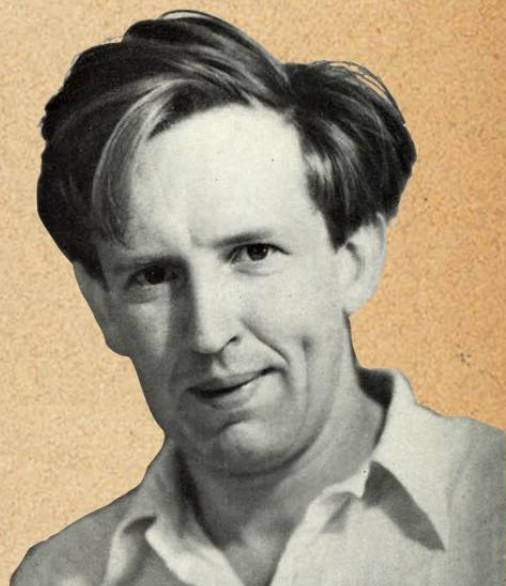


John D. Bernal



HISTORIA SOCIAL

DE LA CIENCIA

La Ciencia y del Hombre

Fondo documental

EHK

Dokumentu fondoa

Euskal Herriko Komunistak

HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA

De la CIENCIA y del HOMBRE

John Desmond Bernal

Compilación de textos procedentes de
Historia Social de la Ciencia,
de JOHN BERNAL

OMEGALFA
Biblioteca
Virtual

“De la Ciencia y del Hombre”

Compilación de textos procedentes de la obra de John Bernal
“Historia Social de la Ciencia”

Sumario:

I. DE LA CIENCIA Y DEL HOMBRE

Breve biografía

I. Historia Social de la Ciencia (fragmentos)

Introducción

Aspectos de la Ciencia

La Ciencia como institución

La tradición acumulativa de la Ciencia

Esquema del progreso científico y técnico

Función de los grandes hombres

La ciencia como medio de producción

Carácter clasista de la ciencia primitiva

La Ciencia natural como fuente de ideas

Materialismo e idealismo

Interacción de Ciencia y Sociedad

2. La Ciencia en el mundo actual

La utilización de la Ciencia en el sector capitalista

La organización de la investigación

Investigación gubernamental y militar

La Ciencia en los países en vías de desarrollo

La lección de la presa de Assuán

La Ciencia en el Sector socialista

3. El electrón y el átomo

La Física en 1896

La descarga eléctrica

Röntgen y los rayos X

El electrón

El revivir del atomismo

Becquerel y la radioactividad

Los Curie y el radio: transmutación de los átomos

Rutherford y Soddy: las transformaciones radioactivas

Planck y la teoría cuántica

Einstein y el fotón

El núcleo atómico

Van Laue y los Bragg: Rayos X y cristales

El átomo de Rutherford-Bohr

El nuevo átomo de la química

La estructura de los cristales

John Bernal

Científico y comunista



Biografía breve

John D. Bernal (1901-1971) fue un científico y comunista irlandés que destacó por su labor pionera en el ámbito de la cristalografía de rayos X, biología molecular e historia de la ciencia.

Tras realizar estudios en la Universidad de Cambridge y licenciarse en matemáticas y ciencias en 1922 siguió estudios de postgrado bajo la tutela de William Bragg en los laboratorios Davy Faraday en Londres.

Hacia 1924 logró determinar la estructura molecular del grafito, una forma del carbono. En la Universidad de Cambridge, y junto con su discípula y futura ganadora del Premio Nobel Dorothy Crowfoot Hodgkin, tomó las primeras fotografías de rayos X de cristales proteicos, dando uno de los primeros pasos para los estudios de las macromoléculas orgánicas basados en cristalografía.

No le otorgaron el Premio Nobel a causa de la Guerra Fría, a pesar de que varios de sus discípulos y compañeros de investigación fueron laureados. Justo por entonces la cristalografía de proteínas se convertía

Biografía breve

en una herramienta clave para el avance de la biología molecular, pero a Bernal le dejaron fuera. Sin embargo, en 1962 sus colegas Max Perutz y John Kendrew se llevaron el Nobel de Química por sus estudios cristalográficos de las proteínas hemoglobina y mioglobina, y Francis Crick, James Watson y Maurice Wilkins obtuvieron el de medicina por sus descubrimientos sobre la estructura de la doble hélice del ADN.

Siempre le entusiasmó la conquista del espacio exterior. El monolito negro que expresa la inteligencia extraterrestre en la saga de novelas de Arthur Clarke ("*2001 Una odisea del espacio*") también procede de Bernal. Fue un pionero de las estaciones espaciales orbitales, verdadera ciencia ficción para aquella época. En 1929 propuso la construcción de una estructura en forma de asteroide hueco y esférico, que se conoció como la Esfera de Bernal, de 16 kilómetros de diámetro, capaz de mantener contingentes de 30.000 personas en el espacio de forma permanente.

En 1937 le nombraron miembro de la Royal Society de Londres, la máxima institución científica de Gran Bretaña. En 1958 le nombraron para la Academia de Ciencias de la URSS.

En junio de 1944 la revista francesa de divulgación científica "*La Recherche*" publicó un número especial dedicado a un acontecimiento histórico que se ha querido mantener oculto: el decisivo papel de un comunista en el desembarco de los aliados en las playas de Normandía. Para ello Bernal inventó los llamados puertos prefabricados Mulberry que se usaron en el desembarco y realizó la topografía del terreno y el suelo marino. La Armada Británica le asignó el rango de comandante para minimizar problemas relacionados con tener a un civil al cargo de las fuerzas de desembarco. Tras orquestar el Día D, Bernal desembarcó en Normandía al día siguiente.

Otra de sus aportaciones más importantes concierne al debate sobre el origen de la vida. En los países capitalistas conocemos al soviético Alexander Oparin gracias a que Bernal tradujo su obra al inglés. Pero Bernal propuso sobre el asunto hipótesis novedosas, como la intervención de la arcilla en la formación de quiralidad de las moléculas orgánicas. Luego las investigaciones de James Ferris confirmaron que las arcillas pueden actuar como catalizadores en la formación de las cadenas de ARN. El Premio Nobel Jack Szostak también ha demostrado que las arcillas pueden producir los ácidos grasos que componen las membranas

Biografía breve

de las células.

Bernal fue profesor en la Universidad de Londres. Junto con el soviético Boris Hessen, revolucionó la historia de la ciencia y sus obras, basadas en el materialismo dialéctico, han tenido gran difusión. En 1939 escribió un libro con el que inició de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, llamado "*La función social de la ciencia*". En 1954 publicó otra obra maestra "*La ciencia en la historia*".

Supo generalizar magistralmente los resultados obtenidos por la ciencia en su conjunto, puso de relieve el valor filosófico de la ciencia y su importancia para la historia de la humanidad, aclaró el carácter contradictorio de su desarrollo en las sociedades de clase y su incesante progreso bajo el socialismo.

A la muerte de su amigo, también científico y comunista, Frederic Joliot-Curie, ocupó la presidencia del Consejo Mundial de la Paz y en 1953 la URSS le concedió el premio Stalin de la Paz por su contribución a la amistad entre las naciones.

En 1923 se afilió al Partido Comunista, una ideología que defendió a capa y espada hasta su muerte, ocurrida en 1971. Por eso en los países capitalistas la obra de Bernal ha sido salvajemente censurada, combatida e ignorada. Sin embargo, después de su muerte, en 1989, se celebró en Hamburgo un Simposio al más alto nivel para conmemorar el 50 aniversario de la publicación de su obra pionera "*La función social de la ciencia*".

JOHN D. BERNAL.

**HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA ¹
(FRAGMENTOS)**

INTRODUCCIÓN

Este libro intenta describir e interpretar las relaciones existentes entre el desarrollo de la ciencia y el de los restantes aspectos de la historia humana: Su objetivo es conducirnos a una comprensión de algunos de los problemas más importantes suscitados por el impacto de la ciencia en la sociedad. La civilización, tal como la conocemos hoy y en sus aspectos materiales, sería imposible sin la ciencia, que además se halla profundamente implicada en los aspectos intelectuales y morales de aquélla. La difusión de las ideas científicas ha sido un factor decisivo en la configuración del modo general del pensamiento humano. En los conflictos y aspiraciones de nuestro tiempo, particularmente, podemos encontrar una imbricación creciente y continua de la ciencia. Los hombres viven con el temor de ser destruidos por la bomba atómica o las armas biológicas, pero también con la esperanza de obtener una vida mejor mediante la aplicación de la ciencia a la agricultura y a la medicina. Los dos campos en que actualmente se divide el mundo ejemplifican objetivos diferentes en el uso de la ciencia; la urgente necesidad de su reconciliación se debe en parte a la naturaleza catastrófica y suicida de la guerra científica.

La marcha de los acontecimientos sitúa ante nosotros, cada vez más insistentemente, problemas relativos a la ciencia tales como el apropiado uso de la misma en la sociedad, la militarización de la ciencia, las relaciones de la ciencia con los gobiernos, el secreto científico, la libertad de la ciencia, el lugar de la ciencia en la educación y en la cultura general. ¿Cómo resolver esos problemas? El intento de solucionarlos

¹ En: Valdés Menocal, C. (coord.) (2004): Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología, Ed. Félix Varela, La Habana pp. 1-26.

recurriendo a principios aceptados o a verdades autoevidentes sólo puede dar lugar a confusión. Tales principios no pueden dar respuesta clara, por ejemplo, a cuestiones como la de la responsabilidad del científico ante la tradición de la ciencia, ante la humanidad o ante el Estado. En un mundo que cambia rápidamente poco puede esperarse de ideas que se toman inalteradas de una sociedad que se ha desvanecido después de revocarlas. Pero esto no quiere decir que los problemas sean insolubles ni que, consiguientemente, haya que caer en la irracionalidad y el pesimismo impotente tan característicos en la actualidad entre los intelectuales de los países capitalistas.

En último término, tales problemas deben resolverse y se resolverán en la práctica mediante el intento de encontrar un camino para utilizar y desarrollar la ciencia de manera más armoniosa y con mejores resultados para la humanidad. Se ha obtenido ya mucha experiencia en países en que la ciencia se ha dedicado conscientemente a tareas constructivas y a fomentar la prosperidad, e incluso en la Gran Bretaña y en los Estados Unidos la experiencia del empleo de la ciencia en la guerra y en la preparación de la guerra ha enseñado a los científicos algo de lo mucho que podría hacerse en la paz.

Pero la experiencia no es suficiente por sí misma y, en realidad, nunca puede actuar aislada. Consciente o inconscientemente, está necesariamente guiada por teorías y actitudes extraídas del fondo general de la cultura humana. En la medida en que es inconsciente, su dependencia de la tradición será ciega y únicamente conducirá a la repetición de unas soluciones ya intentadas que el cambio en las condiciones ha hecho inoperantes. En la medida en que es consciente, implica un conocimiento más amplio de la relación general de la ciencia a la sociedad cuya primera exigencia es el conocimiento de la historia, de la ciencia y de la sociedad. En la ciencia, más que en ninguna otra institución humana, es necesario investigar el pasado para comprender el presente y dominar el futuro.

Hasta hace muy poco tiempo esta afirmación habría merecido escasa atención por parte de los científicos activos. En la ciencia natural, y sobre todo en las ciencias físicas, se sostiene con firmeza la idea de que el conocimiento actual cancela todo el conocimiento del pasado y ocupa su lugar. Se admite también que el conocimiento futuro convertirá en anticuado el conocimiento presente, que, sin embargo, es por el

momento el más aceptable. Todo lo útil del conocimiento anterior queda absorbido en el actual; lo que ha quedado fuera de éste son sólo los errores de la ignorancia. En suma, en palabras de Henry Ford, "La historia es un tamiz".

Por fortuna, en nuestros días es cada vez mayor el número de científicos que empiezan a advertir las consecuencias de esa actitud de desprecio hacia la historia y, por lo tanto, aumenta también el de los capaces de apreciar inteligentemente el lugar de la ciencia en la sociedad. Sólo ese conocimiento puede evitar que los científicos, pese a todo el prestigio de que gozan, se cieguen y queden atrapados sin remedio en el gran drama contemporáneo del uso y del abuso de la ciencia. Es verdad que en el pasado reciente los científicos y buena parte del público consiguieron instalarse en la cómoda creencia de que la aplicación de la ciencia conduciría automáticamente a una segura mejora en el bienestar humano. La idea, realmente, no es muy vieja: en los tiempos de Roger Bacon era todavía una especulación revolucionaria y peligrosa, siendo afirmada por primera vez, en forma confidencial, por Francis Bacon trescientos años más tarde; únicamente los cambios inmensos y progresivos en la ciencia y en la producción a que dio lugar la Revolución Industrial hicieron de esa idea de progreso una verdad segura y perdurable, casi una trivialidad, en los tiempos Victorianos. No es ciertamente ahora, en estos días angustiosos y encapotados, cuando se advierte por primera vez que el poder que puede dar la ciencia es más directamente capaz de aniquilar del planeta la civilización e incluso la vida misma que de asegurar un ininterrumpido progreso en las artes de la paz, aunque también aquí se ha suscitado la duda, y algunos neomalthusianos temen que, incluso poniendo remedio al mal, la ciencia siga siendo peligrosa en un planeta superpoblado.

Sea para bien o para mal, la importancia de la ciencia actual no precisa ser subrayada; necesita, con todo, y debido precisamente a su importancia, ser comprendida. Es por medio de la ciencia que toda nuestra civilización está siendo transformada muy rápidamente. La propia ciencia se está desarrollando, y no, como en el pasado, poco a poco e imperceptiblemente, sino a grandes saltos, de un modo visible por todos. La tremenda fábrica de nuestra civilización ha cambiado ya enormemente a lo largo de nuestra vida y sigue cambiando más y más rápidamente de año en año. Para comprender cómo tiene lugar ese cambio no es suficiente conocer las tareas a las que se dedica la ciencia

en la actualidad: también es esencial saber cómo ha llegado a ser lo que es, cómo ha respondido en el pasado a las sucesivas formas de sociedad y cómo ha servido, a su vez, para modelar éstas últimas.

Muchas gentes dan por sentado que, puesto que la ciencia afecta a sus vidas cada vez más, debe entenderse que los propios científicos controlan efectivamente el mecanismo de la civilización y, por consiguiente, son responsables amplia e inmediatamente de los males y catástrofes de nuestra época. La mayoría de las personas que trabajan en la actualidad en la ciencia saben cuán lejos de la verdad está esa creencia. El uso al que se destina el trabajo de los científicos queda casi por completo fuera de sus manos. Su responsabilidad sigue siendo, por lo tanto, puramente moral. E incluso esa misma responsabilidad se elude con frecuencia en la tradición de la ciencia mediante la exaltación de una desinteresada búsqueda de la verdad indiferente a las consecuencias que de ella puedan seguirse. Esa tan conveniente evasión de la responsabilidad funciona bien, como veremos, en la medida en que el progreso social general, ampliamente debido a la ciencia, figure en el orden del día. El científico puede entonces identificarse razonable y fácilmente con las ideas económicas y políticas en boga y ser feliz limitándose sólo a seguir el camino que ha elegido libremente. Pero ante un mundo de creciente escasez, miseria y temor, y en el que la misma ciencia está cada vez más directamente implicada en los aspectos menos agradables de la guerra, esa actitud comienza a descomponerse. La responsabilidad moral del científico en el mundo de hoy es difícil de eludir.

La alternativa no es la irresponsabilidad, sino una responsabilidad social más consciente y activa mediante la cual la ciencia pueda, por una parte, hacer una contribución explícita a la planificación de la industria, la agricultura y la medicina para fines que el científico pueda aprobar con plenitud, y, por otra, extenderse y transformarse hasta convertirse en parte integral de la vida y del trabajo de todos.

El cambio de una ciencia socialmente irresponsable a una ciencia socialmente responsable sólo está empezando. Su naturaleza y sus directivas no están completamente formuladas. Sólo es un aspecto, aunque vital, de las grandes transformaciones sociales a que da lugar el paso de una economía motivada por el afán posesivo individual a una dirigida al bienestar común. Se trata de uno de los cambios más

trascendentales de la historia humana y de ahí la importancia capital del hecho de que pueda ser debatido con amplitud y bien conocido de antemano, pues ese cambio contiene a la vez graves peligros y posibilidades ilimitadas. La necesidad de lograr esa transformación del mejor modo posible y de asegurar en cada estadio una utilización inteligente de la ciencia constituye la más poderosa razón del estudio de las relaciones de la ciencia y la sociedad en el pasado, pues sólo por medio de ese estudio puede aquello comprenderse adecuadamente.

ASPECTOS DE LA CIENCIA

Antes de dar comienzo a esa investigación debe decirse algo acerca del significado y alcance de la ciencia misma. Naturalmente, también puede parecer más natural y conveniente empezar con una definición de la ciencia. El profesor Dingle, en su extenso comentario dedicado a mi libro *The Social Function of Science*, exige que así se haga. Según él, el autor debería empezar: "Identificando ese fenómeno y delineando tan claramente como fuera posible lo que es en sí, aparte de cualquier función que pueda tener y de cualquier relación en que pueda estar con otros fenómenos; sólo entonces puede proceder a considerar el papel que ha desempeñado, o, podría desempeñar, en la vida social. "

Mi experiencia me ha convencido de la futilidad de semejante empresa. La ciencia es tan vieja, ha sufrido tantos cambios a lo largo de su historia, está tan encadenada en cada punto a las restantes actividades sociales que cualquier tentativa de definición —y han sido muchas— sólo puede expresar más o menos inadecuadamente uno de los aspectos, tal vez de importancia secundaria, que ha tenido en algún período de su desarrollo. Einstein ha expuesto este punto a su modo: "La ciencia como algo existente y complejo es la cosa más objetiva que puede conocer el hombre. Pero la ciencia en su hacerse, la ciencia como un fin que debe ser perseguido, es algo tan subjetivo y condicionado psicológicamente como cualquier otro aspecto del esfuerzo humano, de modo que la pregunta ¿"cuál es el objetivo y el significado de la ciencia?" recibe respuestas muy diferentes en diferentes épocas y de diferentes grupos de personas."

La idea de definición no puede aplicarse estrictamente a una actividad humana que en sí misma es sólo un aspecto inseparable del proceso único e irrepetible de la evolución social.

La ciencia es, en razón de su naturaleza, cambiante, y lo es más que cualquier otra ocupación humana: La ciencia está cambiando muy rápidamente en la medida en que es uno de los logros más recientes de la humanidad. No ha tenido una existencia larga e independiente. En el albor de la civilización era únicamente un aspecto del mundo del mago, del cocinero o del forjador, y sólo en el siglo XVII comenzó a adquirir cierto estatuto de independencia. Sin embargo, puede ocurrir que esa

misma independencia sea solamente una fase temporal: cabe muy bien que en el futuro el conocimiento y el método científico se extiendan a toda la vida social de modo que la ciencia tenga nuevamente un modo de existencia no independiente. Puesto que la definición es intrínsecamente imposible, el único modo de convenir qué es lo que en calidad de ciencia se discute en este libro ha de ser forzosamente una descripción extensa y abierta. Este será el cometido de los capítulos siguientes, pero aquí, como preparación a un tratamiento más detallado, se intentará analizar en pocas palabras los aspectos más importantes en que se presenta la ciencia en el mundo contemporáneo.

La ciencia puede contemplarse como institución, como método, como una tradición acumulativa de conocimiento, como factor decisivo en el mantenimiento y desarrollo de la producción y como uno de los más influyentes factores en la modelación de las creencias y actitudes hacia el universo y hacia el hombre. Al señalar esos distintos aspectos de la ciencia no pretendo dar a entender que existan muchas ciencias diferentes. Tratándose de un concepto tan amplio en su extensión temporal, de tantas implicaciones y de carácter tan abstracto, la norma debe ser la multiplicidad de sus aspectos y referencias. Las palabras "ciencia" o "científico" tienen buen número de significados distintos en función del contexto en que se usan. El profesor Dingle se ha tomado la molestia de señalar diez de ellos tomándolos de mi libro. En uno de los casos que cita, la ciencia se contrapone a la ingeniería como cuestión del grado de aplicación práctica; en otro, se contrapone el método científico como medio de verificación al reconocimiento intuitivo del invento. Se trata de usos significativos de la palabra "ciencia", pero para extraer de todos ellos su sentido es preciso integrarlo conjuntamente en un cuadro general del desarrollo científico. Entre los aspectos antes citados, los de la ciencia como institución y como factor de la producción pertenecen casi exclusivamente a los tiempos modernos. El método científico y su influencia en las creencias data en cambio de la época de los griegos, si no es más antiguo. La tradición del conocimiento que pasa del padre al hijo, del maestro al aprendiz, es la auténtica raíz de la ciencia y existe desde los remotos tiempos del hombre, desde mucho antes de que la ciencia pudiera considerarse como institución o hubiera dado lugar a un método distinto del sentido común y el saber tradicional.

LA CIENCIA COMO INSTITUCIÓN

La ciencia como institución en que trabajan profesionalmente centenares de miles de hombres y mujeres, es algo muy reciente. Hasta el siglo XX no ha podido compararse la importancia de la profesión científica a la que en el pasado tuvieron otras profesiones como la dedicación a la Iglesia o al Derecho. Se la considera como cosa distinta, aunque íntimamente vinculada, a la medicina y a la ingeniería, las cuales, a su vez, se hacen cada día menos dependientes de la tradición y admiten cada vez más la influencia de la ciencia. Su creciente intimidad con las profesiones especializadas ha tendido a acentuar su separación de las ocupaciones comunes de la sociedad. En los siguientes capítulos tendremos mucho que decir acerca del origen de esta separación y de su dependencia de las funciones económicas de la ciencia. Aquí es suficiente apuntar el hecho de que tal separación aparece más acentuadamente en los países capitalistas. En la actualidad, y para mucha gente extraña a la disciplina, la ciencia aparece como una actividad llevada a cabo por una especial clase de personas: los científicos. La palabra misma no es demasiado vieja, siendo usada por primera vez por Whewell, en 1840, en su *Philosophy of Inductive Sciences*: "Realmente, necesitamos un nombre para designar al cultivador de la ciencia en general. Yo me inclinaría a llamarle Científico." Y esas personas son consideradas como si fueran algo aparte: algunas trabajan con extraños aparatos en laboratorios oscuros e inaccesibles; otras se ocupan de complicados cálculos y demostraciones, y todas ellas usan unos lenguajes que sólo sus colegas pueden comprender.

Esta actitud tiene, de hecho, alguna justificación: pese a que la ciencia se desarrolla e influye cada vez más en nuestra vida diaria, no por ello se hace más comprensible. En el transcurso del tiempo los practicantes de las diversas ciencias han ido entrando casi imperceptiblemente en campos en que es necesario crear lenguajes especiales para expresar las entidades y relaciones descubiertas, y en gran medida no se han molestado en traducir siquiera la parte más interesante de su obra al lenguaje ordinario. La ciencia ha adquirido hasta tal punto las características de las profesiones cerradas, incluida la de un largo período de educación y aprendizaje, que popularmente es más fácil reconocer a los científicos que saber lo que es la ciencia. Realmente, una definición fácil de ésta sería *lo que los científicos hacen*.

La institución de la ciencia como cuerpo organizado y colectivo es nueva, pero sigue teniendo un carácter económico especial que ya poseía en el período en que avanzaba mediante esfuerzos individuales. La ciencia difiere de las llamadas profesiones liberales en que su práctica carece de valor económico inmediato. El jurista puede efectuar una defensa o decidir un juicio; el médico, curar; el clérigo, celebrar un matrimonio o proporcionar consuelo espiritual; el ingeniero, diseñar un puente o una máquina de lavar; cosas todas por las que la gente está dispuesta a pagar en el acto. Son profesiones liberales en la medida en que pueden pedir tanto como el mercado ofrezca. Los diferentes productos de la ciencia, aparte de algunas implicaciones inmediatas, no son vendibles, incluso aunque en conjunto y en un plazo de tiempo relativamente breve, mediante su incorporación a la técnica y a la producción, sean capaces de proporcionar más riqueza que las restantes profesiones juntas. Resultado de ello es que el problema de cómo ganarse la vida haya sido siempre la primera preocupación del científico, y la dificultad de su solución ha actuado en el pasado como un freno de primera magnitud para el progreso científico y, aunque en un grado muy inferior, continúa actuando así hoy.

En los viejos tiempos la ciencia era en gran parte una ocupación especial de la gente rica y ociosa o de los miembros de las antiguas profesiones que habían alcanzado una situación acomodada. Existía el astrónomo profesional de la corte y también, aunque no tan frecuente, el físico real. Eso hacía de la ciencia un monopolio virtual de las clases superior y media. En último extremo tanto las tareas asignadas a la ciencia como sus recompensas derivaban de las tradiciones e instituciones sociales, incluyendo entre ellas, con importancia creciente a medida que transcurría el tiempo, la institución de la ciencia misma. Esto no supone necesariamente una derogación de la ciencia: el hecho de su dirección social ha sido, al menos hasta el reciente impulso de militarización, algo general y no coercitivo, y realmente puede servir de ayuda a una mente imaginativa forzándola a fijar su atención en los limitados aspectos de la experiencia accesible. Así, como veremos, la investigación de la longitud fue una directiva social fértil para la física y la astronomía de los siglos XVII y XVIII, pudiendo decirse lo mismo de la investigación de los antibióticos en el siglo XX.

La auténtica derogación de la ciencia consiste en la frustración y perversión que se suscitan en una sociedad en que aquélla se valora a

tenor de lo que puede aportar al beneficio privado y a los medios de destrucción. Por ello no deja de ser natural que los científicos que advierten en esos fines la única razón por la que la sociedad en que viven sostiene a la ciencia, y que no son capaces de imaginar otro tipo de sociedad, crean sincera y firmemente que toda dirección social de la ciencia es necesariamente un mal. Anhelan un retorno a un estado ideal, que en realidad no ha existido nunca, en que se busca la ciencia por sí misma. Incluso la definición de la matemática pura por G. H. Hardy, "la cuestión carece de uso práctico, o sea, no puede utilizarse para promover directamente la destrucción de la vida humana o para acentuar las desigualdades existentes en la distribución de la riqueza", ha sido desmentida por los hechos pues de su estudio se han seguido ambas cosas durante la última guerra y a partir de ella. De hecho, el científico individual siempre ha necesitado trabajar en estrecha relación con otros grupos de personas: sus patrones, sus colegas y su público.

La función del patrón, ya se trate de un individuo acaudalado o de una universidad, de una compañía o de un departamento del Estado, es proporcionar el dinero que el científico necesita para vivir y llevar adelante su trabajo. El patrón, a cambio querrá tener algo que decir acerca de éste, especialmente si su objetivo último es el lucro comercial o la victoria militar. Tal cosa ocurrirá con menos frecuencia, aparentemente, si actúa por pura benevolencia o para obtener prestigio o publicidad; en esos casos sólo procurará que los resultados sean algo espectaculares y no excesivamente inquietantes.

En una sociedad socialista la función del patrón es ejercida a todos los niveles por órganos del gobierno popular, desde la fábrica o la granja al instituto académico, y en ese tipo de gobierno puede adoptar una perspectiva a largo plazo —y en realidad tiene que hacerlo necesariamente—, el trabajo de los científicos es considerado como valioso intrínsecamente. Su protección y sostenimiento constituyen la primera carga de los presupuestos nacionales y locales. A su vez, se espera que los científicos comprendan su responsabilidad social, consistente en cooperar en los planes por una sociedad mejor, ordenando consiguientemente su trabajo para conseguir los mejores resultados tanto a corto como a largo plazo.

En general el científico tiene que "vender" su proyecto al patrón, pero es imposible que lo haga si no puede contar por lo menos con el apoyo

táctico de sus colegas a través de las diversas instituciones y sociedades a las que pertenecen. Esas entidades tienen la obligación de mantener el nivel intelectual de la ciencia, pero no ejercen, ni pueden ejercer a menos que la ciencia esté planificada, gran iniciativa en la determinación de los campos que deben ser estudiados, ni tampoco pueden decidir la cuestión de si debe emplearse en ellos poco o mucho esfuerzo.

El pueblo es, en definitiva, el juez último del sentido y valor de la ciencia. Cuando la ciencia se ha convertido en un misterio en manos de una selecta minoría se ha encadenado inevitablemente a los intereses de la clase dominante, separándose de la inspiración y la comprensión que suscitan la capacidad y las necesidades del pueblo. El obispo Sprat, en su *History of the Royal Society* (1667), se pregunta por qué "las Ciencias de las mentes humanas han resultado mucho más afectadas que las Artes de sus manos por esas vicisitudes", y concluye que ello ha sido porque "han sido proscritas del mundo por los propios filósofos. . . Puesto que al principio se trataba mucho más de ellas, interesándose de un modo más familiar por todos los aspectos de la vida humana, no hay duda de que más tarde se consideró necesario ocultarlas, en la época más activa e ignorante. De este modo habrían escapado a la ferocidad del pueblo bárbaro, al igual que las Artes del Laboreo, el Cultivo, la Cocina, los modos de hacer hierro y acero, la pesca, la navegación y muchos otros oficios que se habían convertido en necesarios". Si a esto se añade, como ha ocurrido en los últimos estadios del desarrollo capitalista, el uso de la ciencia para intensificar el trabajo manual, crear el desempleo y hacer la guerra, resulta inevitable que entre los trabajadores aumente la suspicacia y la hostilidad hacia la ciencia. La ciencia que se desarrolla de este modo es una ciencia limitada, o menos que una semi-ciencia si se le compara con las virtualidades que posee al convertirse en una parte comprendida y valorada de un movimiento ampliamente popular.

Una comprensión plena de la ciencia como institución sólo es posible si se la estudia desde sus orígenes en las instituciones más antiguas. Será necesario, pues, conocer los cambios a que ha estado sometida, especialmente en los últimos años, y mostrar cómo, en tanto que institución, se halla en interacción con otras y con las tareas generales de la sociedad.

LA TRADICIÓN ACUMULATIVA DE LA CIENCIA

Hasta aquí, al discutir la institución y el carácter de la ciencia no hemos subrayado explícitamente un aspecto que distingue el adelanto técnico y científico de cualquier otro aspecto de las realizaciones sociales. Esta característica de la ciencia es su naturaleza acumulativa. Los métodos del científico le servirían de muy poco si no tuviera a su disposición el inmenso fondo de la experiencia y los conocimientos anteriores. Seguramente ninguno de ellos es excesivamente correcto, pero para el científico activo es suficiente haber avanzado algo desde la línea de partida. La ciencia es un cuerpo de conocimiento en constante desarrollo formado por fragmentos de las reflexiones y las ideas, pero en grado mayor de la experiencia y de las acciones, de una amplia corriente de trabajadores y pensadores. No es suficiente conocer lo que ya es conocido: para que un hombre pueda ser calificado de científico es necesario que añada algo propiamente suyo al fondo común. La ciencia es, en cualquier momento, el resultado total de la ciencia habida hasta ese momento. Semejante resultado, sin embargo, no es algo estático. La ciencia consiste en algo más que en la reunión completa de todos los hechos conocidos, de todas las leyes, de todas las teorías. En realidad es un descubrimiento constante de hechos, leyes y teorías nuevos que critican y con frecuencia destruyen mucho de lo construido. El edificio del saber científico no se detiene jamás en su crecimiento. Podríamos decir que efectúa reparaciones constantemente, pero que nunca deja de utilizarse.

La ciencia queda diferenciada por su naturaleza acumulativa de otras grandes instituciones humanas como la religión, el derecho, la filosofía y el arte. Estas, naturalmente, tienen una historia y una tradición mucho más amplias que las de la ciencia y a las que se presta mucha atención y respeto, pese a que en principio no sean acumulativas. La religión se ocupa de preservar la verdad "eterna", mientras que en el arte cuenta más la realización personal que la pertenencia a una escuela artística. El científico, por otra parte, intenta siempre y deliberadamente modificar la verdad aceptada, de modo que su obra se asimila realmente pronto, en seguida queda superada y rápidamente se pierde como realización personal. La gente en general, y no sólo los artistas y poetas, ven, oyen y

leen las grandes obras del arte, la música y la literatura del pasado en su forma original o en una reproducción o traducción muy fiel a ésta. Esas obras son, en virtud de su atractivo humano, algo siempre vivo. En contraste con ello puede decirse que sólo una pequeña minoría de científicos y de historiadores de la ciencia, difícilmente nadie más, estudia las grandes obras científicas de la historia. Los resultados de esas obras se hallan subsumidos en la ciencia comúnmente conocida, pero los originales quedan enterrados. El objeto de muchas investigaciones son las relaciones, los hechos, las leyes y las teorías establecidas, pero no el modo de su descubrimiento o presentación.

Sin embargo, existe una diferencia profunda y de diversa especie entre la tradición de las ciencias, y particularmente de las ciencias naturales, y la de la religión o las artes liberales. Estas últimas son arbitrarias en el sentido de que su instancia decisiva última consiste en una revelación o en un juicio manifestado por medio de la tradición oral o escrita. En la medida en que exigen una justificación racional, ésta vendrá sustentada por una lógica idealista. La tradición de la ciencia, por otro lado, y con ella la de la tecnología, puede argumentarse directamente por referencia a observaciones verificables y repetibles del mundo material. Sean viejos o nuevos, cada uno de los resultados de la ciencia puede ponerse a prueba en cualquier momento sobre unos materiales específicos que determinan a su vez el aparato científico. La verdad de la ciencia, como señalaba Bacon hace ya mucho tiempo, reside en el éxito de su aplicación a los sistemas materiales, sean éstos inanimados, como en las ciencias físicas, organismos vivos, como en las ciencias biológicas, o sociedades humanas, como en las ciencias sociales. Que estas ciencias sociales citadas no hayan obtenido todavía el estatuto de auténtica ciencia se debe únicamente a que en ellas la experimentación es escasa o no existe en absoluto.

Cuando hablamos de ciencias en este último sentido nos referimos necesariamente a aquellas partes del conocimiento humano que se hallan suficientemente desarrolladas para ser usadas en el mejoramiento directo de la práctica y que no son simples descripciones ordenadas de hechos indiscutibles. No hay duda de que los griegos tenían una biología e incluso una sociología además de una matemática y una astronomía, pero mientras que las dos últimas podían ser utilizadas en la planificación de ciudades y la predicción de sucesos celestes, las primeras se limitaban a explicar a la gente culta, de forma ordenada, lo

que sabía cualquier labrador, político o pescador. La biología científica, capaz de ser de utilidad real para la medicina, difícilmente apareció antes del siglo XIX; la sociología científica sólo está empezando. Los estadios en que ha tenido lugar la acumulación de conocimientos científicos y técnicos serán descritos en los siguientes capítulos, aunque no se discutirán en detalle. Esta es una tarea propia de un libro de historia de la ciencia, cosa que éste no pretenden ser, aunque es preciso decir que aún no está escrita una historia crítica de la ciencia que vaya más allá de los hechos del descubrimiento y llegue a preguntarse por sus razones. Aquí parece suficiente apuntar algunos de los principios generales que han presidido la construcción del edificio de la ciencia.

ESQUEMA DEL PROGRESO CIENTÍFICO Y TÉCNICO

En primer lugar, la historia muestra de modo definido el orden sucesivo en que las diversas regiones de la experiencia han ido entrando en el ámbito de la ciencia. Esquemáticamente es éste: matemática, astronomía, mecánica, física, química, biología, sociología. La historia de las técnicas muestra un orden casi inverso: organización social, caza, domesticación de animales, agricultura, alfarería, vestidos, metalurgia, vehículos y navegación, arquitectura, maquinaria, ingeniería. Es fácil ver la razón de esto: las técnicas nacen ante todo de la relación del hombre con su contorno biológico y sólo gradualmente pasan a dominar las fuerzas inanimadas. El orden real del desarrollo de las ciencias, por otra parte, no es fácil de explicar. Está condicionado, aunque sólo sea parcialmente, por dificultades internas. De hecho, como muestra la historia, las ciencias de las partes más complejas de la naturaleza, como la biología y la medicina, se han derivado directamente del estudio de su objeto, con poca ayuda y a menudo muchos obstáculos del lado de las ciencias de las partes más simples, como la mecánica y la física. La sucesión temporal de las ciencias se ajusta más estrechamente a su posible utilidad práctica en interés de las clases dominantes o ascendentes de las distintas épocas. La regulación del calendario que era una función sacerdotal —dio lugar a la astronomía; las necesidades de la nueva industria textil— que constituían el interés de la naciente manufactura del siglo XVIII —dio lugar a la química moderna—.

Si del sentido general del progreso científico volvemos los ojos a las diversas fases del descubrimiento, advertiremos algunos esquemas generales. En algún campo específico pueden encontrarse largas cadenas de descubrimientos sucesivos; así por ejemplo, los de la electricidad en el siglo XVIII, o los de la física atómica en el siglo XX. Por lo general esas largas cadenas empiezan y terminan en algún descubrimiento de crucial importancia que pone al descubierto nuevos sectores científicos. Esos descubrimientos muy frecuentemente tienen lugar por medio del examen conjunto de disciplinas consideradas hasta ese momento como distintas; así ocurrió, por ejemplo, en el caso del descubrimiento accidental de Oersted del efecto o la electricidad en un imán, en el descubrimiento casual, por Pasteur, de la naturaleza asimétrica de las

moléculas producidos por los organismos vivos, que encadenó la química y la bacteriología. De esas intersecciones de disciplina científica o de los descubrimientos de importancia suelen nacer dos o tres nuevas ramas que pueden continuar creciendo con nuevas cadenas de descubrimientos. El cuadro general, por consiguiente, toma la forma de un entrelazamiento indefinidamente complicado de descubrimiento y de investigación; se trata de algo parecido al antiguo quipu peruano, que expresaba mensajes por medio de series de nudos practicados en cuerdas que, a su vez, se anudaban complicadamente entre sí.

FUNCIÓN DE LOS GRANDES HOMBRES

Para el progreso de la ciencia son tan importantes las largas cadenas de investigación como los puntos de ruptura por descubrimientos de crucial importancia, pero mientras que los primeros son en su mayor parte fruto del esfuerzo de espíritus concienzudos pero corrientes, los últimos van unidos por lo general al nombre de los grandes científicos. Este hecho ha conducido a una concepción de la ciencia en que ésta aparece únicamente como fruto del trabajo de esos grandes hombres, quedando ampliamente al margen, por consiguiente, del efecto de los factores económicos y sociales. En la historia de la ciencia el mito de los "grandes hombres" ha ido mucho más lejos que en la historia política y social: muchas historias de la ciencia no son de hecho sino relatos acerca de los grandes descubridores que se han ido sucediendo en una más o menos apostólica revelación de los secretos de la naturaleza. Naturalmente, la existencia de grandes hombres ha tenido efectos decisivos en el progreso de la ciencia, pero sus realizaciones no pueden estudiarse aisladamente de su contorno social. En ese error se incide tan a menudo que con frecuencia se cree necesario recurrir, para explicar sus descubrimientos, a palabras como "inspiración" o "genio". De este modo los grandes hombres ven reducida su talla por los que son demasiado holgazanes para comprenderlos, pues el hecho de que aquellos fueran hombres de su tiempo y que estuvieran sometidos a las mismas influencias formativas y sufrieran la misma coerción social que los demás hombres no hace más que acentuar su importancia. Cuanto más grande es un hombre más se sumerge en la atmósfera de su época. Sólo así puede abraccarla lo suficiente para alterar de un modo sustantivo el esquema del conocimiento y de la acción.

Ningún gran hombre se basta a sí mismo en ningún terreno cultural, y mucho menos en la ciencia. No puede realizarse ningún descubrimiento efectivo sin el trabajo preparatorio de centenares de científicos menos imaginativos y comparativamente menores. Estos últimos van acumulando, a menudo sin comprender lo que tiene entre manos, los datos necesarios para que el gran hombre pueda realizar su obra. Los individuos humanos muestran un amplio campo de diversidad mental. Sólo unos pocos de ellos pueden contribuir a la ciencia, pero en nuestra

época el número de los que tienen oportunidad de hacerlo es mucho mayor que en el pasado y seguramente lo mismo seguirá ocurriendo en el futuro próximo. Los seleccionados o autoseleccionados a causa de su interés por los asuntos científicos difieren entre sí en otros muchos aspectos. Eso da gran variedad a la ciencia, pero su unidad, igualmente necesaria, procede del control, Consciente o inconsciente, que la sociedad ejerce sobre ella. Esta unidad de la ciencia socialmente impuesta es la que hace posible contemplarla como un esfuerzo de la cooperación humana por el hecho de comprender y controlar el mundo circundante.

LA CIENCIA COMO MEDIO DE PRODUCCIÓN

Las características señaladas en los apartados precedentes pueden ser útiles para una descripción de la ciencia como institución, como método o como una suma creciente y progresivamente organizada de experiencias, pero no pueden explicar por sí mismas ni las grandes funciones que hoy corresponden a la ciencia ni las razones por las cuales nació originalmente como clase especial de actividad social. Esa explicación debe buscarse en el papel que la ciencia desempeñó en el pasado y continúa desempeñando hoy en toda forma de producción. La historia de la elaboración de los medios de control humano sobre el contorno orgánico e inorgánico, que será esbozado en los siguientes capítulos, muestra que tal cosa ha tenido lugar a lo largo de diversos estadios, cada uno de ellos caracterizado por la aparición de alguna nueva técnica material. Así incluso en los términos de la arqueología (formulados por primera vez por Thomsen en 1836, si bien se basaba en tradiciones de gran antigüedad, pasando por Hesíodo y Lucrecio) describimos las sucesivas épocas mediante nombres de materiales: Edad de Piedra, Edad del Bronce, Edad del Hierro (y, sin embargo, hemos perdido la Edad de Oro). Podríamos continuar con las edades del vapor y la electricidad; ahora entramos en la era atómica o en la era espacial.

Sin embargo, los materiales en sí mismo carecen de uso humano; el hombre debe aprender a darles forma. Incluso el propio material original (madera-bosque-hyle) tiene que ser arrancado del árbol para poder hacer con él un garrote o un venablo. Las primeras técnicas, y con ellas las ciencias, nacieron de los modos de obtener y configurar los materiales para utilizarlos como instrumentos en la satisfacción de las necesidades humanas primarias. Una técnica es un modo de hacer algo aprendido individualmente, pero garantizado socialmente; una ciencia es un modo de comprender cómo proceder para hacer mejor algo. Cuando en los capítulos siguientes empecemos a examinar con detalle la aparición de las diversas ciencias y sus estadios de crecimiento percibiremos con progresiva que sólo evolucionan y se desarrollan cuando guardan una relación estrecha y viva con el mecanismo de la producción.

La historia de la ciencia muestra una notable desigualdad; a unos

grandes brotes de actividad siguen períodos de escaso nivel hasta que se presenta un nuevo brote, a menudo en un país distinto. Sin embargo, el dónde y el cuándo de la actividad científica son poco más que accidentales: los períodos de florecimiento coinciden con el aumento de la actividad económica y con el progreso técnico. El trayecto seguido por la ciencia —de Egipto y Mesopotamia a Grecia, de la España Musulmana a la Italia del Renacimiento, de ahí a los Países Bajos y a Francia para pasar luego a las Inglaterra y Escocia de la Revolución Industrial—, es el mismo que el del comercio y la industria.

Antiguamente la ciencia seguía a la industria; ahora tiende a avanzar con ella y a guiar su avance a medida que se va comprendiendo claramente su lugar en la producción. La ciencia ha partido del pote y de la rueda llegando a la máquina de vapor y a la dinamo.

Entre los períodos de actividad hay épocas tranquilas, a menudo de degradación científica, como ocurrió en las últimas dinastías egipcias, en el período clásico tardío o a principios del siglo XVIII. Estas épocas coinciden, como veremos, con períodos en que la organización social se halla en una fase de estancamiento o decadencia, de modo que la producción sigue líneas tradicionales y es visto con desdoro que un espíritu cultivado se preocupe por ellas.

La percepción de esa íntima relación entre ciencia y cambio técnico no puede explicar por sí misma el origen y el desarrollo de la ciencia; para ello necesitamos conocer los factores sociales que determinan los cambios técnicos. La relación conversa entre los factores técnicos de la sociedad es bastante obvia: en un período determinado el nivel técnico de producción pone un límite a las posibles formas de organización social. No tiene sentido buscar un extenso Estado nacional en la Edad de Piedra, en que la caza y la búsqueda de alimentos limitaban la unidad social real a unos pocos centenares de personas que vivían en un amplio territorio. Análogamente, la moderna civilización urbana no ha podido suscitarse hasta conseguir una combinación de adelantos técnicos e industriales que ha hecho posible mantener a la mayoría de la población apartada de la tierra.

Con todo, los cambios técnicos no están determinados simplemente por la organización social. Sería excesivo afirmar que la humanidad ha actuado siempre en el pasado como una unidad intelectual procurando constantemente utilizar los medios existentes para procurar lo mejor a

todos los hombres y que ha buscado siempre los mejores medios para ampliar el dominio del hombre sobre la naturaleza. De hecho, como mostraremos más adelante, a lo largo de la mayor parte de la historia las mejores técnicas se han suscitado más bien por el estímulo del provecho inmediato que podría reportar a algunos individuos o clases, a menudo en detrimento de los demás, y a veces, como en la guerra —que es una fuente perenne de ingenuidad— procurando su destrucción. La forma de la sociedad depende en último término de las relaciones entre los hombres en la producción y distribución de bienes, relaciones que se caracterizan siempre por la indebida superioridad del rico sobre el pobre y a veces, como en la esclavitud, por la compulsión directa de aquel sobre éste.

Como podrá advertirse, estas relaciones productivas, que dependen técnicamente de los medios de producción, suscitan la necesidad del cambio de los propios medios de producción, dando lugar así al desarrollo de la ciencia. Cuando las relaciones productivas cambian rápidamente, como ocurre cuando una nueva clase alcanza una posición de poder, existe un incentivo especial para la introducción de mejoras en la producción que aumenten la riqueza y el poder de esa clase, de modo que la ciencia ve reconocida su particular importancia. Sin embargo, una vez que dicha clase ha llegado al poder y es lo suficientemente fuerte como para oponerse al advenimiento de un nuevo rival, su mayor interés reside en mantener el estado de cosas existentes, de modo que las técnicas adoptan formas tradicionales y la ciencia pierde importancia. Naturalmente, este cuadro simplificado es por sí solo inadecuado para explicar en detalle el nacimiento de la ciencia. Descubrir por qué una ciencia determinada nace precisamente en un lugar o en una época requiere estudios mucho más detallados, de los que podrá encontrarse un esbozo en los siguientes capítulos. También será necesario poner de manifiesto la interrelación entre los factores materiales —disponibilidad de bienes como la madera o el carbón—, los factores técnicos —nivel de distribución de los conocimientos prácticos— y los factores económicos —oferta y demanda de bienes y de trabajo— para explicar el nacimiento o la decadencia de la ciencia, a su vez, sus efectos sobre la producción.

CARÁCTER CLASISTA DE LA CIENCIA PRIMITIVA

Punto básico para la distinción entre la ciencia como tal y las técnicas generalizadas que nacen de ella y a las que a menudo va unido, es que la ciencia es esencialmente una profesión culta. Se trata de algo registrado en libros y papeles, siendo, pues, cosa distinta de la enseñanza por el ejemplo práctico de los oficios tradicionales. En su sentido estricto la ciencia ha sido desde un principio una ocupación limitada a las clases superiores o a una minoría de individuos afortunados, a quienes se le permitía el acceso a ella en recompensa a su lealtad. Esta limitación ha tenido efectos diversos sobre el carácter de la ciencia. En primer lugar, ha retardado su desarrollo al excluir de sus tareas a la gran mayoría de personas de todas las clases bien dotadas naturalmente, que hubieran podido contribuir a ella. Al propio tiempo, ha determinado que quienes se dedicaban a la investigación o experimentación científica tuvieran muy poca relación, al menos hasta la época de la Revolución Industrial, con las artes prácticas, de modo que no podían saber, en cuestiones de ciencia natural, de qué estaban hablando. Y tampoco podían comprender, puesto que no las experimentaban, las necesidades prácticas de la vida corriente, faltándoles por consiguiente un estímulo que pudiera verse satisfecho mediante el uso de la ciencia.

Esta identificación de la ciencia con las clases dominantes y explotadoras ha engendrado, desde los primeros tiempos de la división de clases acaecidas cinco mil años antes de la aparición de las primeras ciudades, una profunda suspicacia contra la ciencia y contra la ilustración en general en el espíritu de los campesinos y, en grado menor, de las clases trabajadoras. Por bien intencionados que fueran los esfuerzos filantrópicos de los filósofos, la gente no podía menos que pensar que en la práctica redundaban en cambios que no les reportaban ningún bien y que, por el contrario, o bien esclavizaban todavía más a los seres humanos o bien les arrancaban su trabajo. Los primeros científicos fueron considerados como magos capaces de males ilimitados, y esta actitud persistió hasta el final de la época clásica, en que la creencia popular, aliada a menudo por la religión, se enfrentaba hosca y a veces violentamente con los filósofos, a los que identificaba, con cierta justicia,

con los intereses de las clases superiores del odiado Imperio Romano.

En la Edad Media la ciencia era algo que simplemente se toleraba, pero aún después de que volviera a renacer pudo observarse la misma reacción popular en los destrozadores de máquinas de la Revolución Industrial. Lo mismo se advierte hoy en las reacciones al último éxito científico, la bomba atómica. El efecto combinado de la ignorancia y el desprecio de la gente culta y de la suspicacia y el resentimiento de las clases inferiores ha sido, a lo largo de los siglos, el mayor obstáculo opuesto al libre desarrollo de la ciencia. La renuente y mal dispuesta cooperación ha sido sustituida finalmente por un intercambio libre y activo de conocimiento teórico y práctico que, como la experiencia de los países socialistas empieza a mostrar, puede incrementar enormemente el índice del progreso científico y técnico.

Esta crítica solo es aplicable al carácter clasista de la separación de la teoría y la práctica y no implica en absoluto desprecio alguno por la función de los hombres cultos en el progreso científico. El hecho de que la ciencia esté en manos de personas capaces de escribir, de tomar notas y de construir argumentaciones estrictas tuvo un valor inestable para su desarrollo en ciertos períodos. La naturaleza en su conjunto tomada en toda su crudeza y complejidad, es difícil de explicar en palabras corrientes. Ciertos mitos y rituales justificaron en su día prácticas de probada utilidad que no podrían encontrar apoyo en el discurso iletrado. Incluso la ciencia formal primitiva, como pudo ser la que existió entre los griegos era poco más que una mitología racionalizada. Algunos fragmentos de la ciencia, como el movimiento y las fuerzas simples, son susceptibles de una explicación puramente formal y cuantitativa. Los marinos sabían utilizar los remos y los comerciantes las balanzas mucho antes que Arquímedes descubriera la ley formal de la palanca, pero esta ley hizo posible nuevos inventos mecánicos que al hombre práctico jamás se le hubieran ocurrido y, lo que es más, fue un nuevo paso hacia delante, y muy importante, para la construcción de ulteriores generalizaciones en la mecánica y en la física de los tiempos de Galileo y Newton. Paso a paso los métodos racionales dejan de ser descripciones fenoménicas en lenguaje culto para convertirse en medios de generalizar y extender el dominio práctico de la naturaleza, en el campo químico y biológico primero y ahora en el terreno social. Sin embargo, como se mostrará más adelante, los períodos de progreso científicos más importantes y fructíferos han sido aquellos en que las barreras clasistas

fueron destruidas cuando más en parte, mezclándose igualmente los hombres prácticos y los ilustrados. Así ocurrió en el primer Renacimiento italiano, en la Francia de la gran Revolución, en América, a finales del siglo XIX, y, en sentido distinto y más completo, en las nuevas repúblicas socialistas de nuestros días.

La naturaleza clasista de la ciencia es tan universal que su mención en los círculos científicos suscita una asombrada sorpresa. La opinión admitida es que la tradición de la ciencia tiene vida propia, absolutamente independiente de las consideraciones económicas o políticas. Esto significa que el condicionamiento social, y particularmente el condicionamiento clasista de la tradición científica es algo implícito que nunca aparece en la superficie. En nuestra época la ciencia se somete por primera vez a un análisis sobre la base de su carácter clasista. Buena parte de este análisis ha sido tosco y equivocado, confundiendo los resultados reales de la ciencia con las teorías generales construidas sobre ellos; sin embargo, es preciso que ese análisis continúe y sea mejorado y encausado para que pueda conducir finamente a un entendimiento más amplio de la ciencia y de la sociedad.

LA CIENCIA NATURAL COMO FUENTE DE IDEAS

Si bien la utilización práctica de la ciencia es a la vez fuente constante del progreso científico y garantía de su validez, este progreso consiste en algo más que un continuo perfeccionamiento de la técnica. Parte igualmente esencial de la ciencia es la estructura teórica que enlaza sus resultados prácticos dándoles una creciente coherencia intelectual. La historia de la ciencia se escribía en el pasado y se escribe todavía hoy como si únicamente se tratara de la historia de tal o cual edificio del conocimiento. Eso solo puede ocurrir si se dejan de lado todos los componentes materiales y sociales de la ciencia reduciéndola de este modo a una inspirada necesidad, como ya se ha dicho con anterioridad y se ilustrará ampliamente en el cuerpo de este libro.

Por otra parte sería igualmente estúpido intentar dejar de lado la teoría, pues esta desempeña en la ciencia un papel enormemente importante y, en los tiempos más recientes, crecientemente positivo. En realidad, a lo largo de amplios períodos de la ciencia, el sentido general del trabajo ha estado condicionado por la verificación, y más frecuentemente aún por el intento de descalificación de la teoría, como ha ocurrido, por ejemplo, en la biología de finales del siglo XIX con la verificación de la teoría de la evolución de Darwin, o en la mecánica del siglo XVII con la falsificación de la física aristotélica. Existe, sin embargo, un peligro intrínseco en el desarrollo de esos campos autónomos y cerrados de esfuerzo científico. Si bien han partido originalmente de la práctica, tienden con el tiempo a divorciarse cada vez más de ella y a perder, a la vez que su propia utilidad, todo sentido de la dirección. En el pasado han acabado perdiéndose por lo general en docta pedantería, como sucedió con la física newtoniana en el siglo XIX, o solo han podido revivir mediante un nuevo contacto con la práctica, como ocurrió a finales del siglo XVIII con la electricidad y el descubrimiento de la pila eléctrica.

La imagen convencional de la ciencia considera sus leyes y teorías como deducciones legítimas o lógicas de los hechos establecidos experimentalmente. De haberse tomado en serio esta limitación es dudoso que la ciencia hubiera podido siquiera llegar a existir. Las leyes, hipótesis y teorías científicas tienen una base mucho más amplia que los hechos objetivos que intentan explicar. Muchas de ellas reflejan parcial

pero necesariamente la atmósfera intelectual no científica de la época, atmósfera que condiciona inevitablemente al investigador individual. El resultado es que los fenómenos de la naturaleza y de las artes manuales se interpretan en términos sociales, políticos o religiosos. Así, como veremos, la teoría de la inercia de Newton se basa en la prevalente interpretación racional de la religión y de la selección natural de Darwin en la opinión común de la justicia natural de la libre competencia.

Estas formas de pensar pueden conducir a veces a progresos científicos válidos, esto es, verificables prácticamente, pero a menudo, y especialmente cuando obtienen la aceptación general, constituyen un obstáculo para el descubrimiento científico mismo. La mayor dificultad del descubrimiento no está en las observaciones que es necesario realizar, sino que reside en romper las líneas tradicionales de su interpretación. Desde la época en que Copérnico estableció el movimiento de la tierra y Harvey la circulación de la sangre, descubrimientos echados por tierra cuando Einstein abolió el éter y Planck postuló el quantum de acción, la lucha real ha consistido menos en penetrar los secretos de la naturaleza que en derribar las ideas establecidas incluso cuando estas hayan contribuido en su época al progreso de la ciencia. Este progreso depende sin embargo, de la existencia continua de un cuadro tradicional o modelo de trabajo de universo parcialmente verificable, pero también parcialmente mítico en la medida en que las verificaciones son ilusoria o incluso erróneas. Por otra parte, es igualmente esencial que esta tradición, integrada como está (y debe estar siempre) por elementos extraídos de la ciencia y de la sociedad, pueda quebrarse continua y a veces violentamente para ser reconstruida a la luz de nuevas experiencias en los mundos material y social.

En la hora actual atravesamos un período semejante. El gran papel que desempeña la ciencia en la economía de los países altamente industrializados ha coincidido, y no accidentalmente, con la extensión y profundización del conocimiento de los fenómenos naturales donde sobresalen el descubrimiento de la estructura del átomo y el de los procesos químicos en los organismos vivos. Estos hechos han sometido a gran tensión las teorías científicas, resultando de ello una vertiginosa sucesión de teorías radicalmente nuevas, como las de la relatividad y la mecánica cuántica.

MATERIALISMO E IDEALISMO

El carácter general de la discusión teórica sobre la ciencia no es, sin embargo, nuevo: como dejará ver claramente el estudio de su historia, desde el amanecer de la ciencia ha existido siempre una lucha, unas veces latentes y otras activas entre dos grandes tendencias opuestas: la una, formal e idealista; la otra, práctica y materialista. Veremos que este conflicto domina la filosofía griega, pero ha tenido que originarse mucho antes, a partir de la formación de sociedades clasistas, puesto que las afinidades sociales generales de ambos campos nunca se han puesto en duda.

El campo idealista es el campo del "orden", de la aristocracia y de la rebelión establecida; su campeón más esforzado es Platón. El fin de la ciencia es, según él, explicar por qué las cosas son como son y mostrar cuán imposible, cuán impío es esperar modificarlas en algo esencial. Según Platón, lo único que se necesita es evitar unas pocas imperfecciones, como la democracia, para que la república quede a salvo para siempre al cuidado de los guardianes, los "hombres del oro". Como la perfección de este estado de cosas tal vez no esté muy clara para los hombres de las clases inferiores, es necesario demostrarles el carácter ilusorio del mundo material y, consiguientemente, la irrealdad del mal que pueda haber en él. En ese mundo imaginario el cambio es un mal; lo ideal, lo bueno, lo verdadero y lo bello son algo eterno que está fuera de cuestión, y como resulta evidente que no son muy abundante en la tierra debe buscárseles en el cielo perfecto. Esta concepción ha tenido una profunda influencia en el desarrollo de la ciencia, especialmente en la astronomía y en la física, e incluso hoy, en formas más sofisticadas y completas, existe una fuerte tendencia a adoptarla.

La concepción materialista, debido en parte a su naturaleza práctica y todavía más a sus implicaciones revolucionarias, encontró durante siglos escaso apoyo en los círculos ilustrados y muy pocas veces formó parte de la filosofía oficial. Algo de ella sobrevive, sin embargo, en el poema epicúreo de Lucrecio *De Rerum Natura* (Sobre la naturaleza de las cosas), que muestra a la vez su poder y sus peligros para el orden establecido. Se trata esencialmente de una filosofía de los objetos y de sus movimientos, de una explicación de la naturaleza y de la sociedad desde

abajo y no desde arriba; subraya la inagotable estabilidad del mundo material siempre en movimiento y del poder del hombre para cambiarlo a partir del conocimiento de sus leyes. Los materialistas clásicos no podían ir mucho más lejos, debido, como veremos, a su alejamiento de las artes manuales. Tampoco pudo hacerlo más tarde el gran reformulador del materialismo, Francis Bacon. Pero cuando la Revolución Industrial se puso en marcha, la ciencia se hizo materialista en la práctica, pese a que continuara rindiendo tributo al idealismo por razones políticas y religiosas. Mediados el siglo XIX el propio materialismo se había convertido en algo filosóficamente inadecuado por su incapacidad de enfrentarse a la sociedad y a sus transformaciones, dando cuenta así de la política y de la religión. Su ampliación y transformación para hacerlo susceptible de incluir estas últimas fue obra de Marx y sus seguidores. El nuevo materialismo dialéctico, que dio sus primeros frutos en los terrenos económico y político, solo ahora está empezando a entrar en la esfera de las ciencias naturales.

La lucha entre las tendencias materialista e idealista en la ciencia ha sido nota característica de la historia de esta desde sus principios. El idealismo de Platón responde de algún modo al materialismo de Demócrito, el fundador de la teoría atomística. En la Edad Media, Roger Bacon atacaba la prevalente filosofía platónico-aristotélica al defender una ciencia presidida por la utilidad práctica y fue encarcelado por sus trabajos. En la gran lucha del Renacimiento por crear la moderna ciencia experimental, el primer enemigo fue el formalismo aristotélico apoyado por la Iglesia, y la misma oposición puede encontrarse en la guerra entre ciencia y religión mantenido el pasado siglo a propósito de la evolución darwiniana. La persistencia de la lucha, a pesar de las sucesivas victorias logradas por la ciencia materialista muestra que no es esencialmente científica o filosófica: se trata, diversamente, de un reflejo en términos científicos de las luchas políticas. La filosofía idealista se ha invocado en todo momento o para sostener que el descontento actual es ilusorio y justifica de este modo el estado de cosas existente. La filosofía materialista, en cambio, se ha basado siempre en la prueba práctica de la realidad y en la necesidad del cambio.

INTERACCIÓN DE CIENCIA Y SOCIEDAD

Hemos completado así esta breve hojeada a los aspectos generales de la ciencia, contemplándola como institución, como método y como una tradición acumulativa de conocimientos, habiendo descrito también sus relaciones con la producción y con la ideología general. Ahora debe estar claro, sin necesidad de una definición, lo que se entiende por ciencia para los propósitos de este libro.

De hecho, ciencia y sociedad actúan recíprocamente una sobre otra en gran número de modos diversos; la tendencia a cargar el acento sobre uno u otro a su citada buena parte de la reciente discusión acerca de sus relaciones mutuas. Lo normal es empezar por la influencia de la ciencia en la sociedad: se piensa en un descubrimiento importante, como el de las ondas electromagnéticas, previsto primero teóricamente, luego comprobado en los laboratorios científicos, a continuación experimentado técnicamente y por fin, como la radio formando parte de nuestra vida diaria. Pero este no es el único modo en que la ciencia se desarrolla y afecta a la sociedad; no es siquiera el más importante. Lo corriente es que el científico comience advirtiendo el éxito o fracaso de algún artificio práctico. Luego, desinteresadamente o deseando mejorarlo, investiga en él, descubriendo a veces cómo hacerlo funcionar o a menudo algo muy distinto. De hecho, puede llegar a crear una nueva rama de la ciencia: así, la termodinámica partió del estudio de la máquina de vapor.

Aquí lo importante es que la experiencia práctica común funciona como un motor, por decirlo así, del interés científico, de modo que puede seguirse el progreso de la ciencia en términos de los campos de interés general técnico y económico sucesivamente cambiantes.

Este libro no pretende ser una historia de la ciencia. Su objeto es fundamentalmente la interacción de ciencia y sociedad y si hay en él algún desequilibrio este se halla más bien del lado de la influencia, tema sobre el cual se ha escrito ya bastante. Sin embargo, los efectos de la ciencia en la historia humana se han descuidado mucho en el pasado o por lo menos, se han tratado de un modo superficial o erróneo.

Tal cosa se debe a que los historiadores profesionales no han tenido casi nunca la cualificación necesaria para explicar o siquiera dar noticia

de las contribuciones y la influencia de la ciencia en tanto que, por otra parte, los historiadores de la ciencia se han ocupado muy poco de las grandes consecuencias históricas del desarrollo del conocimiento de la naturaleza. En la historia oficial ha existido siempre una tendencia a considerar el estado de la ciencia, al igual que el de la literatura y el arte, como una especie de apéndice cultural del enfoque político, o en la actualidad acentuadamente económico, de cada período histórico. En vez de esto lo que se necesita es una discusión sobre las aportaciones de la ciencia a la técnica y al pensamiento que encuentre su inserción en el cuerpo real de la narración. En la medida en que no se ha llegado a ello el carácter histórico esencial —es decir, el elemento progresivo e irrepetible— está ausente de la exposición de la historia. En su lugar encontramos una suma de relaciones personales e institucionales de la sociedad que no indica por qué no se repiten indefinidamente con variaciones. Puesto que las características claramente progresivas no pueden ocultarse, el historiador científico puede negarse de plano a explicarlas o bien dar una explicación mística basada en la divina providencia o en una presunta ley del desarrollo y decadencia de la civilización del tipo sugerido por Spengler y Toynbee. Solo a la luz de la ciencia podemos comprender el carácter irreversible y generador de novedad de los sucesivos pasos adelante característicamente históricos.

Como ya se ha indicado y se mostrará en detalle en los siguientes capítulos, la ciencia influye en la historia de dos maneras generales: en primer lugar, por los cambios que suscita en los métodos de producción, y a continuación, de un modo más directo, pero menos importante, por medio del impacto de sus descubrimientos e ideas en la ideología de la época. El primero de estos modos fue el que condujo al nacimiento de la ciencia a partir de la técnica, por una parte, y al de la religión por otra. Una vez que se ha encontrado un modo de mejorar las técnicas, siquiera en una esfera limitada, mediante la utilización de un pensamiento organizado, ordenado por la lógica y verificado por la experimentación, queda abierto el camino para una influencia indefinida de la ciencia en los métodos de producción; estos, a su vez afectan a las relaciones productivas, teniendo por ello una enorme influencia en los acontecimientos políticos y económicos.

El segundo modo de influencia de la ciencia, por medio de sus ideas, es cuando menos antiguo. Una vez que han sido formuladas, las ideas científicas se integran en el fondo común del pensamiento humano. Las

grandes revoluciones que en la concepción humana del universo, y del lugar y la función que en él corresponden al hombre, han tenido lugar en la antigüedad, durante el Renacimiento y en la época moderna, se deben, en gran medida, a la ciencia. El nuevo reino de la sencilla ley natural inaugurado por Galileo y Newton parecía justificar, al mismo tiempo, el retorno a un simple deísmo en materia religiosa, el *Laisser Faire* económico y el liberalismo político. La selección natural de Darwin, pese a haberse originado a partir de esa ideología liberal, fue utilizada a su vez para justificar la más cruda explotación y sujeción racial según el principio de la supervivencia del más fuerte. Por el contrario, una comprensión más profunda de la evolución ha servido para hacer claro el camino por el cual, a través de la sociedad, el hombre puede trascender los límites biológicos de la evolución animal y lograr una evolución social más profunda dirigida conscientemente.

El conocimiento y el método científico afectan por caminos menos directos el modelo general del pensamiento, la cultura y la política. La ciencia se está convirtiendo en una gran institución humana distinta de las demás, aunque estrechamente emparentada con ellas. La diferencia reside únicamente en que, por ser más reciente, se encuentra en una activa fase de desarrollo que halla desequilibrada su posición respecto del resto de la sociedad. La ciencia tiene ante sí un largo camino a recorrer para que su influencia en los asuntos humanos alcance su plenitud.

D. Bernal, John

LA CIENCIA EN EL MUNDO ACTUAL ²

Antes de que podamos discutir provechosamente el significado de los estudios históricos respecto de nuestros problemas es necesario examinar más estrechamente la situación actual de la ciencia en el mundo y relacionarla con la distribución del poder político y económico, condensando y ampliando en unos parágrafos la información que se ha dado en la Parte VI.

La distribución de la ciencia entre las diferentes regiones del mundo es enormemente desigual, pero también cambia con gran rapidez. Corresponde muy estrechamente, por las razones ya dadas, al de la industria pesada. Más de las nueve décimas partes de los trabajadores científicos del mundo están concentrados en unos cuantos kilómetros cuadrados en torno a una docena de yacimientos carboníferos y a un número similar de capitales y centros portuarios en otras regiones. La población de este sector industrial del mundo que crece rápidamente es de unos 730 millones de personas, o sea, aproximadamente el 23 por ciento de la población mundial. El resto del mundo es agricultor, y las mayores concentraciones de población se encuentran en las cuencas de media docena de grandes ríos y en islas altamente cultivadas como el Japón y Java, que ocupan el 20 por ciento de la superficie terrestre habitable y comprenden una población total de unos 1.400 millones de campesinos, que reciben muy pocos beneficios de la ciencia. El resto del mundo, aparte de desiertos, montañas y zonas de tundra virtualmente despobladas, contiene una población de unos 1.200 millones de personas, en su mayoría agricultores —una tercera parte de la población mundial— a pesar de ocupar el 89 por ciento de la superficie habitable del planeta.

Estas divisiones puramente geográficas sólo adquieren un significado para la ciencia actual y la del futuro a la luz de los sistemas políticos y económicos según los cuales se administran. En la actualidad el mundo

² Del libro *Historia Social de la Ciencia, II. La ciencia en nuestro tiempo*. D. Bernal, John. Ediciones Península, 1964, pp. 427-442.

se divide con bastante naturalidad en tres sectores, que pueden denominarse sector capitalista, sector socialista y sector de las antiguas potencias coloniales, el último de los cuales se está convirtiendo rápidamente en un bloque de Estados neutrales que ya no forman parte del "Mundo Libre".

El primer sector está integrado por los Estados imperialistas altamente industrializados, antiguos y modernos: los Estados Unidos, Gran Bretaña, Alemania, Francia, Italia y Japón, junto con los Estados industriales más pequeños y débiles de Europa y América, que se hallan dominados económica, estratégica y políticamente por los Estados Unidos. Estos comprenden entre todos una población de 600 millones de personas, de las cuales unos 420 millones se dedican a la industria y unos 180 millones a la agricultura. El centro principal del capitalismo es todavía más reducido, y consiste de hecho en el este de los Grandes Lagos de América, la Gran Bretaña industrial, el noroeste de Europa y el Japón, pues en estas zonas se producen casi las dos terceras partes del acero del mundo, el material clave de la industria moderna. Aquí, durante los periodos que median entre las crisis, la industrialización y la producción aumenta rápidamente, pero el ritmo de desarrollo ha sido mucho mayor en América a lo largo de todo el periodo debido a la mayor concentración de la producción, que sigue aumentando. Es cierto que en los países europeos, durante una década, se ha producido un asombroso desarrollo capitalista, pero este desarrollo se halla estrechamente vinculado al capitalismo americano. Europa es en realidad el principal campo de inversión del capital americano. El control real de este complejo industrial no está en absoluto unificado, pues persisten las rivalidades y continuamente se renuevan las combinaciones de fuerzas. Pero la oligarquía dominante, los dirigentes activos de los cincuenta grandes complejos financieros e industriales del mundo, son pocos y forman un grupo exclusivo, que probablemente no comprende a más de cien personas en total, y en la que predominan los intereses de los Estados Unidos. (7.20a)

El segundo sector del mundo está constituido por los países que en diversos periodos, a partir de 1917, han destruido la dominación del capitalismo sin clases. La población total de este grupo es de unos 1.100 millones de personas, o sea, un tercio de la población total del globo. Su grado de industrialización actual es bajo, y comprende a unos 230 millones de personas —el 20 por ciento de la población, o el 30 por

ciento si se excluye a China, con su predominante población campesina—. Lo significativo de este sector en relación con el uso que hace de la ciencia es que se halla sometido a una industrialización extremadamente rápida y que, en contraste con la tendencia centralizadora del capitalismo, ello tiene lugar de una manera muy extendida, de modo que se eleva el nivel de la producción industrial de un modo igual en todas las regiones, desarrollándose la agricultura en las regiones industriales, y las industrias en las regiones agrícolas. Ello implica también un uso activo y planificado de la ciencia tanto en la industria como en la agricultura.

El tercer sector del mundo comprende las restantes áreas de Europa y Asia y toda África, Oceanía y América Central y del Sur. Se trata predominantemente de un área productora de materia prima y de productos alimenticios para los antiguos países imperiales. Su población total es de unos 1.400 millones de personas, o sea casi la mitad de la población mundial, de los cuales sólo el 8 por ciento se dedica a la industria. El resto, con la excepción de los privilegiados granjeros de los dominios británicos, son campesinos trabajadores de las plantaciones, o siervos con un nivel de vida muy bajo.

Todo ello se pone de manifiesto del modo más elemental examinando el consumo absoluto de alimentos. Los pueblos con un consumo alimenticio superior a las 2.700 calorías por cabeza y día, se hallan todos ellos en el primer sector, o países como Australia y Nueva Zelanda. En el otro extremo, en muchos países asiáticos y africanos, el consumo es inferior a las 2.200 calorías por cabeza y día. (7.26a) Esta miseria física los hace más sensibles a las enfermedades precisamente donde hay menos medios para combatirlas. La duración media de la vida es en la India sólo de 32 años, contra 70 en Inglaterra (91.70) Al propio tiempo existe un analfabetismo masivo y una agricultura dificultada por la pobreza que proporciona cosechas ínfimas.

En este sector, unos 20 millones de personas —o sea, menos del 2 por ciento— se hallan bajo el dominio imperialista directo de las antiguas potencias industriales, y otros 15 millones —la población negra de África del Sur y de Rodesia meridional— bajo el dominio de intereses similares en África del Sur. Otros 820 millones de personas, o sea, cerca del 60 por ciento, incluidos los países mucho más poblados de la India, el Pakistán e Indonesia, han conseguido su independencia política a partir de la

Segunda Guerra Mundial, pero siguen estando dominados económicamente por las potencias imperialistas antiguas y modernas. Esto explica por sí mismo el retraso del desarrollo industrial en interés de las potencias imperialistas y la concentración de toda la economía de estos países en la producción de materias primas agrícolas y mineras — metales estratégicos y petróleo—, que pueden extraerse provechosamente por la baratura de la fuerza de trabajo. El terreno queda exhausto por el monocultivo, a menudo en plantaciones de propiedad extranjera, y sólo se elaboran los productos hasta el punto de hacer más ventajoso el transporte. Finalmente, los beneficios que se obtienen de estas empresas abandonan el país y no pueden ser empleados en la edificación de su economía.

La falta de industrias en este sector colonial o semicolonial del mundo "libre" también garantiza que su gobierno se efectúe muy poco democráticamente en interés de las grandes potencias, bien directamente, mediante funcionarios extranjeros, bien indirectamente, por los representantes de los terratenientes y comerciantes locales, a pesar de que este dominio se les va escapando rápidamente de las manos por la presión popular. Es innecesario decir que en tales condiciones hay escaso lugar para la ciencia, a pesar de la creciente conciencia de su importancia. En los países de África y América del Sur reunidos hay menos científicos que en Holanda.

LA UTILIZACION DE LA CIENCIA EN EL SECTOR CAPITALISTA

Los dos rasgos más característicos de la investigación y el desarrollo científico del mundo capitalista actual, y particularmente de los Estados Unidos, son la concentración y la militarización. En ningún otro periodo de la historia ha estado tan concentrada la producción industrial y en grado todavía mayor la investigación científica en una parte tan pequeña del mundo, y nunca la proporción de la investigación militar respecto de la civil ha sido tan grande como en la actualidad. Ambas características son consecuencia del desarrollo de la industria controlada por los monopolios.

La búsqueda del beneficio máximo es el factor predominante en la determinación del equilibrio de esfuerzos entre las industrias y entre las ciencias que las sirven. A lo largo de toda la historia del capitalismo solamente se ha desarrollado la tecnología y se ha llamado a la ciencia para que contribuyera a ello, cuando parecía el modo más provechoso de organizar la producción. Cuando, por ejemplo, como en la industria textil británica de los últimos cien años, ha habido mano de obra barata y la maquinaria se ha amortizado desde hace mucho tiempo, no se ha hecho ningún esfuerzo serio para mejorar la técnica o emplear la ciencia. (7.15-16)

Y, en efecto, el empleo de la investigación científica es una forma de inversión de capital. El reconocimiento de esta relación ha sido muy reciente. Fue discutida seriamente por vez primera por Bichowski en 1947, y hoy es algo generalmente aceptado (6.11) Solamente cuando es posible invertir capital, es posible pensar en emprender investigaciones. Pero incluso después de este descubrimiento, y hasta muy recientemente, la suma destinada a la investigación y al desarrollo representa solamente el 12 por ciento, en Gran Bretaña, y 17 por ciento, en los Estados Unidos, de las nuevas inversiones de capital. (7.14)

Con el incremento de los monopolios lo que era un proceso automático e inconsciente se ha convertido en una política deliberada. Los cálculos de beneficios a una escala sin precedente —de hasta el 50 por ciento en América, donde la mayoría de las compañías consideran que el equipo debe amortizarse entre dos y cinco años— son un

requisito previo necesario para una inversión de capital seria y para la investigación y el desarrollo que lo hacen posible.

El control monopolista de la ciencia está también encubierto por las técnicas de la publicidad que el público llega a creer que las sumas gastadas en investigación industrial están destinadas sobre todo a su beneficio sin advertir que se orientan, aunque se empleen en el sector civil, a producir bienes como la televisión y las drogas raras, donde el margen de beneficio es mayor.

La misma exigencia de maximización del beneficio es la que ha orientado fuertemente en los últimos años a la ciencia y la técnica hacia los usos militares. Los beneficios son aquí enormes: el público paga sin plantear preguntas espinosas y los bienes resultantes no van a parar al mercado. Cabe consumirlos en guerras o, si éstas no tienen lugar, se destruyen por anticuados al cabo de pocos años. La demanda de este tipo de bienes se ve reforzada por los medios de propaganda necesarios para mantener la fiebre bélica y justificar los gastos militares. Consecuencia de ello ha sido la militarización de la ciencia, ya discutida y sobre la que se volverá de nuevo, con todas sus consecuencias de secreto, encubrimiento y caza de brujas.

De un modo u otro, directamente o a través de los organismos del gobierno, la ciencia ha caído en el sector capitalista del mundo, bajo el control de un pequeño número de grandes firmas monopolistas. En los Estados Unidos, (6.1) las universidades se hallan ya en sus manos; sus representantes forman parte de los organismos gubernamentales, desde donde disponen de los fondos y conceden las subvenciones estatales; pueden hacer o destruir científicos importantes, y su influencia se ha convertido en predominante en las sociedades científicas, que sólo pueden continuar existiendo gracias a sus subvenciones. Solamente la conveniencia de mantener, para los ojos del público bienpensante, la apariencia de la libertad académica y de su propia benevolencia al mantenerla, impide la exhibición abierta de su dominación.

En realidad, desde principios del siglo la política de sostener la investigación ha sido, junto con la filantropía y el patrocinio de las artes, uno de los recursos adoptados deliberadamente para disimular la posición moral de las grandes dinastías monopolistas de los Rockefeller, los Mellon, los Ford y los DuPont. Gastando una menuda parte de los beneficios obtenidos durante muchos años de explotación, han llegado a

aparecer como los grandes patrocinadores de la investigación desinteresada. A partir de la Segunda Guerra Mundial el gobierno los ha sustituido, convirtiéndose, como ya se ha descrito, en la principal fuente no solamente de los fondos de investigación de las universidades, sino también de la investigación industrial.

Esta nueva orientación, que funciona tanto en Inglaterra como en América, se basa en los contratos de investigación y desarrollo, casi exclusivamente para material bélico. Ha mostrado ser muy conveniente para las empresas monopolistas, pues el gobierno paga todos los costos y corre todos los riesgos mientras que, una vez que los nuevos descubrimientos se incorporan a la producción, la industria se lleva todos los beneficios. En 1961, el Gobierno de los Estados Unidos pagó el 64 por ciento de la investigación sobre electricidad, el 64 por ciento de la Investigación instrumental y una cifra no inferior al 89 por ciento de la investigación aeronáutica. Todo ello suma más de 6.700 millones de dólares, o sea alrededor del 60 por ciento de todos los gastos en investigación industrial del país. Es difícil dar cuadros comparativos para Inglaterra, pero la distribución real de los gastos de investigación entre unas pocas grandes empresas de las industrias de la maquinaria y la aeronáutica muestra que tiene lugar el mismo proceso. (6.35-6)

LA ORGANIZACION DE LA INVESTIGACION

Es preciso observar de nuevo este aumento de investigación industrial y gubernamental para considerar la organización actual de la investigación en los países capitalistas. Esta es muy distinta de la que se inició con las academias del siglo XVII, aunque éstas existen aún como cuerpos honoríficos. Ha cambiado su finalidad y sus dimensiones se han hecho muy superiores. Su objetivo es el empleo de la ciencia en el funcionamiento y la evolución de la economía y en la administración de los Estados que han convertido su principal interés técnico en la preparación de la guerra. La organización científica de hoy no está limitada —y de hecho tampoco se ocupa de ello de modo principal al desarrollo interno de la ciencia—. Pese a todo, como la misma existencia de un cuerpo amplio y costoso de investigación científica ha pasado a ser casi totalmente dependiente del Estado y de las finanzas industriales, el futuro de la ciencia está condenado a verse afectado profunda y directamente por el modo en que se organiza la investigación.

A finales del siglo XIX la antigua forma de progreso científico, por medio de la actividad de científicos individuales, que contaban con medios independientes o que obtenían dinero prestando servicios privados, virtualmente había dejado de existir. En cambio, los grandes progresos en los fundamentos científicos se concentraban en las universidades, donde la nueva función de investigar se añadió a la antigua de enseñar. Esta forma ha sido desde entonces casi general, y su única excepción es la existencia de un pequeño número de fundaciones de investigación, a pesar de que éstas tienden a vincularse a las universidades. El progreso de la ciencia aparecía al principio como un subproducto de la enseñanza en general, pero a medida que crecía su importancia tendía a dominar a esta última y la propia enseñanza de la ciencia, tendía a limitarse a ser una introducción a la investigación.

Pero ya en la actualidad las investigaciones mediante las cuales se enseña a los estudiantes tienen lugar ampliamente fuera de las universidades, en la industria o en los servicios del gobierno. Dejando de lado sus comienzos en la industria de la electricidad a finales del siglo XIX, la mayor parte de la investigación industrial en sentido estricto data de la segunda década del siglo XX. Pero el desarrollo de la investigación

industrial ha tenido lugar con una rapidez muy superior a la de las anteriores formas. (718) Es probable que entre 1920 y 1960 la investigación industrial se haya multiplicado por cien en el mundo capitalista, y ya la gran mayoría del cuerpo tremendamente ampliado de los trabajadores científicos activos están empleados por la industria o en las secciones industriales de los preparativos de guerra. Originalmente, la finalidad de la investigación industrial consistía en aplicar los resultados de la ciencia a las necesidades de la producción. Pero a medida que transcurría el tiempo los cuerpos de investigación industrial tendían a acumular cada vez más conocimientos básicos, especialmente en la física y en la química, y a tomar a su servicio investigadores capacitados en ciencia fundamental. Por ello el centro de gravedad de la ciencia se está desplazando cada vez más hacia la esfera industrial, con muchas malas consecuencias y no solamente en la caracterización de cualquier cosa como alto secreto, sino también eliminando todo control sobre la orientación general de la investigación por parte de científicos competentes e independientes.

INVESTIGACION GUBERNAMENTAL Y MILITAR

Sin embargo, el más reciente cambio en la organización de la ciencia se debe a la intervención a gran escala de los gobiernos. Es cierto que desde el siglo XVII parte de la subvención a la ciencia procedía de fuentes gubernamentales, pero se dedicaba casi exclusivamente a servicios como los de la astronomía o la cartografía, o a la adecuada homogenización de los pesos y medidas. En los países capitalistas existía de hecho, hasta estos últimos años, una objeción fuerte y definida a la intervención del gobierno en la esfera de la ciencia, debido a que éste podía interferirse en la competencia de los individuos y las empresas, en la utilización de la ciencia para su propio beneficio.

Esta objeción, como hemos visto, se ha eliminado por completo a causa del interés común que tienen ahora los gobiernos y las empresas monopolistas en que existan fondos para la investigación bélica. El proceso ha requerido tiempo: en la Primera Guerra Mundial, la ciencia, al principio relegada, se convirtió al final en un auxiliar menor pero indispensable para la producción y el manejo de artificios tales como el aeroplano o la telegrafía sin hilos; en la Segunda Guerra Mundial fue muy importante desde el principio y al final se convirtió en un factor dominante, no solamente en el perfeccionamiento de las nuevas armas, como los proyectiles teledirigidos y la bomba atómica, sino también en la coordinación y dirección de las mismas operaciones militares (1.2; 6.26) Durante la guerra prácticamente toda la ciencia británica y norteamericana se entregó al servicio bélico.

Pero incluso después de la guerra la subvención de la ciencia por parte de los gobiernos, para la preparación de nuevas guerras cada vez más científicas continuó multiplicándose debido a la presencia de importantes factores. Así, en Inglaterra, las sumas destinadas a la ciencia por el Parlamento van de los 5 millones de libras esterlinas en 1937 a los 78 millones en 1947, y a los 385 millones en 1962; en los Estados Unidos, estas sumas van desde los 50 millones de dólares en 1940 a más de 600 millones en 1945, y alcanzan los 1,600 millones en 1963. El aumento de los gastos, tanto de las industrias como de los gobiernos, en la ciencia, no implica aumentos correspondientes en el número de científicos, aunque éste es bastante grande. El número de científicos cualificados

empleados por la ciencia gubernamental en Inglaterra va de los 743 en 1930 a 7.059 en 1962, o sea, que casi se ha multiplicado por diez. Y ello tampoco implica un incremento correspondiente en la calidad del nuevo saber obtenido, sino que más bien ocurre lo inverso. Gran cantidad de gastos están destinados a costosos aparatos y equipos y a la remuneración de un personal secundario muy numeroso. El desarrollo ha sido tan rápido que ha detenido claramente el progreso de la ciencia fundamental y de la ciencia industrial básica con finalidades civiles. En Inglaterra, de hecho, se produjo un claro estancamiento en 1950. Y fue tan estricto que suscitó una protesta por parte del propio Departamento de Investigación Científica e Industrial:

"Difícilmente se podrán llevar a cabo investigaciones fundamentales de importancia si el esfuerzo que cabe destinar a ello es insuficiente para asegurar un progreso rápido y se desestiman por infundadas las sugerencias que se hacen de vez en cuando, para aumentar el escaso esfuerzo dedicado a ellas." (7.6)

El atraso relativo de la ciencia civil británica ha sido por último, reconocido oficialmente. Durante las elecciones de 1964 los dos grandes partidos prometieron dar primacía a la investigación científica con fines civiles. (9.79) Sin embargo, es dudoso que ésta pueda alcanzar dimensiones tan grandes como el esfuerzo que se dedica a la investigación militar.

El mismo aumento de las necesidades materiales de la ciencia tiende a convertir en dominante la contribución del gobierno y los gobiernos capitalistas efectúan su aportación primariamente para fines militares. En 1962, el 64 por ciento de los gastos gubernamentales en la ciencia en Inglaterra se destinaba a finalidades militares, incluyendo el 52 por ciento del personal científico del gobierno. En los Estados Unidos, el porcentaje correspondiente era del 90 por ciento. Su influencia no se limita al nivel de la aplicación, sino que penetra en toda la investigación. En los Estados Unidos, el Departamento de Defensa y la Comisión de Energía Atómica financian alrededor de 25 por ciento de la investigación básica del país. (9 8) El abastecimiento de trabajadores científicos, en gran parte para los preparativos bélicos y para una eventual guerra, se ha convertido en un tema angustioso y consiguientemente los gobiernos han tomado a su cargo la financiación de las universidades. En Inglaterra, por ejemplo, el presupuesto del gobierno para las universidades se ha

multiplicado por ocho desde la guerra, y en la actualidad representa el 70 por ciento de sus ingresos. A pesar de todo, perdura la escasez crónica de trabajadores científicos cualificados tanto en Inglaterra como en América (7.13; 7.22; 8.19; 8.30 a 6.3) cuya causa es la limitación impuesta a la educación por el sistema clasista. En Inglaterra, se intenta resolver esta paradoja con el impulso dado a la ampliación de la base de la educación superior, especialmente en la ciencia y en la tecnología. El índice de estudiantes sigue siendo bajo, alrededor del 17 por ciento del grupo de edad correspondiente, lo que seguramente no pondrá dificultades a la perduración del carácter esencialmente clasista de la educación superior, y con ello a la ocupación por las clases superiores de todos los puestos administrativos y técnicos del país.

La concentración y la militarización de la ciencia producen efectos que no se limitan a los centros de investigación y producción de los Estados Unidos y de Inglaterra. La demanda de materia prima por parte de los Estados Unidos está minando ya el mundo "libre"; el 22 por ciento del petróleo extraído en Asia y América del Sur va a parar a los Estados Unidos, que consumen el 43 por ciento de la producción petrolera mundial.

Y de la misma manera el mundo se ve minado en lo mejor de su talento científico. Con la excusa, a menudo creída auténticamente, de facilitar la obra de un científico individual que promete, los mejores científicos —o al menos los mejores de los no contaminados por el comunismo o por un patriotismo pervertido— van instalándose en los laboratorios admirablemente equipados de los Estados Unidos, donde son libres de proseguir sus propias investigaciones. Este proceso, iniciado hace muchos años, alcanza ahora proporciones que hacen peligrar el progreso científico de muchos países. En la actualidad la mitad de los científicos distinguidos de los Estados Unidos son de origen extranjero. Es cierto, que muchos de ellos llegaron al país para escapar a la persecución nazi, pero fueron muy pocos los que regresaron a sus países de origen tras la derrota de Hitler. La ganancia de los Estados Unidos en la paz y en la guerra ha sido grande, pero se equilibra con una pérdida para el mundo. Estos científicos han eludido los problemas de sus propios países en una época en que su influencia formadora y su trabajo eran muy necesarios. La emigración de investigadores científicos a los Estados Unidos se reconoce hoy oficialmente. Para Inglaterra, por ejemplo, la cuarta parte de los graduados en física va a los Estados

Unidos, y son muy pocos los que regresan. Se desconoce la proporción correspondiente a la India, pero debe ser aproximadamente de un 50 por ciento. Esta tendencia aumenta la concentración de la ciencia en los países industriales más altamente desarrollados, haciendo descender hasta un punto peligroso las posibilidades de los países subdesarrollados para hacer progresar su propia ciencia y competir con ellos. La *National Science Foundation* estima que entre 1949 y 1961 se admitieron como inmigrantes en los Estados Unidos 44.430 científicos e ingenieros nacidos o educados en países extranjeros.

Todo el sistema de concentración de la ciencia en laboratorios que están nominalmente bajo el control de la universidad pero que en realidad se hallan sometidos a los monopolios o al gobierno, y que se orienta hacia proyectos considerados de valor militar, es un peligro muy serio para la ciencia. A pesar de que las severas condiciones de seguridad y lealtad muestran ahora señales de aliviarse, el ambiente general todavía es capaz de disuadir a los científicos activos o reflexivos de preocuparse por las implicaciones sociales de su trabajo. Cuando lo hagan, y los científicos americanos como cuerpo empiecen a expresar sus opiniones con la fuerza que les dan los importantes servicios que han prestado al país, podemos esperar ver grandes cambios.

La enorme riqueza y productividad de los Estados Unidos y la concentración del esfuerzo científico han producido una depresión correspondiente en el desarrollo de los centros científicos nacionales del resto del mundo "libre". La investigación principal en casi todos los campos, y particularmente en la física, sólo es posible hoy en laboratorios fuertemente equipados. Pero éstos sólo se encuentran en los Estados Unidos y su creación en otros lugares, es un acontecimiento cada vez más raro. En el mundo capitalista solamente Inglaterra, y en cierta medida Suecia, pueden pretender ser plenamente independientes en investigación fundamental, pero esta independencia es bastante precaria en diversos terrenos. Muchos otros países tienen tales dificultades financieras crónicas debidas en gran parte a los gastos militares y a las restricciones comerciales que mantienen a la ciencia virtualmente congelada. Pese a que el trabajo de sus científicos individuales puede ser excelente, estos países ya no son capaces de llevar a cabo un trabajo científico organizado a un nivel moderno y tienden a entrar cada vez más en la órbita de los Estados Unidos.

El desarrollo de la ciencia en el mundo capitalista en los últimos años ha sido impresionante, pero a costa de distorsiones muy serias en los objetivos y en los métodos. Ello ha causado la alarma de los científicos y no precisamente de los más radicales a ambos lados del Atlántico. (1.49) Pero parece haber alguna esperanza, en una atmósfera política más fácil, para que sus voces puedan ser escuchadas.

LA CIENCIA EN LOS PAISES EN VIAS DE DESARROLLO

La crítica a las actuales tendencias de concentración en el centro y descuido en la periferia se aplica con fuerza todavía mayor a los países subdesarrollados. Algunos de ellos —notablemente la India— con una larga tradición científica, y a pesar de todo se resisten a su tendencia y a la medida que van conquistando la independencia económica y levantando su industria pesada difunden la formación y la investigación científica y técnica. En los restantes territorios coloniales hay muy poca ciencia, pero sí una gran demanda popular de ella. En este punto los antiguos imperialismos de Inglaterra y Francia, por no decir nada sobre Portugal, han sido absolutamente incapaces de emplear la ciencia a una escala adecuada siquiera para la explotación de los recursos naturales. La ciencia se dedicó en gran parte a la extracción de minerales y a la producción de cosechas sin atender al mejoramiento de las condiciones de vida de los pueblos de las colonias. Pero esto se está convirtiendo ya en cosa del pasado. Los nuevos Estados que han conquistado rápidamente la independencia política se enfrentan con una dificultad todavía mayor al tratar de desarrollar la energía científica necesaria para el funcionamiento de la economía en beneficio del pueblo; el progreso conseguido ha sido insuficiente para aminorar el abismo que separa a los países en desarrollo de sus antiguos dominadores industrializados. La única solución a corto plazo es la consecución de cuadros científicos y técnicos en los países subdesarrollados con asistencia extranjera, por lo menos hasta que sean capaces de atender a ello por sí mismos. Pero en lo relativo a este punto solamente China ha sido capaz de realizar el esfuerzo. La ayuda, si ha de ser realmente útil para la edificación de estos países y no para explotarlos, no debe ir acompañada de la dominación política y económica. Y en estos términos su ayuda sólo puede proceder de la Unión Soviética, especialmente en la instalación de altos hornos, en las técnicas de la prospección petrolífera y de la perforación de pozos y en la creación de escuelas técnicas. Los países capitalistas pueden verse obligados, para defenderse, a hacer lo mismo, y entablarse de este modo una conversación para ver quién ayuda más.

LA LECCION DE LA PRESA DE ASSUAN

Un buen ejemplo puede ser el de la presa de Assuán. Los Estados Unidos se negaron en un primer momento a financiar la presa; Egipto, consiguientemente, nacionalizó el canal de propiedad extranjera y construyó la presa con fondos y asistencia técnica soviética. Unos años más tarde se iniciaban las obras de la presa del Volta, en Ghana, con ayuda de los Estados Unidos.

Los acontecimientos de estos últimos años muestran a todo el mundo —salvo a aquellos a quienes les ciegan sus propios intereses— que el sistema colonial, en sus formas antiguas o modernas, está inevitablemente condenado al fracaso. Nada puede impedir el empuje de los pueblos del mundo por adoptar la nueva tecnología y la nueva ciencia y emplear la riqueza resultante para su propio beneficio. El resultado de todo ello solamente puede consistir en una enorme ganancia de recursos naturales y humanos para todo el mundo. En particular, el esfuerzo científico se verá multiplicado.

Esta perspectiva no tiene por qué atemorizar a la población o a los científicos de los antiguos países industriales. Su posición privilegiada en un mundo en que la miseria está tan extendida es más una maldición que una ventaja para ellos. Y el mantenimiento de esta posición privilegiada es la razón, o al menos la excusa, que se da para la existencia de las aplastantes cargas militares que son especialmente dificultosas para la ciencia. Se dice que estas últimas son necesarias para contener al comunismo cuya difusión amenaza los intereses de la civilización. En realidad, una vez levantadas las barreras artificiales para el comercio entre las partes capitalistas y socialistas del mundo, la industrialización rápida de los países atrasados proporcionará una demanda suficiente de bienes de producción para mantener a los viejos países industriales a pleno rendimiento. Y cuando al cabo de una generación las industrias de los nuevos países hayan alcanzado un nivel comparable, el nivel de vida de las poblaciones de estos países será tan alto que proporcionará un mercado ilimitado para los bienes de consumo. Ayudar a los países atrasados no es una cuestión de sacrificio por parte de los viejos países imperialistas, a pesar de que éstos tienen una deuda considerable respecto de los países a los que han explotado durante siglos, sino una cuestión del más elemental interés propio.

LA CIENCIA EN EL SECTOR SOCIALISTA

El contraste que presentan los países socialistas al dominio del capitalismo monopolista es absoluto. El criterio en que se basa el desarrollo económico, y consiguientemente el uso de la ciencia, es el bienestar general y no el beneficio máximo. Se ha descrito ya la actualización de este principio, pero no se han subrayado adecuadamente sus efectos sobre la transformación de la ciencia misma y sobre su relación con la vida del pueblo. El empleo de la ciencia en los planes constructivos de la industria y de la agricultura exige una producción enormemente aumentada de científicos formados y un incremento consiguiente en la educación científica en sus niveles superiores. Gracias al interés práctico por la construcción, por la agricultura, por la transformación de la Naturaleza, por el descubrimiento y la utilización de los recursos naturales, por el mejoramiento de la salud de la población, el interés científico está mucho mejor equilibrado, en especial por el importante papel asignado a la geología, la biología y la medicina. (6.55)

Una innovación significativa es la entrada de la mujer en el trabajo científico. En China y las Democracias Populares, al igual que en la Unión Soviética, en lugar de la proporción de una mujer por cada seis hombres, que es la regla general en la ciencia británica, a lo sumo, en algunos campos, como por ejemplo, la medicina, entran en el terreno científico más mujeres que hombres. Esto supone de hecho duplicar el núcleo intelectual del que se obtienen los científicos. (6.9)

Todo ello, junto con el énfasis científico que se da a la enseñanza de la escuela primaria, conduce a un enorme incremento del prestigio y la consideración de la ciencia por parte de la mentalidad popular. Para comprenderlo sólo se necesita comparar el espacio dedicado a las cuestiones científicas en las revistas y periódicos de la Unión Soviética y de China con el de Gran Bretaña y Norteamérica.

Estas características conducen a una transformación radical del lugar de la ciencia en la sociedad, abriéndola por completo a todo el pueblo y no a la élite clasista que la ha monopolizado desde los comienzos de la civilización. Semejante transformación ha de dar una enorme fuerza a los países en que tiene lugar. En la competición real que existe ya entre los

dos sistemas económicos del mundo, esta transformación arroja sobre la balanza nuevos recursos humanos que, mediante la ciencia, pueden acelerar enormemente la utilización de los recursos naturales. Y en este punto se ha llegado ya tan lejos que la Unión Soviética forma personal científico y técnico en número veinte veces superior al de los Estados Unidos. Una vez que se comprende realmente esta competencia por utilizar todos los recursos intelectuales humanos, y no ya una pequeña parte de ellos, no podrá ser detenida hasta que la población de todo el mundo, y no de una clase o de un país, tenga oportunidad, mediante la educación, de contribuir con todo su saber y capacidad al bienestar general.

LA ORGANIZACION DE LA CIENCIA EN EL MUNDO SOCIALISTA

En los países socialistas, empezando por la Unión Soviética, la organización de la ciencia ha seguido un curso diferente al del mundo capitalista. A pesar de que se desarrolla —y con éxito— la investigación militar, como muestran la conquista de las bombas atómicas y de hidrógeno, ésta tiene la prioridad absoluta o relativa de que gozan los países capitalistas.

La prioridad se concede sobre todo al empleo de la ciencia en el esfuerzo económico nacional. La necesidad de asegurar una mayor participación de la ciencia en la industria y en la agricultura y de desarrollarla al propio tiempo internamente, se ha conseguido no por la acción directa del gobierno sino mediante una ampliación enorme de los antiguos cuerpos científicos, y ante todo de las academias. La Academia de la URSS, junto con las Academias de Medicina, Agricultura, Arquitectura y Educación y las academias más recientes de las diversas Repúblicas, representa de hecho el ideal de las antiguas academias del siglo XVII, como la Academia de Lincei, la Royal Society y la Académie des Sciences, pero con el rango y las dimensiones del siglo XX. La Academia Rusa, que era una sociedad honorífica del tipo de las del siglo XIX, se vio encargada de la organización y el funcionamiento de grandes institutos de investigación en cada uno de los aspectos de la ciencia, en los que trabajan en la actualidad muchos millares de personas. Además, la Academia es responsable, a través de sus institutos y de sus directivas para la investigación científica de las universidades, de la planificación general del trabajo científico en conjunción con los planes de la economía en su conjunto.

La tarea de la Academia se define en los siguientes términos:

"Determinar la orientación básica de la investigación en las ciencias naturales y humanas y dirigir y coordinar la investigación científica en estos campos en sus propios institutos, en los de las academias de las Repúblicas y en los centros de educación superior".

"Promover la investigación en la ciencia pura y en los grandes problemas generales de su aplicación, como el uso de las

matemáticas y de la técnica de los computadores en la economía, la automatización, los nuevos materiales y las nuevas fuentes de energía".

"Aconsejar al gobierno acerca de la utilización de los nuevos descubrimientos científicos".

"Dirigir la financiación y el equipo de los institutos de la Academia y de las academias de las Repúblicas." La Academia ha sido reorganizada varias veces de acuerdo con los enormes cambios del desarrollo interior y de las aplicaciones de la ciencia. Tras la última reorganización, en 1963, el trabajo ha quedado dividido en tres grandes secciones que comprenden las doce o más que existían con anterioridad: 1) matemáticas y física; 2) química y biología; 3) ciencias sociales. Estas secciones ejercen un control general sobre unos cincuenta departamentos. Cada departamento debe ser un cuerpo poderoso y eficaz responsable del desarrollo nacional de su rama científica en la Academia misma, en las academias de las Repúblicas y en los establecimientos de enseñanza superior. La inclusión de los establecimientos de educación superior es un reconocimiento algo tardío de la importancia de la asistencia que los departamentos universitarios deben dar a los institutos de investigación independientes.

El sistema deja la dirección de la ciencia a los científicos, las únicas personas que son intrínsecamente competentes para asumirla. Al mismo tiempo les garantiza los medios y el saber necesarios para desarrollar la ciencia en el sentido que les parezca más rico en promesas para el futuro. Contrariamente a lo que a menudo se afirma, en la Unión Soviética no se hace el plan para los científicos; sino que son los científicos quienes preparan el plan de la ciencia. Como es natural, tienen en cuenta los planes económicos generales, que conocen bien por haber sido consultados con anterioridad para su elaboración. Sin embargo, la planificación general sólo afecta a sus propios planos en las líneas estratégicas generales. Los científicos deben adoptar ideas a largo plazo, y se espera que así lo hagan. Los grandes planes de construcción de las cuencas ribereñas del sudeste de la Unión Soviética, que en 1950 se anunció que estarían terminados en siete años, habían estado sometidos al examen de los científicos desde veinte años antes. Los

planes anuales y quinquenales de la Academia de Ciencias se han concentrado, sobre todo, en los puntos de desarrollo de la ciencia, pero también, con frecuencia, en los puntos donde han de ser más fructíferas las aplicaciones técnicas. (6. 55; 6. 57; 6. 65) La transformación que tiene lugar en el sector socialista del mundo es difícil de entender para los científicos del mundo capitalista. Comprenderla plenamente exige conocer no solamente la ciencia, sino también la historia, la economía y la filosofía de estos países.

La acentuación de la dirección científica autónoma, que recurre al Estado para el apoyo material y que responde a la llamada de éste prestándole asistencia en cuestiones específicas, es el modelo común de organización científica adoptado en las Democracias Populares y en la República Popular China. Ha mostrado ser flexible y ha liberado una enorme riqueza de capacidad y entusiasmo, respondiendo al gran esfuerzo por la utilización nacional de la ciencia que se inició con la Revolución Francesa. Todo ello da a los científicos mayor poder, pero también una responsabilidad mayor.

El trabajador científico de Occidente encuentra difícil comprender lo que está ocurriendo hoy en la Europa oriental y en China, y no porque sean extrañas para él las condiciones de estos países, sino porque se trata de las conquistas de unos pueblos que tienen un objetivo en el que participan todos, incluidos los trabajadores científicos. Cuando existe un objetivo común se transforma la reacción individual. La retirada a una torre de marfil científica es, en muchos casos, una simple evasión de la falta de sentido y de finalidad generales de la vida en un mundo en el que la única perspectiva es la destrucción. La finalidad social constructiva va acompañada de sanciones y satisfacciones emocionales que se han perdido, para nuestro propio detrimento, en la civilización egoísta en que vivimos. (9.1, 268)

EL ELECTRÓN Y EL ÁTOMO ³

La física en 1896

Los grandes movimientos del siglo XX y la revolución en la ciencia física que los ha acompañado han convertido a la física, en el transcurso de unos cincuenta años, en algo casi irreconocible. Para comprender esta revolución es necesario considerar la actitud y el estatuto de la ciencia a principios de siglo. En la atmósfera de la física, a finales del XIX, se combinaba una teoría coherente e intelectualmente satisfactoria, con una creciente y llena de éxitos de aplicación práctica. El electromagnetismo de Faraday y Maxwell estaba encontrando aplicación en la iluminación eléctrica y en las nuevas redes de distribución de energía. La termodinámica de Clausius y Gibbs empezaba a afectar al diseño de las máquinas térmicas y de las plantas químicas. Y además estaban en el aire nuevos inventos. La teoría electromagnética hacía surgir la telegrafía sin hilos, la termodinámica había conducido ya al motor de combustión interna, que convirtió el transporte en algo muy barato y que poco después permitiría al hombre volar. Todo esto, sin embargo, no era sino una ampliación del saber establecido que no prometía concluir en nada radicalmente nuevo.

La descarga eléctrica

El cambio tendría que llegar de algunas descuidadas ramas de la física cuyos efectos no entraban fácilmente en la imagen clásica, pero que al parecer eran tan poco importantes que nadie podía dudar seriamente de su incorporación definitiva. Lo primero que turbó la complacencia física del siglo XIX fue el estudio de la descarga eléctrica. Los fenómenos de las chispas, los arcos eléctricos y las descargas por fricción se habían considerado siempre como vagos e inmanejables, si bien constituían una rama menor de la física. A mediados del siglo XIX habían atraído alguna atención en relación con la moda del arco voltaico, pero éste, a finales

³* Se reproduce íntegro el artículo 10. 1 EL ELECTRÓN Y EL ÁTOMO del libro Historia Social de la Ciencia de John D. Bernal (Ediciones Península, sexta edición)

de siglo, parecía destinado a dejar paso al filamento incandescente. Con todo, la descarga eléctrica también se manifestaba brillantemente en el vacío y, debido a las necesidades de la nueva industria de la bombilla eléctrica, se impulsó el mejoramiento de las técnicas de vaciado. Como consecuencia del renovado interés y de las nuevas técnicas se hicieron diversas observaciones significativas a finales del XIX. Muchas de ellas no parecían explicables en términos de la física clásica: Sir William Crookes (1832-1919), en 1876, siguiendo las observaciones de Faraday en 1838, observó la formación de una luminosidad alargada en el extremo negativo, el cátodo, de un tubo de descarga altamente vaciado. Le pareció que consistía en algún tipo de partículas situadas en el cátodo, llamándolas rayos catódicos, una nueva forma radiante de la materia. En ello fue profético, pues precisamente fue lo que permitió la edificación de la nueva física.

Rontgen y los rayos X

Johnstone Stoney (1826-1911) aventuró la posibilidad citada llamando electrones a los rayos catódicos en 1894; Jean Perrin (1870-1942) mostró que llevaban carga negativa (1895); J. J. Thomson (1856-1940) midió su velocidad (1897). En noviembre de 1895 cambió bruscamente el curso de la investigación a causa de un descubrimiento accidental y completamente imprevisto. Konrad von Rontgen (1845-1923), entonces un oscuro profesor de física de Würzburg, adquirió uno de los nuevos tubos de descarga de rayos catódicos al objeto de poner en claro su funcionamiento interno. Al cabo de una semana descubrió que ocurría algo en el exterior del tubo, algo que superaba todas las propiedades atribuidas a la Naturaleza, algo que hacía brillar a las pantallas fluorescentes en la oscuridad y que podía impresionar las placas fotográficas atravesando su cubierta de papel negro. Pero, sobre todo, se trataba de fotografías sorprendentes, pues mostraban las monedas que se llevaban en los bolsillos y los huesos de la mano. Como no sabía de qué se trataba denominó al fenómeno "rayos X". Era un descubrimiento científico asombroso: todos podían verlo, y no fue sorprendente que en unos cuantos días los periódicos llevaran a todo el mundo la noticia del descubrimiento. Éste fue objeto de innumerables canciones satíricas y al cabo de pocos meses casi todos los científicos de

fama repetían para sí el experimento y lo mostraban a maravillados auditorios.

El electrón

Por grande que fuera el valor inmediato de los rayos X, especialmente para la medicina, su importancia última para el conjunto de la física y la ciencia natural fue todavía mayor, pues su descubrimiento proporcionó una clave no sólo para una sino para muchas ramas de la física. En primer lugar, permitió a J. J. Thomson completar sus ideas acerca de los generadores de rayos X —los rayos catódicos o electrones— al advertir no solamente que los electrones, al incidir sobre la materia, hacen que ésta despidan rayos X, sino que mediante los rayos X se consigue que cualquier tipo de sustancia genere electrones. Podían producirse iones o partículas cargadas en los gases y explicar en gran parte las misteriosas propiedades de las descargas eléctricas, incluida la mayor de todas: el rayo. El descubrimiento de que los electrones, aparentemente idénticos, podían suscitarse en las más variadas sustancias parecía indicar que eran como una especie de materia prima de la electricidad. Pero esta materia prima estaba compuesta de partículas individuales era atómica. En consideración a este hecho, J. J. Thomson dio el primer paso decisivo para el descubrimiento de la estructura interna del átomo.

El revivir del atomismo

La física del siglo XX difiere de la del XIX por su insistencia en considerar a los átomos como entidades concretas. El siglo XIX se abrió con la teoría atómica de Dalton en la química, y el atomismo obtuvo grandes triunfos en las fórmulas estructurales de la química orgánica; pero, como ya se ha indicado en la Parte V, la corriente de ideas de la última parte del siglo, principalmente por influencia de Mach y Ostwald, fue antiatomista, explicando las propiedades atribuidas a los átomos en función de las relaciones entre sustancias más generales. El propio Newton fue atomista, pero su mecánica se prestó, al ser generalizada por Lagrange y Hamilton, a una imagen del espacio en la que las propiedades apenas variaban de un lugar a otro. La teoría del campo adquirió un prestigio inmenso por la intuición de Faraday y su

transformación por Maxwell en la teoría electromagnética de la luz, que era esencialmente una teoría de campos de fuerza. Como veremos, todavía sería mucho más generalizada por Einstein en sus teorías de la relatividad.

La continuidad, principio supremo en la física de los campos, no podía incluir fácilmente la discontinuidad de los átomos y mucho menos la discontinuidad mayor que se apreciaría con la teoría cuántica. Desde los mismos comienzos de la reflexión consciente sobre los fenómenos físicos, la idea de átomo ha parecido revolucionaria y siempre ha estado vinculada con el pensamiento ateo y revolucionario en general. Los campos, como perfectas formas geométricas, son conservadores y continuos. La física de la continuidad parecía de mucho mejor tono, pero los intentos de restablecerla no fueron sino escaramuzas incapaces de vencer la poderosa corriente de conocimientos nuevos, interpretables solamente en términos atómicos.

Becquerel y la radioactividad

Hacia 1897, los átomos estaban ya definitivamente asegurados, pero, paradójicamente, no se trataba ya de átomos en el sentido etimológico (es decir, indivisibles), sino que exhibían la desconcertante posibilidad de ser susceptibles de división. Ello no era tan sencillo como lo que había mostrado J. J. Thomson. Simultáneamente se consiguió otro descubrimiento de importancia todavía superior. Al cabo de cuatro meses del descubrimiento de los rayos X, Becquerel (1852-1909), en Francia, considerando que los rayos X debían tener alguna relación con la luminosidad que aparecía en los tubos de descarga, trató de hallar otros cuerpos que mostraran una luminosidad parecida; en sus investigaciones con minerales y sales, en particular sales de uranio, halló, de modo bastante sorprendente, las luminosidades que buscaba. Se trata en este caso de un verdadero accidente en la historia de la ciencia. Henri Poincaré (1854-1912) había aconsejado a Becquerel que investigara una posible relación entre los rayos X y la fosforescencia. Su padre tenía una magnífica colección de sustancias fosforescentes. Si en vez de investigar con el nitrato de uranio hubiera cogido sulfuro de zinc, es probable que el descubrimiento del fenómeno de la radioactividad, con todo lo que significa para la física atómica, se hubiera retrasado otros cincuenta años

por lo menos. En torno nuestro se esconde una multitud de fenómenos sencillos, pero capaces de provocar una revolución en la física.

Los nuevos y misteriosos rayos del uranio también eran capaces de atravesar la materia, haciéndolo espontáneamente sin necesidad de aparato alguno, a partir de sustancias químicas aparentemente inertes y estables.

Los Curie y el radio: transmutación de los átomos

El descubrimiento de la radioactividad fue un golpe todavía mayor para las doctrinas físicas y químicas del siglo XIX. La obra de los mayores químicos, del propio Lavoisier, había impuesto la ley de la inmutabilidad de los elementos. Y se había implantado como una refutación directa de las pretensiones de los antiguos químicos, que querían alterar los elementos o crear materia. Y de pronto he aquí que la materia cambia realmente por sí misma sin necesidad de ningún estímulo externo. También fue un duro golpe la doctrina de la conservación de la energía: ¿de dónde procede la emitida por las sustancias radioactivas? Sólo del átomo mismo, pero una cantidad pequeñísima de material radioactivo emitía cantidades apreciables de energía: Ello implicaba que el átomo contiene energía en cantidades insospechadas para el hombre, que hasta entonces utilizaba solamente la liberada por combustión, en la que se basaba la industria del siglo XIX.

Una vez descubierta la radioactividad el progreso científico fue extraordinariamente rápido, mucho más que en cualquier período anterior de la historia de la ciencia. En el corto intervalo de seis años se pusieron al descubierto las características principales del cambio atómico espontáneo. Pierre Curie (1859-1906) y su esposa Marie (1867-1934), polaca de nacimiento y la primera mujer investigadora científica importante, descubrieron fuentes de energía mucho más poderosas que el uranio original. Consiguieron aislar nuevos elementos como el polonium y el radium; este último tiene tal poder radioactivo que brilla en la oscuridad y puede causar lesiones mortales en las personas que lo manipulan o se aproximan a él excesivamente.

Rutherford y Soddy: las transformaciones radioactivas

Rutherford había estudiado la naturaleza de las radiaciones mismas, y había mostrado que las de cierto tipo, los rayos alfa, eran algo completamente nuevo en la ciencia. Estos rayos consisten en partículas materiales proyectadas a velocidades inconcebibles. Demostró también que el átomo del radio produce otros átomos, los del gas de helio, elemento raro y romántico advertido primero en el Sol por medio del estudio de la luz que emite, y los del elemento llamado entonces emanación del radio. Esto era alquimia, pero alquimia natural, pues en esta época no había nada que pudiera modificar el ritmo de desintegración de los átomos y convertirlos en otros según las reglas de la desintegración radioactiva. Los creyentes aceptaron el hecho como si fuera otro inescrutable misterio de la Naturaleza, y sostuvieron que nunca sería posible modificarla. Mediante una magnífica combinación de técnicas físicas y químicas, Rutherford, ahora en Montreal trabajando con el brillante químico Soddy, siguieron esos cambios, y entre 1899 y 1907 revelaron familias enteras de transformaciones naturales, una para el uranio, otra para el torio y otra para el actinio. Cada elemento radioactivo emitía rayos alfa, beta o gamma, transformándose en otros elementos hasta terminar en plomo inerte. Al estudiar estos procesos pareció claro que los elementos no eran simples y homogéneos, que cada uno contenía cierto número de átomos químicamente iguales, pero de comportamiento físico distinto. Se trataba de los isótopos, de los cuales se hablaría tanto en los años siguientes.

Planck y la teoría cuántica

Al principio esta multitud de fenómenos quedó fuera de las teorías existentes, siendo considerados simplemente como hechos brutos, pero ya de otra parte de la física llegaba una clave que ayudaría a descifrar su significado. El descubrimiento del electrón había suscitado dificultades en la teoría de la radiación de la luz. Si la luz se produce por rotación o vibración de electrones entonces debe cambiar continuamente de color, ya que los electrones pierden energía con la radiación, pero la clara evidencia de la constancia de la longitud de onda en el espectro óptico mostraba que no era así. En la teoría del calor aparecía otra

contradicción. Según la teoría electromagnética clásica, toda la energía de un cuerpo caliente estaría concentrada en la longitud de onda corta, pero en vez de observarse luz azul se veía luz roja.

Estas discrepancias no podían ser ignoradas permanentemente, pero los esfuerzos afortunados por explicarlas de Max Planck (1858-1947) en 1900 no hicieron más que resolver una dificultad experimental para suscitar otra teórica. De hecho, Planck sugería que los átomos no liberan energía continuamente, sino por partes, o, en otras palabras, que la energía, como la materia, es atómica, pero que la atomicidad no reside en la energía misma, sino en la curiosa magnitud que es la acción (energía multiplicada por tiempo). Existe, consiguientemente, un quantum o cantidad suficiente de acción, la constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J. s), que gobierna la magnitud de todos los intercambios de energía de los sistemas atómicos.

Einstein y el fotón

Albert Einstein fue el primero en extraer de ello la primera aplicación práctica en el nuevo campo de la física. De este modo explicó por qué los electrones emitidos por un metal cuando llega a él un haz de luz viajan siempre a la misma velocidad, independientemente de que la luz sea débil o intensa. Lo que ocurre es que sólo absorben el cuanto de energía poseído por la luz; más luz implica mayor número de cuantos, pero no cuantos más grandes. La velocidad, en cambio, depende directamente del color, es decir, de la frecuencia de la luz. La imagen de Einstein era la siguiente: los electrones producidos por la luz al incidir en un metal son una especie de partícula, un fotón o átomo de luz de frecuencia ν , que transfiere su energía a otra especie de partícula, un electrón de velocidad v o de energía E , según la ecuación

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = h\nu.$$

De hecho, había vuelto del revés la imagen ondulatoria de la luz y regresado a la antigua idea de Newton, para el que la luz se componía de partículas.

El núcleo atómico

Sin embargo, la aplicación plena de la teoría cuántica a la estructura del átomo todavía tenía que esperar otros dos descubrimientos capitales. En 1910 dos de los colaboradores de Rutherford, Geigery Marsden, habían demostrado que aquellos proyectiles naturales, las partículas alfa, en vez de seguir una trayectoria rectilínea al atravesar láminas delgadas, a veces salían disparadas en sentido contrario. Rutherford concluyó de este sorprendente resultado —que comparaba a una granada de artillería que rebotara en una hoja de papel— simplemente que las partículas chocaban con algo muy duro. De hecho, había advertido que los átomos tienen un núcleo. Descubrió así al compañero del electrón, y como los electrones tienen carga negativa, el núcleo debía tener una carga positiva exactamente igual a la carga total de los electrones que giran en torno a él. ¿Cómo están dispuestos los electrones? El problema tenía muchas curiosas analogías con el de la disposición de los planetas en el sistema solar, problema que había dejado perplejos a los científicos del Renacimiento, de modo que señaló una solución parecida, en realidad ideada por Perrin en 1901, pero que no pudo probarse hasta que se conocieron ciertos hechos en otro sector: los del descubrimiento de la naturaleza ondulatoria de los rayos X.

Von Laue y los Bragg: Rayos X y cristales

En 1912 Von Laue descubrió que los rayos X podían ser difractados por medio de cristales, tal como ocurre con la luz ordinaria cuando atraviesa una estructura estriada, como una pluma, un tejido fino o un disco de gramófono, cuyas estrías tienen dimensiones aproximadamente iguales a las longitudes de onda de la luz. Los rayos X son difractados por objetos de la misma magnitud que los átomos mismos, y por tanto de longitudes de onda más cortas que la luz. Por sus efectos, el descubrimiento de Von Laue fue tan importante como el de los propios rayos X. Inmediatamente lo examinaron Sir William y Sir Lawrence Bragg (padre e hijo), mostrando que era posible medir la longitud de onda de los rayos X y al propio tiempo determinar la estructura de los cristales en términos de la disposición de los átomos que los componen.

El átomo de Rutherford-Bohr

Poco después, en 1913, en el laboratorio de Rutherford en Manchester, Moseley (1887-1915), un joven físico muy brillante, muerto en la batalla de Gallipoli, midió la longitud de onda de los rayos X emitidos por diferentes elementos, mostrando que seguían una ley muy sencilla, dependiendo exactamente del número atómico y del número de electrones en cada clase de átomo. El laboratorio de Rutherford, gracias al carácter de éste, había atraído a algunas de las mentes más brillantes que nunca hayan trabajado juntas en la física. Entre ellos había un joven danés, Niels Bohr (1885-1962), capaz de unir los cuatro cabos que entonces estaban sueltos: el núcleo duro del experimento de la dispersión, las sencillas leyes descubiertas mucho antes por Balmer (1825-1898) en relación con las frecuencias en el espectro de hidrógeno, la regularidad de las longitudes de onda de los rayos X de diferentes elementos y la teoría de los cuanta de Planck. Como un nuevo Kepler, mostró que el átomo podía dibujarse como un sistema solar en que cada electrón tenía su propia órbita particular, y que la luz o los rayos X eran producidos solamente cuando los electrones pasaban de una órbita de energía elevada a otra de energía inferior.

El átomo de Rutherford-Bohr —el átomo del siglo XX— enseguida quedó establecido, en el sentido de que, como la astronomía newtoniana, podía ser utilizado para predecir las propiedades de los átomos simplemente a partir del conocimiento del número de electrones que tenían. Y explicaba la razón de que solamente la luz de determinadas frecuencias fuera emitida o absorbida por los átomos. Se podían interpretar los espectros complejos y hallarse los niveles de energía del electrón en los diferentes átomos. El mismo concepto de nivel de energía es de tipo cuántico. Implica que toda molécula o estructura molecular puede existir en gran número de estados con diferentes caracteres de vibración como los tonos de un instrumento musical y que las diferencias de energía entre dichos estados pueden hallarse midiendo las frecuencias de la luz emitida o absorbida.

El nuevo átomo en la química

Pero el concepto atómico de Rutherford-Bohr excede en mucho lo

anterior. Se podía utilizar inmediatamente para interpretar las hasta entonces misteriosas y enormemente arbitrarias leyes de la química. En primer lugar explicaba por qué los diferentes átomos tienen las propiedades que tienen, por qué unos forman metales y otros no, por qué otros son gases inertes. Las disposiciones con determinado número de electrones —2, 8, 18, 32— parecían perfectamente estables. Si se les agrega uno o más electrones nuevos éstos quedan unidos en forma mucho más débil. En los materiales compuestos por tales átomos, la luz llega fácilmente a los electrones en vibración y es reflejada poderosamente por éstos, propiedad característica de los metales. Si hay unos pocos electrones que necesitan compensarse, los electrones de átomos diferentes se combinan de modo que produzcan el mejor efecto: el resultado es una molécula neutral, no metálica, como las de los gases o las moléculas orgánicas. Si se colocan juntos átomos metálicos y no metálicos, el átomo metálico da sus electrones excedentes al átomo no metálico, convirtiéndose en un ión cargado positivamente, y el ión no metálico, cargado ahora negativamente, se combina con él por, simple atracción eléctrica formando una sal. Así es como toda la imagen de la tabla periódica de los elementos, dispuesta en familias y series, a la que había llegado cincuenta años antes lógicamente el gran químico ruso Mendeléiev, recibió una explicación física y cuantitativa. Hay 92 elementos naturales, del hidrógeno al uranio, debido a que hay elementos que tienen 1, 2, 3, 4, ... hasta 92 cargas positivas en sus núcleos, y cada uno tiene el propio número atómico correspondiente.

La estructura de los cristales

Los descubrimientos de Von Laue y los Bragg iban a tener, con todo, consecuencias de mayor alcance. Los Bragg, al analizar las disposiciones relativas de los átomos en los cristales, hallaron una nueva cristalografía fundamental que a su vez transformaría las ideas de los químicos acerca de la naturaleza de los cristales y moléculas. Fue como si se hubiese inventado un nuevo microscopio que permitiera ver la posición de los átomos químicos. Por una parte, se pudo demostrar que en las sales simples como el cloruro sódico no existen moléculas, sino sólo conjugaciones regulares de iones positivos de sodio y iones negativos de cloro; por otra parte, en sustancias como la naftalina existen moléculas

como las consideradas en el siglo XIX, pues los grupos de átomos están separados entre sí por grandes espacios. En realidad, el análisis con rayos X confirmó primero y luego permitió refinar la idea sobre la estructura de las moléculas a la que los químicos habían llegado mediante una lógica matemática muy ingeniosa basada en sus transformaciones en otras moléculas. Donde no podían aplicarse los métodos químicos, como en los metales y los silicatos, los rayos X se emplearon inmediatamente para descifrar la estructura atómica y explicar al propio tiempo las propiedades específicas y útiles de tales sustancias.