejo que ellos dan en temas esencialmente incuantificables (<< Cuantos dolares por megamuerte? », no puede menos que quedar fascinado del virtuosismo intelectual desplegado en una mision tan grotesca.

Es triste tener que decir que la mayoría de los científicos empleados en la investigación militar se muestran bastante complacientes. Se justifican a si mismos apelando a su deber patriótico y realizan sus trabajos técnicos con entera devoción. No hago una crítica de su juicio moral; constato simplemente el hecho.

Sin embargo, una tradición de disenso y de argumentos contrarios por parte de los expertos, en nombre de los valores humanos más universales, se ha ido estableciendo en los últimos 20 años -desde Hiroshima quizá- y manifiestamente va ganando fuerza. Fue una novedad que mandarines científicos como Killian, Kistiakowsky, Wiesner, Hornig, Rathjens, York, Bethe, Goldberger, Panofsky y Drell, se despojaron de la túnica de su influencia privada en Washington y hablaron en la arena política pública contra los ABM, no solo como <<ciudadanos preocupados>>, sino como verdaderos expertos en la guerra nuclear. La campana contra las armas químicas y biológicas y contra algunos de los peores excesos técnicos en la guerra de Vietnam, esta dentro de la misma tradición. La gran ciencia ha llegado a madurez en los Estados Unidos y ahora esta aprendiendo a enfrentar las cargas y responsabilidades morales de ser un estamento dentro de la nación.

En el corazón de estos movimientos, hay un poderoso sentimiento antibélico entre los científicos, basado en la experiencia personal de la cooperación internacional (página 246) y en la convicción moral de que la ciencia debe servir al bien general de la humanidad. La universalidad del conocimiento científico, la búsqueda ardua de

un consenso que trasciende las fronteras políticas, es completamente contraria al militarismo y al nacionalismo agresivo. Estos rasgos fundamentales de la vida científica los entienden bien la mayoría de los líderes científicos, que mantienen sinceramente los sentimientos a que dan origen, aun cuando, algunas veces, los corrompan ideologías políticas.

Se debería, por ejemplo, tomar nota del movimiento *Pugwash*, que ha intentado desde el principio, asumir una línea internacional positiva y abrir las comunicaciones humanas para aclarar los malentendidos y encontrar técnicas que favorezcan la confianza mutua y un clima adecuado para el desarme. Esta ha sido una tarea especial de una parte de la élite científica del mundo; nadie sabe todavía (o quizá no podrá juzgar nunca) cuanto se ha hecho, pero era, sin ninguna duda, lo que debería hacerse. Entre los científicos, como entre otros hombres, la guerra tiene también sus opositores auténticos.



<<La historia del hombre, a través de las gradaciones y cambios que sufre al avanzar de la barbarie primitiva al estado de civilización, muestra que la urgente necesidad de proveer a sus carencias y lograr su seguridad ha sido el principal estímulo del hombre para cultivar la ciencia y desarrollar sus capacidades inventivas.>>

La exigencia moderna de que la ciencia sea útil y socialmente responsable vuelve meramente a poner de relieve las virtudes antiguas que siempre fueron aceptadas.

La ciencia, por supuesto, ha satisfecho casi hasta la saciedad, estas necesidades. No es necesario hacer la lista de sus logros médicos, agrícolas e ingenieriles. Gracias a ellos, vivimos vidas bastante diferentes, en un mundo diferente del que padecieron y gozaron nuestros abuelos. El hecho de que esta transformación de la condición humana pueda originar necesidades ulteriores y otros serios problemas, es una cuestión aparte, a la cual volveremos más adelante.

Al mismo tiempo, no debemos omitir las necesidades espirituales que la ciencia satisface. La curiosidad humana por el mundo en que vivimos, no es una fuerza psicológica irreal. La necesidad de descubrir algo acerca de las cosas no debería ser subestimada o descontada; es un error peculiar de aquellos que deploran el <<materialismo>> del conocimiento científico y sus consecuencias prácticas.

#### *Política de la ciencia*

Hasta hace poco, la ciencia ha respondido a estas necesidades casualmente por el crecimiento espontáneo dentro de una política general de *laissez faire*. La investigación ha seguido las inclinaciones de los individuos o ha girado de un modo a otro, según la moda o el consenso de los grupos privilegiados que ejercían la autoridad científica.

En la práctica, esto significa que las decisiones se toman de acuerdo con los *Internal Criteria of Scientific Choice* (Criterios internos de la elección científica) de Alvin Weinberg. Antes de embarcarse en un programa de

*Mientras no pretendamos ser competentes,  
no se hará ningún daño.*

ARNE NAESS

Tratemos ahora de considerar la ciencia desde fuera, esto es, desde el punto de vista del 95 al 98 por 100 de la población, que no son científicos, tecnólogos, ingenieros o físicos. ~Que significa la ciencia para ellos? &OR que deben sostenerla tan generosamente con sus impuestos?

La necesidad individual más evidente ha sido siempre el bienestar material. En todos los tiempos, en todos los lugares, los hombres han luchado para proveerse a sí mismos de alimento, vivienda, transporte y otros bienes y servicios. Satisfacer tales necesidades, ha sido siempre uno de los propósitos primarios de la ciencia. Retrocedase a Francis Bacon o a los manifiestos de los fundadores de la *Royal Society* y se encontrará una fe ilimitada en <<el mejoramiento de las artes manuales>> que debía llegar por la observación, la teoría y la experimentación. El discurso presidencial de W. Fairbairn a la *British Association*, en 1861, es una muestra típica de la actitud meditada y sincera del hombre de ciencia de mediados de la época victoriana.

investigación, se hace preguntas tacitas: ~este tema concreto esta maduro para ser explotado?, shay buenas cosas por hacer en este campo?, zno es el terra demasiado viejo, y no se ha trabajado ya de sobra en el?, shay gente apta disponible para hacer la investigación? Todas estas preguntas se encaminan a lograr un progreso *dentro* de una rama particular de la ciencia, casi como si se practicara por si misma. La ventaja es, por supuesto, que los expertos científicos en esa rama pueden frecuentemente responderlas con bastante exactitud; lo que, al menos, garantiza que el esfuerzo no va a malgastarse en tareas estériles o triviales. Si nuestro objetivo es simplemente «hacer retroceder las barreras del conocimiento» mediante una investigación <<pura>>, «básica>>, <<fundamental>>, estos criterios están entonces lejos de ser adecuados. De hecho, esta ha sido normalmente la estrategia implícita en el método de la <<inspección hecha por iguales > para asignar fondos a través de los consejos de investigación, la Fundación Nacional de Ciencia y organizaciones similares (pag. 270).

Pero la comunidad mundial de la ciencia es demasiado grande y esta demasiado íntimamente relacionada con los asuntos prácticos para que tal política pueda continuar. Una imposición rigurosa de los criterios internos no haría el uso óptimo del gran número de aspirantes a investigadores, formados técnicamente, que están ahora reivindicando empleos. La cantidad de dinero disponible para la investigación es limitada y se dispersaría demasiado, si cada quien fuera subvencionado para hacer una investigación de su propia elección. El pensamiento político y económico serio y la experiencia del éxito en investigación militar e industrial indican claramente que la ciencia debe ser planificada para realizar objetivos más explícitos *f uera* de la comunidad científica.

Según la naturaleza de las cosas, los resultados de la investigación no pueden ser planeados en detalle. ¿Quién puede saber el resultado de un nuevo experimento? Si pudiera predecirse el resultado, entonces el experimento sería innecesario. Pueden malgastarse esfuerzos -e in-

cluso infligirse una autoderrota- al diseñar un programa preciso de investigación; el intento de realizar un programa preconcebido solo esclaviza la imaginación en su tendencia a ver las cosas desde nuevos puntos de vista. Hay una lógica interna de la naturaleza que impide el éxito prematuro. Por ejemplo, un esfuerzo determinado para construir una máquina voladora más pesada que el aire hubiera sido infructuoso antes de la invención del motor de combustión interna. ¡Y un proyecto ilustrado, en 1850, para mejorar el caballo como medio de transporte, hubiera seguramente imposibilitado el invento del coche! La jerga de la producción industrial -<<normas>>, <<realización del plan en porcentaje>>, etc.- es ridículamente inapropiada para la actividad científica.

Pero las objeciones a la investigación planificada pueden ser exageradas. Dentro de la ciencia <<normal>>, la gama de problemas dignos de ser estudiados puede definirse, y pueden valorarse las perspectivas generales de un resultado con éxito. Precisamente como en el desarrollo tecnológico, el progreso en la exploración de un campo abierto recientemente a la investigación básica, depende tanto de una sucesión de pasos pequeños, relativamente predictibles, como de grandes saltos singulares de imaginación. El gran número de científicos que están trabajando hoy en el mundo, no pertenece, en absoluto, a la primera categoría de capacidad, según Landau (pag. 89). Puede utilizarse del mejor modo sus capacidades en tareas de rutina dentro de un esquema organizado. Un método para asignar recursos financieros según un plan general rudimentario puede lograr un equilibrio general de los esfuerzos, sin grandes restricciones para los científicos individuales.

A esto se llama hoy <<Política de la Ciencia>>. La tarea de los que la hacen, quienesquiera que sean, es observar las brechas en el frente de la investigación, tomar en cuenta las importantes necesidades sociales -las nuevas fuentes de energía o la protección del medio ambiente natural-, y lograr que las brigadas de científicos hagan las maniobras en la dirección de ataque apropiada.

En esta tarea es natural aplicar los *External Criteria for Scientific Choice* (Criterios externos para la elección científica) de Weinberg. Podemos evaluar un proyecto, en primera instancia, por su *merito tecnoldgico*: conduce la investigación a un mejoramiento bastante evidente de las técnicas existentes o propuestas? Esto se aplicara, por ejemplo, a las mediciones cuidadosas de la sección eficaz de fisión de los núcleos atómicos, requeridos para el diseño de un reactor productor de material fisiónable. Podemos considerar el *merito científico*: ¿tiene el desarrollo en este campo consecuencias importantes en otras áreas? Así, la biología molecular tiene una significación enorme a largo plazo para todas las ramas de la medicina y de la biología; mientras que descubrimientos en física de alta energía, aunque hermosos en sí mismos, no tendrían probablemente demasiado impacto en la física del estado sólido o en la química. ¿Podríamos aplicar el criterio de *merito social*: ¿tiene esta investigación aplicaciones potenciales de gran valor social? Según este criterio, la genética pura es siempre significativa, pues toca al hombre en un aspecto fundamental, y es capaz de producir nuevas técnicas extremadamente poderosas que podrían constituir un gran beneficio humano.

#### *La organización de la ciencia*

Establecer meramente estos criterios no nos dice como ponderarlos comparativamente. En última instancia, la política de la ciencia depende de juicios de valor —la tasación del éxito probable, la imaginación de posibles consecuencias, etc. Se ha convertido en una de las artes más elevadas de gobierno, con sus propios expertos capaces, su propia literatura técnica, sus propios triunfos y fracasos.

Buena parte de la discusión gira alrededor del modelo de organización de la investigación —las jerarquías de mando, la colección de los datos y el control presupuestario que vinculan a los que hacen la política en el más

alto nivel, con los institutos de investigación, universidades y científicos individuales. En gran medida, estos procedimientos administrativos dependen del estilo de gobierno o industria dentro de los cuales están encuadrados. En Francia, el esquema es racional y centralizado, como en toda la maquinaria gubernamental francesa; en Inglaterra es empírico, oportunista y depende en alto grado de los lazos personales entre los dirigentes máximos de varias esferas de influencia; en Estados Unidos, es pluralista y competitivo, reflejo de la división de poderes entre varias agencias y corporaciones semiautónomas. No hay una fórmula ideal para la construcción de una maquinaria de investigación apta para todos los países y todas las circunstancias.

Considerese, por ejemplo, la pregunta de si debería haber un *Ministerio de Ciencia*, comparable con un Ministerio de Defensa o de Educación. Los argumentos en pro se formulan simplemente. La ciencia tiene cierta unidad de método y de técnicas y la practican hombres y mujeres con calificaciones y estilo de vida similares. Como hemos visto (pág. 290), la investigación puede ser considerada como una inversión de capital a gran escala que hace la sociedad, incierta en sus beneficios inmediatos, pero prometedora de muy grandes rentas a largo plazo. La producción de conocimientos es lo que los economistas llaman una *mercancía colectiva indivisible*, que no se adapta fácilmente a las fuerzas del mercado bursátil. Los incentivos capitalistas de la ganancia no son satisfactorios, pues pueden conducir a un desperdicio de recursos, de intereses y a destacar innovaciones triviales o dainas. La sociedad en su conjunto debería definir sus propios objetivos y sus propias prioridades: la planificación de la ciencia se constituye en una parte de la responsabilidad gubernamental general de previsión social y prudente inversión. Una voz que represente a la ciencia a nivel del gabinete gubernamental parece, por tanto, esencial.

Pero al hablar de una ciencia aplicada, presumimos que esta directamente encaminada a fines particulares. La investigación sobre energía nuclear, por ejemplo, es una

parte de la <<mision>> de aquellos que construyen centrales de energía; la investigación sobre las enfermedades humanas está obviamente relacionada con el trabajo de los hospitales y servicios de sanidad. Tiene sentido asignar responsabilidades -y gastos- por tal investigación a la organización que gobierna cada una de tales actividades. La investigación sobre sistemas de transportes debería proponerla y pagarla la industria del transporte o el Ministerio de Transportes, más que considerarse como una de las funciones de un Ministerio general de Ciencia, sostenido por un <<presupuesto para la ciencia>>. Desde este punto de vista, podemos observar las variaciones relativas del esfuerzo de investigación en varias actividades sociales, como síntomas de las diferencias de énfasis en las mismas actividades: la pobreza de la investigación y desarrollo en la industria ferroviaria (pág. 280) es meramente un subproducto de la carencia de inversiones en el transporte ferroviario. En otras palabras, la tarea de los que hacen la política científica, no es proveer de resultados de la investigación para que se aplique aquí o allí, sino asegurar la existencia de una actitud científica frente a la innovación y de adecuadas instalaciones y materiales para la investigación en cada actividad significativa de la sociedad.

#### *El lugar de la investigación básica*

La función social de la investigación *básica o pura* es mucho más compleja. Podemos considerarla de tres modos diferentes, cada uno de los cuales sugiere un mecanismo diferente de administración y apoyo financiero.

1. *La investigación básica es el fundamento necesario para la investigación aplicada, aunque sea más especulativa y requiera un plazo mayor para producir frutos prácticos.* Desde este punto de vista, una ciencia académica, pura, como la teoría cuántica del estado metálico, se justifica porque podría, en 20 ó 50 años, ser la base de nuevas prácticas en la manufactura de aleaciones. Hemos

mencionado cierto número de casos (caps. 2, 7, 8) en que los principios científicos han resultado finalmente inmensamente valiosos para la creación de nuevas tecnologías. Aunque no podamos ver ahora esas utilidades, no se requiere gran imaginación para pensar que una proporción alta de nuestras ciencias puras actuales son < potencialmente aplicables >> en este sentido. El apoyo a la ciencia básica es, por lo tanto, una responsabilidad propia de todos los órganos de investigación aplicada y desarrollo, quizá en una proporción aproximada del 10 por 100 del dinero y los hombres empleados. En otras palabras, deberíamos seguir el ejemplo de la compañía *Bell Telephone* y formar equipos de científicos puros en cada laboratorio de investigación industrial.

2. *La ciencia pura es una gran aventura estética y espiritual para la humanidad y merece ser realizada por sí misma, como cualquier otra forma de arte.* ~Que estaría haciendo nuestra civilización compleja de la abundancia, si no produce esta y otras formas de productos valiosos humanamente? La astrofísica y la teoría de las partículas elementales pueden no producir nunca muchos productos alimenticios, pero echar una ojeada, gracias a ellas, a la naturaleza del universo vale más que cualquier beneficio material. La sociedad debería, por lo tanto, financiar esta actividad, como un bien general, con el mismo espíritu con que pagamos por los parques públicos y las orquestas sinfónicas. El hecho de que algunas de estas investigaciones sean muy costosas (cap. 9) y solo puedan realizarlas muy grandes equipos de científicos profesionales a tiempo completo, no nos excusa del cumplimiento de nuestro deber espiritual de pagar caballeramente nuestra contribución.

3. *La investigación académica es valiosa porque es lo que los académicos están inclinados a hacer.* La educación en las disciplinas científicas más elevadas es necesaria en la sociedad moderna, para producir expertos técnicos competentes. Aquellos que enseñan tales disciplinas solo pueden mantener agudas sus inteligencias y su ciencia preparada para la crítica, si están activamente compro-

metidos en la competicion de la investigacion. Desde este punto de vista, importa poco que problemas intentan resolver, con tal que trabajen laboriosamente para resolverlos. El apoyo modesto a la investigacion academica no es directamente <<productivo>>, pero de modo indirecto, tiene un gran valor, porque concentra en las universidades los mejores intelectos y enfoca maravillosamente sus inteligencias. La ciencia pura, por tanto, se ha convertido en una responsabilidad para las instituciones de educacion superior y la proeza cientifica debe ser considerada como el atributo mas importante de un profesor universitario.

Estos puntos de vista manifiestan las posiciones extremas de un debate triangular dentro del cual podemos encontrar la mayor parte de los diversos razonamientos en apoyo de la ciencia basica. No hay ninguna formula homogenea que haga la mezcla eficaz de los motivos utilitarios, romanticos y academicos de la investigacion; depende, en cada caso, de las condiciones y prioridades locales. Pero la estupidez mas grave, ejemplificada en muchos paises en desarrollo durante las dos ultimas decadas (capitulo 11), es tratar la <<ciencia pura>> como si fuese una actividad singular uniforme, que debe mantenerse a todo costo, porque es la actividad moderna obligatoria o porque promete un atajo para llegar a la riqueza. Donde los recursos son limitados, la aplicacion de los criterios de la eleccion cientifica debe ser particularmente cauta y perspicaz. La tragedia final no esta en que se tomen muchas decisiones erroneas que conducen a terribles extravagancias en proyectos de investigacion <<prestigiosos>>, sino que pueda provocarse una reaccion contraria a la ciencia basica en favor de una tecnologia a muy corto plazo.

Por supuesto, la distincion entre ciencia <<pura>> y <<aplicada> es arbitraria. Una tecnologia moderna basada en la ciencia, como la electronica del estado solido o la manufactura de farmacos, esta intimamente relacionada con la investigacion academica fundamental de la cual se esta sacando continuamente nuevas tecnicas y nuevos descu-

brimientos teoricos. La existencia de un mercado para los hallazgos de la investigacion estimula la actividad cientifica en estas areas y asegura la orientacion de mucho dinero a la investigacion basica adecuada. Hay una diferencia practica muy pequeia entre, digamos, el intento de entender el modo de accion de un antibiotico existente y el desarrollo de una formula mejorada del mismo farmaco.

Segun la mitologia de la innovacion basada en la ciencia, los cientificos puros deberian estar siempre a la caza de aplicaciones fructiferas de su investigacion; en la practica esto no es facil (vease cap. 8). Sucede a menudo que a los cientificos empleados para hacer investigacion aplicada les seduce tanto una investigacion basica abierta, que olvidan lo que se supone deberian hacer. Se ha observado recientemente, por ejemplo, que en el estudio de los materiales magneticos -un campo con muchas aplicaciones, la grabacion de cintas, las antenas de ferrita, por ejemplo-, aproximadamente el 60 por 100 de los trabajos publicados se referia a temas fundamentales, que frecuentemente no llegan a producir ningun producto. Esta tendencia puede observarse especialmente en los grandes laboratorios gubernamentales e industriales (pagina 222), como los que se supone consagrados al desarrollo de la energia nuclear. En ausencia de poderosas fuerzas del mercado o de direccion firme, estos pueden perder el sentido de su <<mision>> tecnica y convertirse en meras confederaciones de grupos de investigacion independientes que estudian esencialmente los temas academicos. Muchas de las llamadas en apoyo de la investigacion <<socialmente relevante>> han sido elaboradas por este metodo.

### *g Quien administra la ciencia?*

El problema realmente dificil en cualquier politica nacional sobre la ciencia es darse cuenta y anticipar las necesidades sociales y juzgar si existen las posibilidades tec-

nicas para satisfacerlas. La maquinaria a través de la cual se explicitan tales necesidades, depende de la estructura política y económica de cada país; pero sea cualquiera la manera de explicitación -un artículo periodístico, las decisiones del secretario de un partido, preguntas en el Parlamento, prospectos de compañías-, la cuestión: «¿puede realizarse esto?», debe finalmente pasar a manos de los expertos científicos. ¿A quién puede encomendarse con seguridad, decisiones técnicas tan importantes? Es natural dirigirse a las «autoridades» -los académicos, la *Royal Society*, los directores de institutos de investigación, los profesores-, en busca de consejo. Pero los líderes nominales de la comunidad científica pueden ser demasiado viejos (véase fig. 3.34), estar demasiado ocupados en tareas ceremoniales, para estar enterados de los últimos desarrollos. O pueden estar totalmente dedicados a disciplinas obsoletas o a tareas rutinarias. Un campo de la ciencia, un tiempo dinámico y progresista, puede envejecer y perder su objetivo intelectual y, sin embargo, seguir siendo cultivado por la fuerza del hábito o de la formación antigua. Intelectuales de primera categoría tienen a menudo una capacidad sorprendente para mantener su vitalidad intelectual en la vejez, pero el equilibrio de las disciplinas en una academia de viejos hombres de estado científicos no representa probablemente las fuerzas reales que actúan en los laboratorios del momento presente. La *gerontocracia* -el gobierno de los viejos- es un peligro muy real en una comunidad académica y jerárquica.

Por esta razón, la ordenación de rangos de prestigio dentro de la República de las ciencias es una base poco satisfactoria para una estructura administrativa o para la elaboración de una política. Como vimos en el capítulo 6, los administradores científicos de éxito no son siempre los investigadores más creativos de su tiempo. Una cosa es ganar un Premio Nobel por intuiciones brillantes sobre las moléculas químicas tridimensionales; otra muy distinta, administrar un instituto de investigación con tacto y energía, o evaluar las potencialidades de los ma-

teriales poliméricos en la construcción industrializada. Es particularmente importante prestar atención a los jóvenes, a los críticos del orden establecido, a los que, estando fuera y sin ser científicos, son imaginativos, a las voces de la novedad y la heterodoxia. Es responsabilidad de la comunidad científica respecto de los posibles poderes, presentar una vista de conjunto comprensiva de toda la gama de potencialidades del desarrollo tecnológico o científico, más bien que reafirmar cautelosamente la sabiduría convencional. En la formación del buen científico se valora una actitud que aborrece escribir una opinión que no pueda substantiarse mediante experimento o deducción teórica; esta virtud puede limitar su visión del futuro impredecible en el que debe obrar la política.

#### *La valoración de la tecnología*

El especialista en ciencia o, tecnología aplicadas tiene otra debilidad al elaborar una política: suspira por una «situación tecnológica difícil». La electrificación, los tractores, las fábricas de fertilizantes y las plantas nucleares de desalinación deben destruir la pobreza asiática; los problemas de transporte de las ciudades se resolverán con taxis aéreos automáticos; máquinas-computadoras de enseñanza harán iguales a todos los niños, etc. Aun en el campo de la medicina, con su larguísima historia de interacción íntima entre técnica y práctica, permanece la creencia de que los medicamentos y las aplicaciones mecánicas que inventara la investigación médica, desterrarán todo el sufrimiento humano, y se da una atención inadecuada a los factores sociales y psicológicos.

Además de todo esto, está el juego de la *predicción tecnológica*, donde se entreve toda clase de trastos y artefactos deseables y/o indeseables, cuya inminente introducción -se predice entonces- será inevitable. Como una variedad de ciencia ficción más disciplinada, menos romántica, este juego tiene gran valor para des-

pertar la imaginación y llamar la atención sobre las posibilidades y tendencias que, de otra manera, podrían pasar desapercibidas; pero nuestra experiencia de los siglos pasados muestra que la fiabilidad de tales predicciones se ve reducida a la nada, en unas cuantas décadas. Las < profecias >> de mas éxito han procedido no de expertos técnicos, sino de hombres de letras -el cohete lunar de H. G. Wells, las armas atómicas de Olaf Stapledon, los contraceptivos de Aldous Huxley. Observe, de paso, que no todos estamos bordeando en nuestros helicópteros privados, como se predecía confiadamente, en los años 1930, sino que nos estamos dando cuenta de que es más conveniente viajar en tren, a | como Dios quería que lo hicieramos! >>

La objeción contra la situación tecnológica difícil es que pocas necesidades de la sociedad pueden afrontarse con innovaciones tan estrechamente concebidas y tan burdamente programadas. Los grandes logros de la investigación concertada, con carácter de misión, a gran escala, han sido *técnicos* -descubrir un avión enemigo, diseñar una vacuna contra la poliomielitis, hacer llegar un hombre a la luna. Pero muchos problemas de la sociedad son, como dice Jerry Ravetz, <<prácticos>>; son consecuencias de circunstancias históricas y están encarnados en seres humanos con todos sus prejuicios, conflictos y necesidades inmediatas presentes. La guerra de Vietnam ha demostrado, con sangre y terror, la impotencia de una técnica mecánica irracional contra el poder de la voluntad y la astucia humanas.

Reconociendo la incertidumbre de las simples innovaciones técnicas, algunos *futurólogos* (¿hasta cierto punto, no lo somos todos?) ponen su confianza en el *análisis de sistemas* que, según se supone, toma en cuenta los términos de interacción entre varios componentes de la mezcla social. Al diseñar un nuevo sistema de transporte para una ciudad, podríamos, por ejemplo, introducir ecuaciones que describan los efectos de la red propuesta en los lugares que la gente escoge después para trabajar y vivir, y después variar los parámetros

para simular los efectos de diferentes políticas de precios y regulaciones de impuestos sobre el resultado general. La optimización de tal sistema de ecuaciones es un buen trabajo para un computador electrónico y con frecuencia da a conocer consecuencias imprevistas, pero solo traslada las incertidumbres de la predicción a unos cuantos años más adelante. Como hemos visto (cap. 12) los factores económicos, sociales y psicológicos no pueden ser representados con exactitud por las fórmulas matemáticas y a menudo los entienden mejor los políticos sensatos que los sociólogos académicos.

Pero este escepticismo respecto de la posibilidad de predecir las consecuencias de la innovación técnica no es un argumento en favor del *laissez faire*. Estamos ahora todos demasiado familiarizados con la emergencia de <<soluciones>> técnicas comprometidas económicamente a problemas inexistentes. El avión supersónico de pasajeros, por ejemplo, puede considerarse un mero producto del virtuosismo técnico que una política negligente, resultado de un apoyo general completo al desarrollo e investigación aérea, permitió desarrollando hasta que pare-66 realmente esencial construirlo. En el campo de la tecnología civil, como en el de la investigación y desarrollo militares, la mera posibilidad de una innovación ingeniosa se convierte en un argumento importante para ponerla en práctica, sin considerar la demanda del mercado o las consecuencias sociales. Es ciertamente más sensato intentar canalizar estas fuerzas intelectuales y estas habilidades humanas hacia objetivos obviamente deseables -automóviles menos ruidosos, menos contaminantes; trenes más rápidos, más estables-, aun cuando no se pueda tener la certeza del éxito y se pueda accidentalmente introducir efectos laterales no deseables que nos costarán todavía más dinero y un esfuerzo de investigación mayor. La aseveración arrogante -<<todo lo que puede hacerse, será realizado>>- se entendía solo en el contexto histórico muy especial de Estados Unidos (¿o de la Unión Soviética?) de los años 1960, cuando

casi parecia que la cola de la investigacion y desarrollo podia mover al perro de las necesidades sociales. La cruda tecnocracia no goza del favor de este tiempo.

### *Escepticismo*

El desarrollo historico de un enfoque cientifico para las artes practicas, expuesto en el capitulo 7, fue a menudo muy lento y con paradas. Sin embargo, la etiqueta profesional entre los expertos tecnicos puede animar a la reivindicacion de capacidades especiales, basada en teorias muy defectuosas y en una experiencia de toda una vida>>, que realmente no estan justificadas. La medicina presenta muchos buenos ejemplos (pág. 184): durante siglos, los pacientes fueron sometidos a sangrias para curarles de enfermedades innumerables, solo porque este era el tratamiento recomendado por la «opinión de los expertos»>>. Es muy probable que los tratamientos que nos aconsejan dar a muchos problemas practicos en economia, sociologia, politica o psicologia sean igualmente estupidos e inutiles. No todas las doctrinas que reivindican la autoridad de la ciencia, estan, de hecho, suficientemente maduras para ser guias seguras de accion. Como vimos en el capitulo 12, el escepticismo sobre la pericia profesional es todavia probablemente la politica mas sabia frente a las afirmaciones de las ciencias sociales y del comportamiento.

Esta actitud esceptica es una parte importante del papel de la ciencia en la sociedad. La conducta de mucha gente y de muchas instituciones está, de hecho, a menudo gobernada por creencias que no tienen base racional. Supersticiones sobre la comida y el comportamiento sexual, falacias medicas, prejuicios raciales, doctrinas economicas y sociales, se difunden incluso entre gente educada y civilizada. La ciencia popular (página 338) es a menudo difícil de combatir, precisamente porque normalmente es una racionalización de

alguna serie obsoleta de principios generales a los que da peso la autoridad de una generacion pasada de intelectuales, sacerdotes y academicos.

Puede ser que sobre estas cosas la ciencia ordinaria no tenga nada positivo que decir. No creo que conozcamos si es mas saludable tomar agua antes, que durante una comida, si todos los niños pasan por un estadio edipico o si los hombres negros tienen apetitos sexuales mas fuertes que los blancos. La sociedad necesita que afirmemos claramente nuestra ignorancia en tales materias y rechazemos que una supersticion o prejuicio tenga base cientifica. En el rein de las ideas generales, en la construccion de un sistema filosofico o ideologico, el papel de la ciencia no es sostener este o aquel principio metafisico, sino proclamar los valores del escepticismo y de la amplitud intelectual en cuestiones que no puede definir el tipo de racionalidad empleado en la ciencia misma.

Algunos sostienen (pág. 337) que la ciencia misma no esta exenta de «valores» y, de hecho, la determina la atmosfera ideologica de la sociedad en la que es creada. En general, esto es incontrovertible: pensamos segun se nos educa para pensar y no podemos obrar de otra manera. Pero tal comentario, para ser constructivo, deberia conducir a un sistema alternativo de pensamiento cientifico que deberia ser notablemente diferente -si no superior- al que existe. Mientras esta alternativa se presenta y muestra su capacidad para satisfacer los criterios ordinarios de consistencia logica, falsacion potencial, poder predictivo, etc., podemos estar tranquilos al respecto. En las ciencias sociales y del comportamiento, por supuesto, tales alternativas abundan, pero dado que practicamente ninguna de ellas aprueba los exámenes de credibilidad cientifica, ello no debe inquietarnos. Las ciencias naturales pueden ciertamente equivocarse en detalles sobre cuestiones particulares (por ejemplo, la Deriva Continental! (pág. 94), pero hay poca sustancia en la opinion de que la



empresa global este totalmente corrompida y que solo la corregira una nueva teoria de la politica o una nueva vision de la eternidad.

#### *Anticiencia y cientificismo*

Muchos científicos se sorprenden y molestan por las actitudes anti-ciencia que se expresan ahora con bastante amplitud. Están confundidos y se sienten personalmente insultados por los ataques virulentos a la virtud de su profesión y a su propia integridad individual. Pero no debemos olvidar que, el siglo pasado, la ciencia fue tratada con demasiada reverencia. Los modernos cultos del misticismo y de la irracionalidad son auténticas reacciones a las exageradas afirmaciones del cientificismo -doctrina ingenua de que todos los males humanos pueden ser curados con dosis generosas de «método científico». Esta creencia, implícita en las actitudes de muchos científicos y tecnólogos, subyace muy profundamente en nuestra cultura contemporánea. Como muchas doctrinas semirreligiosas, la creencia de que el racionalismo benevolente, el acondicionamiento psicológico, o la sumisión a las leyes de la evolución social, crean un cielo en la tierra, tiene sus atractivos; pero tales simplificaciones no son características del complejo mundo de la naturaleza que nos revela la observación científica.

Mucho más significativo es la aversión a la mera *técnica*, a menudo tan materialista e inhumana en sus formas más crudas. «La tecnología desbocada» es denunciada como un ataque a los valores «humanos»: el avión de propulsión por chorro alcanza grandes velocidades en el aire, a expensas de la paz y quietud; la destreza mecánica del computador ofende la privacidad y la libertad sin preocupaciones. Es erróneo lógicamente insultar a la «ciencia» por estas ofensas; el conocimiento es un instrumento para la acción, no el agente. Es perfectamente correcto, en cambio, argüir que si no hubiera ciencia, la condición humana no podría entonces

estar cambiando tan rápidamente, quizá, en última instancia, a peor. Conservar el medio ambiente natural y algunas de las comodidades trabajosamente conseguidas parece deseable, aun cuando otros beneficios puedan perderse en el proceso.

La mayoría de la gente, a pesar de todo, sabe en sus corazones que no se puede ganar esta batalla, apagando simplemente la máquina del conocimiento. El ímpetu de los cambios técnicos es demasiado grande: con la ciencia que tenemos ahora, el desarrollo tecnológico podría continuar por medio siglo sin vacilaciones. Nuestros problemas corrientes -especialmente la explosión demográfica- no desaparecerían, si simplemente todos los laboratorios de investigación y las bibliotecas fuesen completamente incendiados. No podemos hacer revertir el flujo de la historia y volver indemnes a la edad gloriosa de la Reina Victoria -¿do sería a la Atenas de Pericles? La acción política y económica es débil para combatir el cambio técnico sin la ayuda de la ciencia misma. El poder equivalente contrario de una técnica cruel e inhumana es una tecnología más sensible, más humana. Si hacemos el esfuerzo científico apropiado, podemos aquietar el motor de propulsión por chorro y diseñar programas más flexibles para los computadores bancarios y las tarjetas de crédito.

El llamamiento a la «responsabilidad social de la ciencia» no proclama, por tanto, una simple obligación solemne; para algunos, ello significa que el científico no puede hacer nada bueno en la sociedad del tiempo presente y debe volverse a la acción política y a la revolución; para otros, ello significa una llamada a la conciencia privada para que juzgue que programas de investigación debe seguirse cuando los efectos pudieran resultar perjudiciales. Otra interpretación es que debería examinarse cuidadosamente los objetivos sociales del empleador del científico, antes de permitirle continuar con el trabajo. O puede ser simplemente un llamamiento a una mayor precaución en el desarrollo de la nueva tecnología para que los defectos de una innovación (tes-

tigo: la talidomida) puedan ser detectados antes de que los haga manifiestos el uso. Para muchos expertos tecnicos solo significa un continuo estado de alerta ante los peligros potenciales de sus tecnicas y no dejarse llevar nunca por el orgullo o la cobardia para <<no dar la sepal de alarma>>, cuando algo va mal. En el reino de la politica de la ciencia, la llamada quiere lograr que la investigacion verse prioritariamente sobre materias que afectan directamente a las vidas cotidianas de muchos y no se haga en beneficio de unas cuantas industrias prestigiosas o rentables ni para hacer guerras ni para deleite intelectual de unos cuantos cientos de arrogantes y exquisitesitos academicos. Todas estas responsabilidades pesan sobre los hombros del cientifico moderno verdaderamente consciente.

### *Que significa ser un cientifico?*

Los individuos hacen todavia la investigacion cientifica, que, sin embargo, esta ahora mas intimamente integrada con otros procesos sociales. El cientifico ya no es un marginado a quien se permite consagrarse a su aficion personal para su propia satisfaccion; se ha convertido en un agente central en una gama amplia de actividades sociales como experto, consejero, innovador o incluso para tomar decisiones.

Esta *politizacidn* de la ciencia tiene efectos importantes en el mismo cientifico: domina su educacion y perturba su vida interior. Hasta hace poco tiempo, los cientificos disfrutaban de la investigacion como de un <<gran juego>. Los objetivos eran serios -el descubrimiento de los secretos de la naturaleza para bien del hombre y/o gloria de Dios- y el trabajo mismo ofrecia sus propias recompensas. Estar inmerso en un problema cientifico se parece mucho a tratar durante dias, semanas o finalmente meses, de recomponer un enorme rompecabezas o a tratar de resolver una sucesion infinita de dificiles crucigramas. A pesar de frustraciones sin fin, los mo-

mentos de intuicion merecen soportar todas las penalidades. Sea como tecnico de baja categoria, sea como ejecutor estrella, la investigacion es una vocacion profundamente satisfactoria para aquellos a quienes gusta (vease cap. 6). La satisfaccion permanece, pero puede envenenarla el sentimiento molesto de que uno se esta simplemente dando gusto, mas bien que contribuyendo al gran movimiento hacia delante del intelecto humano, etcetera. Es dificil conservar el sentido de una vocacion, cuando la investigacion se convierte en una profesion <<responsable>>, <dlena de obligaciones>, que sirve a las necesidades de clientes reconocibles y amos que pagan. La consagracion del cientifico a fines transcendentales preservaba su inocencia y cuidaba de su integridad personal. Cuando la investigacion se convierte en <<un trabajo como cualquier otro>>, las motivaciones de la ambicion, la vanidad y el ejercicio del poder tanto dentro de la comunidad cientifica, como en la sociedad en general, substituyen la busqueda real de la excelencia en el logro cientifico.

Es bastante facil inventar problemas cientificos que puede solucionar el esfuerzo individual, de modo agradable e interesante. La matematica Aura es ese tipo de juego. Pero para realizar objetivos sociales planeados, es necesario emprender investigaciones en equipo, al estilo de la gran ciencia. Es un tipo de vida muy diferente del ideal academico y mas expuesto a las habilidades manipuladoras y a las corrupciones mezquinas del <<hombre de organizacion>>. Solo en circunstancias excepcionales, como en THE (pag. 356) o en Los Alamos (pagina 162), durante la guerra, es posible hacer un equipo con un grupo grande de intelectuales independientes. Se necesita tipos psicologicos bastante diferentes para llevar a cabo un esfuerzo cientifico o tecnico tan complicado y coordinado como el Programa Espacial. El problema radica en que hacer hincapie en la dependencia y la conformidad implicitas en la estructura burocratica de dicha organizacion, es contraria a la *inconformidad* critica, innovadora, que confia en si misma. El

objetivo de un buen curso de Doctorado en Filosofía es producir hombres y mujeres que confíen fundamentalmente en su propia independencia intelectual. Cuanto más se desarrolla la ciencia, tanto menor es el lugar que tiene para personas con esta calidad de inteligencia.

Mientras se descubre y clarifica los principios fundamentales de las diversas ramas de la ciencia, es menos evidente la necesidad de un esfuerzo continuo dentro de las disciplinas convencionales. Es probable que se concentre una mayor proporción del trabajo de investigación en los problemas interdisciplinarios que son potencialmente aplicables. Este trabajo requerirá de un tipo diferente de científico, capaz de desempeñar su papel de especialista altamente capacitado en un equipo, pero poseyendo al mismo tiempo una educación suficientemente amplia para entender el problema que está siendo abordado como un todo. Esta educación más amplia que no descuide por más tiempo los aspectos sociales de la ciencia, es también fundamental para que el científico pueda usar su inteligencia en el despliegue o enjuiciamiento de las pruebas racionales en contextos humanos más generales, como ciudadano, como profesor o como padre de familia. El conflicto con la ciencia del costumbrismo empieza en casa: no puede ser encomendado a las conferencias y sermones de los profesores publicistas. El camino deben encontrarlo a través de la confusión, muchas personas ordinarias formadas en el modo científico de pensamientos y dispuestas a decir lo que saben.

Y esto hace realmente retornar este libro a su comienzo. Y por esta razón, cierto número de ejercicios de mente y espíritu en estas difíciles y variadas cuestiones debería ser parte de la educación de todo científico y, quizá, de toda persona pensante. ¡Gracias por su atención!

Prefacio ... ..	9
<del>1</del> La institución social de la ciencia ... ..	<del>13</del>
2. ¿Qué fue primero, la ciencia o la tecnología?	22
3. ¿Qué era un científico? ... ..	47
4. Estilos de investigación ... ..	83
5. Comunicación científica ... ..	107
6. Autoridad e influencia ... ..	138
7. Del oficio a la ciencia ... ..	166
8. Invención, investigación e innovación industrial ... ..	204
9. La gran ciencia ... ..	234
10. Pagar por la ciencia ... ..	262
11. La ciencia, producto de importación cultural.	292
12. Las ciencias sociales ... ..	312
13. Ciencia y guerra ... ..	340
14. Ciencia y necesidades sociales ... ..	372