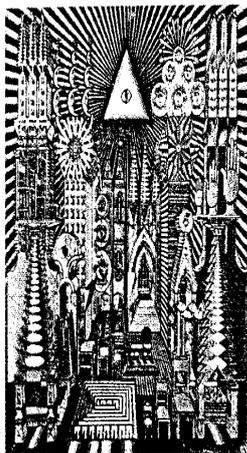


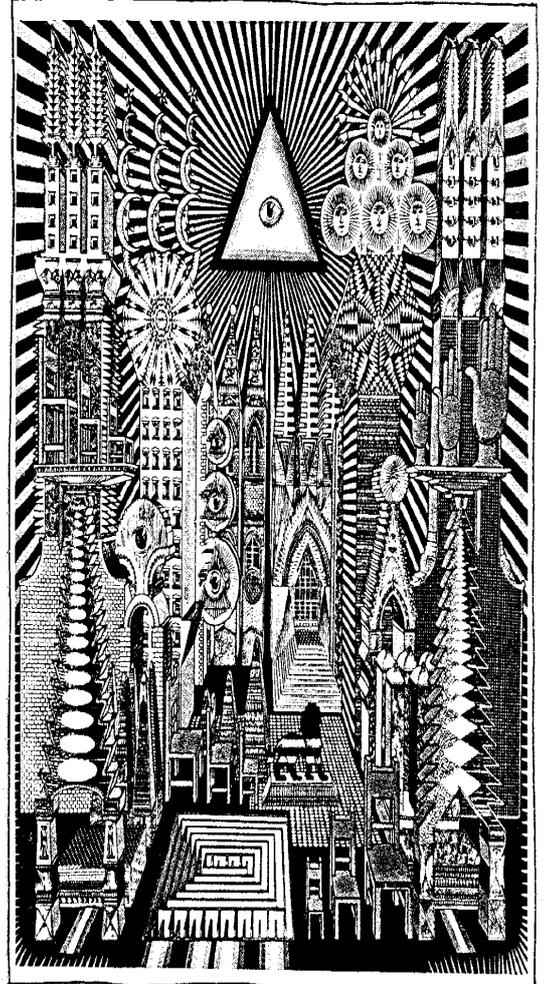
Esta obra no es una nueva historia de la ciencia sino un estudio de la relación entre su desarrollo y la evolución del hombre. La ciencia transforma el mundo de modo rápido y sustancial, pero no conduce automáticamente al progreso. Para comprender nuestro tiempo es preciso interrogarse sobre qué es la ciencia, cómo ha llegado a serlo, cómo ha correspondido en el pasado a las formas adoptadas sucesivamente por la sociedad y cómo ha contribuido a modelarlas. El autor analiza el desarrollo de la ciencia en el contexto del conjunto de las actividades sociales y la considera bajo sus aspectos de institución, método, tradición acumulativa del conocimiento, factor productivo e instrumento de formación de opiniones y actitudes acerca del hombre y el mundo. Al mismo tiempo, destaca la evolución de su carácter práctico, su dimensión racional, su precisión cuantitativa y su naturaleza explicativa.

TIERRA UNIDA
6 566 71



John D. Bernal la ciencia en la historia

la ciencia en la historia



John D. Bernal

Universidad Nacional Autónoma de México

EDITORIAL NUEVA IMAGEN

I. INTRODUCCIÓN

En este libro se trata de describir e interpretar las relaciones existentes entre el desenvolvimiento de la ciencia y el desarrollo de los otros aspectos de la historia humana. Su propósito esencial consiste en lograr la comprensión de algunos de los principales problemas producidos por el impacto de la ciencia sobre la sociedad. La civilización actual, en sus aspectos materiales, sería imposible sin la ciencia. También la ciencia ha sido afectada profundamente en sus aspectos intelectuales y morales. La propagación de las ideas científicas se ha constituido en un factor decisivo para remodelar todas las normas del pensamiento humano. En los conflictos y aspiraciones de nuestro tiempo encontramos, particularmente, la implicación continua y creciente de la ciencia. Los hombres viven con el temor de la destrucción por la bomba atómica o por las armas biológicas; y con la esperanza de alcanzar una vida mejor mediante la aplicación de la ciencia a la agricultura y a la medicina. Incluso la división del mundo en dos grandes campos de ideologías tan diferentes es, en parte, una consecuencia de la ciencia. Y a resultas de esta división se han desarrollado ideas muy distintas acerca de los objetivos y los métodos de la propia ciencia.

El curso de los acontecimientos nos plantea, cada vez con mayor insistencia, ciertos problemas sobre la ciencia, como son los siguientes: el empleo apropiado de la ciencia en la sociedad, la militarización de la ciencia, las relaciones de la ciencia con los gobiernos, el secreto en la ciencia, la libertad de la ciencia, la posición de la ciencia en la educación y en la cultura general. ¿Cómo se resuelven estos problemas? Las tentativas que se han hecho para darles soluciones recurriendo a principios aceptados o a verdades evidentes por sí mismas, sólo han servido para producir confusión. De esta manera no se puede dar una respuesta clara, por ejemplo, a la cuestión de la responsabilidad del hombre de ciencia respecto a la tradición científica, a la humanidad o al Estado. En un mundo que cambia con tanta rapidez, muy poco es lo que se puede esperar de ideas tomadas sin alteración alguna de una sociedad que ha desaparecido hasta en el recuerdo. Pero no decimos que el problema sea insoluble y que, por consiguiente, hay que dejarse llevar por el pesimismo im-

potente y el irracionalismo que son tan frecuentes en la actualidad entre los intelectuales de los países capitalistas.^{1.34} En último término, estos problemas tienen que resolverse satisfactoriamente en la práctica, en el proceso de encontrar el camino para utilizar y desarrollar la ciencia de una manera más armónica y con vistas a obtener de ella mejores resultados para la humanidad. Ya se ha conseguido considerable experiencia en aquellos países en donde la ciencia se ha consagrado conscientemente a las tareas de la construcción y el bienestar. Aun en la Gran Bretaña y en los Estados Unidos, la experiencia adquirida con el empleo de la ciencia para la guerra y para los preparativos de guerra, ha hecho pensar a los científicos en lo que podría hacerse con ella para la paz.^{1.2.285}

Sin embargo, la experiencia por sí misma no basta ni puede actuar nunca exclusivamente sola. Es preciso guiarse siempre, ya sea consciente o inconscientemente, por teorías y actitudes extraídas del acopio general de la cultura humana. En tanto sea inconsciente, esta dependencia de la tradición será ciega y únicamente conducirá a la repetición de las soluciones ya intentadas, las cuales resultan inoperantes por los cambios experimentados en las condiciones. Para que sea consciente, debe implicar un conocimiento profundo de todas las relaciones existentes entre la ciencia y la sociedad, para lo cual se requiere desde luego conocer la historia de la ciencia y de la sociedad. En la ciencia, más que en cualquier otra institución humana, es necesario investigar el pasado para poder comprender el presente y dominar el futuro.

No obstante, por lo menos hasta hace poco, semejante consideración sólo ha tenido escaso apoyo entre los científicos activos. En la ciencia natural, y particularmente en las ciencias físicas, se encuentra firmemente arraigada la idea de que el conocimiento admitido ocupa el lugar del conocimiento pasado y lo sustituye por completo. Se acepta que el conocimiento futuro sustituirá, a su vez, al conocimiento actual; pero, por el momento, resulta ser el mejor conocimiento disponible. Todo lo que era útil en el conocimiento anterior ha quedado absorbido por el presente; y lo único que se ha abandonado son las equivocaciones de la ignorancia. En una palabra, tomando la expresión de Henry Ford: "la historia es pura filfa". *

Afortunadamente, en nuestro tiempo, un número cada vez mayor de científicos empieza a advertir las consecuencias de esa

admirar, ingenuo, cuento, pupila

actitud de desprecio hacia la historia y, por esto mismo, de la necesidad de estimar inteligentemente el lugar que ocupa la ciencia dentro de la sociedad. Únicamente con este conocimiento pueden los científicos, independientemente del prestigio de que gocen, dejar de representar el papel de peones de ajedrez, ciegos y desvalidos, en el gran drama contemporáneo del uso y del abuso de la ciencia. Es cierto que, en el pasado inmediato, tanto los científicos como los demás hombres se han dejado llevar con gusto por la cómoda creencia de que la aplicación de la ciencia conduce automáticamente al progreso constante en el bienestar humano. La idea no es muy vieja que digamos. Se trataba de una especulación revolucionaria y peligrosa en la época de Roger Bacon (sección 6.5) que fue sostenida decididamente por primera vez, trescientos años más tarde, por Francis Bacon (sección 7.6). Pero, sólo debido a los inmensos cambios progresistas que se efectuaron en la ciencia y en la manufactura con la Revolución Industrial, fue que esta idea del progreso se convirtió en una verdad cierta y duradera —casi en un lugar común (sección 9.6) en la época victoriana. En la actualidad, en estos días de preocupaciones y angustias, cuando el poder que la ciencia otorga es visto en su capacidad más inmediata para destruir la civilización y aun para borrar del planeta la vida misma, ya no se confía simplemente en que la ciencia asegure un progreso ininterrumpido en las actividades pacíficas. Incluso, se ha insinuado la duda y el temor, por parte de algunos neomalthusianos, de que resulte peligrosa la curación de las enfermedades en un planeta sobrepoblado (sección 11.8).

Para bien o para mal, no es necesario empeñarse actualmente en destacar la importancia de la ciencia, pero justamente debido a su indudable importancia, sí hace falta entenderla. La ciencia es el medio a través del cual nuestra civilización se está transformando rápida y totalmente. Además, la ciencia se sigue desarrollando; y no, como en el pasado, de una manera tranquila e imperceptible, sino rápidamente, a saltos y pasos gigantescos que todos pueden advertir. El edificio de nuestra civilización ha cambiado enormemente en el curso mismo de nuestras vidas y sigue cambiando cada vez con mayor rapidez, de un año a otro. Para comprender lo que está ocurriendo, no es suficiente con saber lo que la ciencia está haciendo ahora. También es esencial entender cómo ha llegado a ser lo que es,

cómo ha correspondido en el pasado a las formas sucesivas de la sociedad y cómo, a su vez, ha servido para modelarlas.

No faltan quienes dan por supuesto que, debido al influjo cada vez más poderoso que ejerce la ciencia sobre nuestras vidas, los hombres de ciencia tienen en sus manos el dominio efectivo del mecanismo de la civilización y, por consiguiente son directa y ampliamente responsables de los males y desastres de nuestro tiempo. La mayoría de quienes trabajan realmente en la ciencia saben muy bien cuán alejada de la verdad se encuentra dicha creencia. El uso que se hace de los resultados obtenidos por el trabajo de los científicos está completamente fuera de su control. La responsabilidad de los científicos se mantiene, por lo tanto, exclusivamente en el plano moral. Y aun esta responsabilidad es habitualmente eludida dentro de la tradición científica mediante la exaltación del desinterés en la indagación de la verdad, independientemente de las consecuencias que puedan surgir de ésta. Como lo veremos más adelante (sección 9.6), esta cómoda evasión de la responsabilidad se sostenía bastante bien en tanto que el progreso social general, debido en mucho a la ciencia, parecía ser una realidad. Así, el científico podía identificarse de manera razonable y fácil con las tendencias económicas y políticas corrientes y podía sentirse bastante feliz de proseguir exclusivamente en el curso de su actividad escogida libremente. Pero, ante un mundo lleno de privaciones, de miseria y de temores crecientes y en donde el científico se ve implicado cada vez más directamente en los aspectos más desagradables del arte de la guerra, se empieza a quebrantar aquella actitud. En el mundo actual, es difícil que el hombre de ciencia pueda eludir su responsabilidad moral.

La otra alternativa no es la irresponsabilidad, sino el adoptar una responsabilidad social activa más consciente ante el hecho de que la ciencia puede, por una parte, hacer una contribución explícita a la planeación de la industria, la agricultura y la medicina, con propósitos que el científico puede aprobar plenamente; y de que, por otro lado, la ciencia puede ser extendida y transformada hasta convertirse en parte integrante de la vida y el trabajo de todos.

La transformación de una ciencia socialmente irresponsable en una ciencia con responsabilidad social, es algo que apenas comienza. Su naturaleza y sus orientaciones todavía no se formulan por completo. Se trata únicamente de un aspecto, aunque

vital, de las grandes transformaciones sociales de una economía motivada por la tendencia individualista a la adquisición, en una economía orientada hacia el bienestar común. Este cambio va a ser uno de los más trascendentes en toda la historia de la humanidad, y por ello es de suma importancia que se le discuta del modo más amplio y se le comprenda previamente, ya que entraña, al mismo tiempo, graves peligros y posibilidades ilimitadas. Es necesario que esta transformación se logre de la mejor manera y que se asegure el empleo inteligente de la ciencia en cada una de sus fases: tal es la razón más poderosa para estudiar las relaciones que han tenido la ciencia y la sociedad en el pasado, porque sólo a través de este estudio es posible una justa comprensión del asunto.

Aspectos de la ciencia

Antes de iniciar esta indagación, debemos decir unas palabras acerca del significado y las perspectivas de la ciencia misma. Desde luego, lo más natural y conveniente parecería partir de una definición de la ciencia. El profesor Dingle, en su extensa nota ^{1.28} sobre mi libro *La función social de la ciencia*, plantea expresamente que así debe hacerse. Según él, el escritor deberá empezar

por identificar este fenómeno y formular con toda la claridad posible lo que ha sido en sí mismo, independientemente de las funciones que pueda tener o de las relaciones en que pueda encontrarse con otros fenómenos; y, sólo entonces, debe proceder a la consideración del papel que ha desempeñado, o que podría desempeñar, en la vida social.

Tanto mi experiencia como mis conocimientos me han convenido de la inutilidad y la vacuidad de semejante procedimiento. La ciencia es tan antigua, ha sufrido tantos cambios en su desarrollo histórico y se encuentra tan conectada en todo momento a las otras actividades sociales, que cualquier intento de definición —y son muchos los que se han hecho— únicamente puede llegar a expresar con mayor o menor acierto uno de los aspectos —y, frecuentemente, un aspecto secundario— de los que ha tenido en algún periodo de su desarrollo. Einstein ^{1.30} ha planteado este problema a su manera:

La ciencia, como algo existente y completo, es la cosa más objetiva que el hombre conoce. Pero, la ciencia en su hechura, como un propósito a cumplir, es tan subjetiva y tan condicionada psicológicamente como cualquier otra rama del esfuerzo humano; tanto así, que la pregunta de "¿cuál es el propósito y la significación de la ciencia?", tiene respuestas enteramente diferentes en diversas épocas y por parte de personas colocadas en distintas situaciones.

La idea de la definición no se aplica estrictamente a una actividad humana que es sólo un aspecto inseparable del proceso único e irrepetible de la evolución social.¹⁴

En mayor grado que cualquier otra ocupación humana, la ciencia es, por su misma naturaleza, modificable. Además, por ser una de las más recientes conquistas de la humanidad, se transforma con suma rapidez. Durante mucho tiempo no tuvo una existencia independiente. En los albores de la civilización fue tan sólo uno de los aspectos del trabajo del hechicero, del cocinero o del herrero. No fue hasta el siglo xvii cuando empezó a adquirir una posición independiente; y esta misma independencia bien puede representar tan sólo una fase transitoria. En el futuro, el conocimiento y el método científico se compenetrarán de tal modo con toda la vida social, que la ciencia dejará nuevamente de tener una existencia diferenciada. Entonces, puesto que es intrínsecamente imposible dar una definición, la única manera de comunicar lo que se discute como ciencia en este libro, tendrá que consistir en una descripción amplia y extensa.

Éste será el objetivo de los últimos capítulos; pero, mientras tanto y como indicio de su tratamiento en detalle, intentaremos hacer un breve examen de los principales aspectos en que se manifiesta la ciencia dentro del mundo contemporáneo.

La ciencia puede ser considerada: (1.1) como una institución; (1.2) como un método; (1.3) como una tradición acumulativa del conocimiento; (1.4) como un factor principal en el mantenimiento y en el desarrollo de la producción, y (1.5) como una de las influencias más poderosas en la conformación de las opiniones y actitudes respecto al universo y al hombre. En la sección 1.6 se exponen, además, las interacciones de la ciencia y la sociedad. Al enumerar estos diferentes aspectos de la ciencia, no tenemos la intención de implicar la existencia de muchas "ciencias" diferentes. En el caso de cualquier concepto tan amplio en tiempo, conexión y categoría, la multiplicidad de aspectos

y referencia debe constituir la regla. La palabra "ciencia" o "científico" tiene una variedad de significados diferentes, de acuerdo con el contexto en que se le emplee. El profesor Dingle se tomó el trabajo de formular una relación de diez de ellos, tomándolos de mi libro. En unos de los casos citados por él, la ciencia es contrastada con la ingeniería, en términos del grado de aplicación práctica; en otro caso, el método científico, en cuanto es un medio de verificación, es contrastado con el reconocimiento intuitivo del descubrimiento. Se trata siempre de usos importantes de la palabra ciencia, pero, para extraer de ellos, el significado completo, es necesario conectarlos todos en un cuadro general del desarrollo de la ciencia. De los aspectos antes mencionados, los que se refieren a la consideración de la ciencia como una institución y como un factor de la producción pertenecen casi exclusivamente a la época moderna. El método de la ciencia y su influencia sobre las opiniones son consideraciones que datan de la época griega, si no de antes. La tradición del conocimiento, transmitida de padres a hijos y de maestros a aprendices, constituye la raíz misma de la ciencia y existe desde las primeras edades del hombre, mucho antes de que a la ciencia pudiera considerársela como una institución o de que hubiese podido desarrollar un método distinto del sentido común y del saber tradicional.

1.1 LA CIENCIA COMO INSTITUCIÓN

La ciencia, como una institución en la cual trabajan profesionalmente decenas y aun centenares de millares de personas, constituye un acontecimiento muy reciente. Sólo hasta el siglo xx la profesión de la ciencia ha venido a compararse en importancia con las profesiones mucho más antiguas eclesiástica y jurídica. También se la ha llegado a considerar como algo distinto a las profesiones de la medicina y la ingeniería —aunque se relaciona con ellas— las cuales, al mismo tiempo, se han hecho menos dependientes de la tradición y están más afectadas por la ciencia. Su creciente asociación con las profesiones especializadas ha tendido a acentuar la separación entre la ciencia y las ocupaciones comunes de la sociedad. En los capítulos finales tenemos mucho que decir acerca del origen de esta separación y de su dependencia de las funciones económicas de la ciencia. Por ahora, es suficiente con llamar la atención sobre

el hecho de que en los países capitalistas existe de un modo más agudo. En la actualidad, para muchas personas extrañas a su disciplina, la ciencia se muestra como una actividad desempeñada por un tipo especial de persona, el científico. El término mismo no es muy viejo. En inglés, Whewell fue el primero en utilizar el vocablo "científico" en 1840, en su *Philosophy of the Inductive Sciences*, en donde dice: "Tenemos gran necesidad de encontrar un nombre para describir al cultivador de la ciencia en general. Por mi parte, me inclino a llamarlo científico." Sobre estas personas se tiene la idea de que se hallan en una especie de aislamiento: mientras unos trabajan con extraños aparatos en laboratorios oscuros e inaccesibles, otros se ocupan de cálculos y argumentaciones intrincados y todos utilizan lenguajes que únicamente entienden sus colegas. Esta actitud tiene, en realidad, cierta justificación; en tanto que la ciencia crece e influye cada vez más sobre nuestra vida cotidiana, no se convierte sin embargo en algo fácilmente comprensible. Quienes trabajan prácticamente en las diferentes ciencias han penetrado, en el transcurrir de los años y casi sin darse cuenta, en campos que hacen necesaria la creación de lenguajes especiales para expresar los nuevos objetos y las nuevas relaciones que se descubren y, en la mayor parte de los casos, ni siquiera se toman la molestia de traducir al lenguaje ordinario las partes más interesantes de su trabajo. La ciencia ha adquirido tantas características de una profesión exclusiva, incluyendo el adiestramiento y el aprendizaje prolongados, que resulta más fácil reconocer popularmente a un científico que saber lo que es la ciencia. Una definición fácil de la ciencia viene a ser, ciertamente, aquella de lo que los científicos hacen.

La institución de la ciencia como un cuerpo colectivo y organizado es nueva, pero sigue manteniendo un carácter económico particular que ya tenía desde la época en que la ciencia avanzaba gracias a los esfuerzos independientes de algunos individuos (sección 7.4). No obstante, la ciencia difiere de todas las otras profesiones en el hecho de que, en general, su práctica no tiene un valor económico inmediato. Un abogado puede defender o presentar demandas, un médico puede curar, un sacerdote puede officiar en un matrimonio o prestar consuelo espiritual, un ingeniero puede proyectar un puente o una máquina lavadora; en todo caso, se trata de actividades para las cuales existe la disposición de pagar desde luego por su realiza-

ción. A este respecto, existen profesiones libres con las que se pueden satisfacer las demandas que presenta el mercado. En cambio, las producciones aisladas de la ciencia —excluyendo determinadas aplicaciones inmediatas— no son vendibles; aun cuando en su conjunto y en un lapso relativamente corto, mediante su incorporación a la técnica y a la producción, puedan convertirse en mayor cantidad de nueva riqueza que todas las otras profesiones combinadas. Por consiguiente, el problema de la propia subsistencia ha constituido siempre la preocupación primordial del científico; y, en el pasado, la dificultad para resolver este problema ha sido la causa principal del retraso del avance científico, y todavía lo sigue siendo (sección 14.6), aunque en menor grado.

En los primeros tiempos la ciencia fue, en su mayor parte, una ocupación parcial o que llenaba los momentos libres de las personas ricas y ociosas o de los miembros acomodados de las profesiones más antiguas. El astrólogo profesional de la corte era también con frecuencia el médico de la misma corte (sección 5.6). Esta situación hizo que la ciencia se convirtiera, inevitablemente, en un verdadero monopolio de las clases más elevadas o de las clases medias. En último término, tanto las tareas como las recompensas de la ciencia se derivan de las instituciones y de las tradiciones sociales, incluyendo entre ellas, con un grado creciente de importancia, a la propia institución de la ciencia. Esto no significa necesariamente una degradación de la ciencia. La orientación social de la ciencia ha sido, por lo menos hasta su reciente encauzamiento hacia la militarización, una orientación general y espontánea, la cual puede ayudar realmente a una mente imaginativa, obligándola a concentrar su atención sobre aspectos limitados de la experiencia accesible. Así, tal como lo veremos adelante (sección 7.9), la investigación de las longitudes fue una fecunda orientación social para la física y la astronomía de los siglos xvii y xviii, tal como lo fue en el siglo xx la búsqueda de los antibióticos.

La verdadera degradación de la ciencia consiste en la frustración y en la perversión que surgen dentro de una sociedad en la cual la ciencia es estimada por lo que añade a las ganancias privadas y a los medios de destrucción (sección 10.9). Sin embargo, no es antinatural que aquellos científicos que consideran tales propósitos como la única razón por la cual la so-

ciudad en que viven mantiene a la ciencia, tengan la sensación poderosa y sincera de que toda orientación social en la ciencia sea necesariamente un mal. Incluso la definición de G. H. Hardy sobre las matemáticas puras —“Esta disciplina no tiene usos prácticos; es decir, no puede ser empleada 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. Porque del estudio de las matemáticas puras se han derivado, durante la última guerra y después de ella, esos dos resultados. En realidad, en todas las épocas, el científico individual ha tenido necesidad de 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 rico, de una universidad, de una empresa o de una dependencia gubernamental— es la de suministrar el dinero del cual debe vivir el científico y que le permite efectuar su trabajo. A cambio de esto, el patrón deseará tener ingerencia en lo que realmente se esté haciendo, particularmente si su objetivo final es obtener una ventaja comercial o un triunfo militar. Tal cosa será menos aparente cuando al patrón lo mueva la pura benevolencia o cuando persiga sólo el prestigio o la propaganda; entonces únicamente deseará resultados suficientemente espectaculares y no demasiado inquietantes.

En una sociedad socialista, la función del patrón es desempeñada por los órganos del gobierno popular en todos los niveles, desde el laboratorio de fábrica o de granja hasta el instituto dependiente de la academia, y cambia radicalmente en el proceso. Debido a que este tipo de gobierno puede —y, en rigor, debe necesariamente— considerar el problema dentro de una perspectiva de largo alcance, el trabajo de los científicos es aceptado como algo intrínsecamente valioso. El sostenimiento y el fomento de su trabajo se encuentra directamente a cargo de los presupuestos nacional y local. En reciprocidad, se espera que los científicos comprendan su responsabilidad social, que es la de cooperar en los planes para lograr una sociedad mejor organizando su trabajo de tal manera que se consigan los mejores resultados tanto a largo como a corto plazo.

En general, el científico tiene que “vender” su proyecto al patrón, pero es improbable que lo haga a menos que pueda contar con el apoyo tácito de algunos de sus colegas, por medio

de las diversas instituciones y sociedades a las cuales éstos pertenecen. Estos cuerpos tienen el deber de mantener la posición intelectual de la ciencia; pero, salvo que la ciencia sea planeada, no ejercen —ni pueden ejercer— una gran iniciativa en la determinación de los campos de la ciencia que se vayan a estudiar, ni tampoco en la suma de trabajo que se realice en cada uno de ellos.

En último término, es el pueblo quien juzga en definitiva sobre el significado y el valor de la ciencia. Cuando la ciencia se ha mantenido como un misterio en manos de una minoría selecta, es inevitable que se encuentre ligada a los intereses de las clases dominantes y apartada de la comprensión y la inspiración que surgen de las necesidades y capacidades del pueblo. El obispo Sprat, en su *History of the Royal Society* (1667), se hace la pregunta: ¿Por qué “las ciencias de las mentes humanas han tenido que sufrir mucho más tales vicisitudes que las artes de sus manos?” Y él mismo concluye que “los propios filósofos las han desterrado fuera del mundo... mientras que si desde el principio se les hubiese hecho conversar más con los sentidos y asistir con familiaridad en todas las ocasiones de la vida humana; entonces, sin duda, se hubiera pensado que era necesario preservarlas, incluso en las épocas más activas y de mayor ignorancia. Así habrían escapado a la furia de los pueblos bárbaros; como sucedió con las artes de la labranza, la ardinería, la cocina, el laboreo del hierro y el acero, la pesca, la navegación y tantas otras artesanías necesarias”. Si a esto se añade, como ha ocurrido en las últimas etapas del desarrollo del capitalismo, el empleo de la ciencia para intensificar el trabajo manual, para crear el desempleo y para hacer la guerra, entonces resulta inevitable el crecimiento de la suspicacia y la hostilidad hacia la ciencia por parte de los trabajadores (sección 8.6). La ciencia que se desenvuelve de esta manera es una ciencia limitada, incluso apenas es una semiciencia, en comparación con el poder que adquiere cuando se convierte en una parte comprensiva y valiosa de un movimiento plenamente popular.

La cabal comprensión de la ciencia como institución sólo se puede obtener después de haberla estudiado desde sus orígenes en las instituciones primitivas. Será necesario estudiar los cambios que ha experimentado, particularmente en los años recién-

tes, y mostrar cómo actúa recíprocamente con las otras instituciones y con las actividades generales de la sociedad.

1.2 LOS MÉTODOS DE LA CIENCIA

La institución de la ciencia es un hecho social, un cuerpo compuesto por hombres reunidos mediante ciertas relaciones de organización para realizar determinadas tareas en la sociedad. El método de la ciencia es, por contraste, una abstracción de estos hechos. Por ello existe el peligro de considerarlo como una especie de forma platónica ideal, como si hubiera un camino preciso para encontrar la "verdad" sobre la naturaleza o el hombre y la única tarea del científico fuese la de hallar este camino y mantenerse en él. Semejante concepción absoluta se encuentra reñida con la historia entera de la ciencia, con su desenvolvimiento continuo de una multiplicidad de métodos nuevos. El método de la ciencia no es una cosa fija, sino un proceso en desarrollo. No es posible considerarlo sin poner de manifiesto sus estrechas relaciones con el carácter social y, particularmente, clasista de la ciencia. Por consiguiente, el método científico, al igual que la ciencia misma, desafía a la definición. Está formado por varias operaciones, unas mentales y otras manuales, que se han descubierto en el pasado para llevar a la formulación, al descubrimiento, a la prueba y a la utilización de las soluciones a los problemas generales que se plantean pertinentemente y que pueden ser resueltos en una etapa determinada del desarrollo social. En el pasado remoto, los problemas que podían resolverse de una manera útil pertenecían principalmente a los campos de las ciencias matemáticas, como la astronomía y la física. En todos los otros dominios se obtenían únicamente resultados particulares, encontrados mediante la experiencia y garantizados por su utilidad técnica. Más tarde, el método científico vino a ser aplicado y modificado en los campos de la química y la biología y ahora, en nuestros días, estamos justamente empezando a aprender cómo aplicarlo a los problemas de la sociedad.

Ahora bien, el estudio del método de la ciencia se ha desarrollado mucho más lentamente que el desenvolvimiento de la propia ciencia. Los científicos descubren primero las cosas y sólo después, de un modo más bien ineficaz, meditan acerca de la

manera como las encontraron. Desgraciadamente, la mayoría de los libros sobre los métodos de la ciencia han sido escritos por personas que, aun teniendo dotes filosóficas o matemáticas, no son científicos experimentales y, hablando estrictamente, no conocen aquello de lo cual tratan (sección 10.5).

Observación y experimento

Los métodos empleados por los científicos activos se han desarrollado a partir de los métodos utilizados en la vida ordinaria, especialmente en los trabajos manuales. Primero vemos cómo se ejecuta un trabajo y, luego, tratamos de realizarlo y vemos si lo conseguimos. En un lenguaje más culto, comenzamos con la observación y seguimos con el experimento. Cualquiera persona, sea o no un científico, observa; pero lo importante es qué cosas observa y cómo las observa. Es en este sentido que el científico difiere del artista. El artista observa para transformar lo que ve, a través de propias experiencias y emociones, en una creación evocativa relativamente nueva. En cambio, el científico observa para descubrir objetos y relaciones que son, hasta donde es posible, independientes de sus propios sentimientos. Lo cual no significa que carezca de un propósito consciente. Además de esto, como lo demuestra la historia de la ciencia, el tener un objetivo, frecuentemente práctico, es casi un requisito esencial para el descubrimiento de nuevas cosas. Lo que sí significa es que para alcanzar su meta en el mundo no humano, el deseo, haciendo caso omiso de los requerimientos más emotivos, debe quedar subordinado al hecho y a la ley.

Clasificación y medición

A partir de la observación ingenua se han desarrollado, con el tiempo, dos técnicas: la clasificación y la medición. Ambas son, desde luego, mucho más antiguas que la ciencia consciente, pero actualmente se utilizan de un modo enteramente específico. La clasificación se ha convertido en el primer paso hacia la comprensión de nuevos grupos de fenómenos. Éstos tienen que ser ordenados antes de que se pueda hacer otra cosa con ellos. La medición es únicamente otro paso más en la ordenación. Contar es ordenar una colección con respecto a otra; en último

extremo, en relación con los dedos de la mano. La medida es el resultado de contar el número de veces en que una colección tomada como patrón viene a equilibrar o es puesta en alineamiento con la cantidad que se está pesando o midiendo. La medición es lo que conecta a la ciencia, por una parte, con las matemáticas y, por otro lado, con la práctica comercial y mecánica. A través de la medición es como los números y las formas ingresan en la ciencia y, también por ella, es como resulta posible señalar con precisión lo que es necesario hacer para reproducir determinadas condiciones y obtener un resultado deseado (secciones 3.4 y 4.5).

Entonces entra en juego el aspecto activo de la ciencia, que es caracterizado con el término "experimento". El experimento es después de todo, y tal como lo indica el término, únicamente un ensayo y, efectivamente, los primeros experimentos fueron ensayos en gran escala. Una vez introducida la medición, ya no sólo fue posible reproducir con precisión los ensayos, sino que también se pudo dar el paso algo atrevido de ejecutarlos en pequeña escala. Estos experimentos en pequeña escala o empleando un modelo, constituyen una característica esencial de la ciencia moderna. Trabajando en pequeña escala se pueden hacer muchos más experimentos a la vez y a un costo más económico. Además, mediante el uso de las matemáticas, es posible obtener resultados más valiosos de muchos experimentos en pequeña escala que de uno o dos ensayos en gran escala, elaborados y costosos. Todo experimento se reduce a dos operaciones muy simples: separar y volver a reunir, o, como se dice en lenguaje científico, al análisis y la síntesis. Sin poder separar en partes un objeto o un proceso, no será posible hacer una cosa que observarlo como un conjunto indiviso. A menos que se puedan volver a reunir las partes y hacer funcionar el objeto entero, no hay manera de saber si se ha introducido algo nuevo o si se ha quitado algo en el análisis.

Aparatos

En el transcurso de los siglos, los científicos han desarrollado un conjunto completo de instrumentos materiales que les permiten ejecutar las operaciones anteriores y que constituyen los aparatos de la ciencia. Estos aparatos no tienen nada de misterioso, son simplemente los instrumentos de la vida ordinaria adaptados

propósitos muy específicos. El crisol no es más que una olla y los fórceps unas tenazas. A su vez, los aparatos del científico vuelven frecuentemente a la vida práctica en forma de instrumentos o herramientas útiles. Todavía no hace mucho que, por ejemplo, el moderno aparato de televisión era un tubo de rayos catódicos, es decir, una pieza de un aparato científico destinado a medir la masa de los electrones. Los aparatos científicos desempeñan dos funciones principales: la de instrumentos científicos —por ejemplo, los telescopios o los micrófonos— que se pueden utilizar para ampliar y hacer más precisa nuestra percepción sensorial del mundo; y la de herramientas científicas —por ejemplo, los micrótomos, los alambiques o las incubadoras— que se pueden emplear para extender, de un modo controlado, las manipulaciones que ejecutamos para mover las cosas que nos rodean.

Leyes, hipótesis y teorías

De los resultados de los experimentos, o mejor dicho, de la mezcla de operaciones y observaciones que constituyen los experimentos, surge por entero el cuerpo del conocimiento científico. Pero este cuerpo no es simplemente una relación de dichos resultados. Si así fuera, la ciencia se habría hecho rápidamente tan incontrolable y tan difícil de entender como lo es la naturaleza de la cual se parte. Antes de que esos resultados puedan tener de alguna utilidad, y en muchos casos antes de que siquiera puedan ser obtenidos, es necesario juntarlos en paquetes, por decirlo así, para poder agruparlos y relacionarlos entre sí; tal es la función de la parte lógica de la ciencia. Los argumentos científicos, el uso de símbolos y fórmulas matemáticas —en las etapas primitivas, el mero empleo de nombres— conducen a la creación continua de la estructura más o menos coherente de las leyes, los principios, las hipótesis y las teorías científicas. Pero el proceso no se detiene aquí, sino que es justamente de tales hipótesis y teorías de donde surgen continuamente las aplicaciones prácticas de la ciencia. A su vez, cuando estas aplicaciones son fructuosas, y más aún cuando no lo son, llevan a nuevas observaciones, nuevos experimentos y nuevas teorías. Los experimentos, las interpretaciones y las aplicaciones avanzan juntos y entre todos ellos forman el cuerpo efectivo, viviente y social de la ciencia.

El lenguaje de la ciencia

En los procesos de observación, experimentación e interpretación lógica se ha desarrollado el *lenguaje* o, más bien, los lenguajes de la ciencia, los cuales se han convertido, en el curso del tiempo, en algo tan esencial como su aparato material. Al igual que los aparatos, estos lenguajes no son intrínsecamente extraños, sino que se derivan del uso común y a menudo vuelven otra vez a su origen. El ciclo fue alguna vez *kuklos*, una rueda, pero se mantuvo durante muchos siglos como un término abstracto para nombrar a los fenómenos recurrentes, antes de que volviera a la tierra como triciclo. La enorme conveniencia de utilizar términos enteramente ordinarios en las lenguas olvidadas de Grecia y Roma, proviene del hecho de que así se evitan las confusiones con sus significados ordinarios. Los científicos griegos se encontraban con la gran desventaja de no disponer de palabras —en griego— para hacer estas denominaciones. Tenían que expresarse de un modo indirecto en lenguaje llano; por ejemplo, para referirse a la glándula submaxilar tenían que hablar de “los bultos parecidos a bellotas que se encuentran debajo de la quijada”. Pero estas prácticas, aun cuando ayudan a los científicos a expresarse con mayor claridad y brevedad, tienen la desventaja de erigir una serie de lenguajes particulares o jergonzas que apartan efectivamente, y a veces de un modo deliberado, a la ciencia del hombre ordinario. Esta barrera no es en modo alguno necesaria. El lenguaje científico también es útil para el lego; pero sólo puede infiltrarse en el lenguaje común después que las ideas científicas se han convertido en aditamentos tan familiares en la vida cotidiana como lo son las agujas (sección 14.6).

La estrategia de la ciencia

La exposición del método de la ciencia ha quedado limitada a lo que podemos llamar la *táctica* del avance científico. La táctica es, principalmente, un procedimiento para resolver problemas y quedar razonablemente seguros de que las soluciones son satisfactorias. Pero, como es obvio, resulta insuficiente para explicar por sí sola el avance de la ciencia en su conjunto duran-

te prolongados periodos de tiempo. Para completar el cuadro es necesario hablar de lo que corresponde a la *estrategia* de la ciencia. Desde luego, es preciso advertir que la ciencia no tiene una necesidad absoluta de poseer una estrategia consciente para poder avanzar y, en realidad, durante los primeros tiempos no estuvo orientada por propósitos de largo alcance. Sin embargo, como lo veremos, la ciencia no ha seguido en modo alguno una trayectoria al azar, sino que en todo momento ha actuado conforme a algo semejante a una estrategia, generalmente de manera inconsciente, pero también, algunas veces, conscientemente.

La característica esencial de una estrategia del descubrimiento consiste en determinar la secuencia en la selección de los problemas por resolver. Ahora bien, de hecho, es mucho más difícil advertir un problema que hallar su solución. Lo primero requiere imaginación, lo último sólo ingenio. Éste es el sentido de la definición que hace Kosambi de la ciencia como el *conocimiento de la necesidad*. En realidad, el avance general de la ciencia ha ocurrido al ser puestas en práctica las soluciones de los problemas planteados, en primer lugar, por las necesidades económicas reales y, sólo en segundo lugar, de los problemas surgidos de las anteriores ideas científicas. En cada época existe comúnmente un conjunto de problemas desafiantes, como la duplicación del volumen del altar cúbico de Delfos —que implicaba la extracción de una raíz cúbica—, la indagación de la longitud geográfica —que condujo a las leyes de Newton— o la curación de la enfermedad del gusano de seda en Francia —que ayudó a Pasteur a establecer la teoría de los gérmenes de las enfermedades. Dentro de la ciencia, el peligro consiste en que el número de los problemas reconocidos como clásicos tiende a ser limitado. Los esfuerzos de las sucesivas generaciones de científicos se concentran, entonces, en resolverlos y en seguir trabajando con base en sus soluciones.

Ésta es la tendencia que ha confinado a la ciencia, durante largos periodos de su historia, dentro de límites estrechos. Al romper con ellos y al descubrir nuevos problemas en la vida exterior es cuando la ciencia se extiende hacia nuevos campos. Algunos de los grandes científicos del pasado —como Newton, Darwin y Faraday— se propusieron hallar y resolver problemas de acuerdo con un plan propio. Así, por ejemplo Faraday^{5.36}

se planteó al principio de su carrera el problema general de encontrar las conexiones entre las fuerzas separadas de la naturaleza física —luz, calor, electricidad y magnetismo— y, luego, al considerarlas en parejas, casi completó el programa (sección 9.3).

De este modo, empezamos a advertir cómo lo que han podido hacer esas grandes personalidades, aun cuando sólo haya sido en pequeña escala, es un elemento esencial para el desenvolvimiento de la ciencia; y, a la vez, descubrimos que es posible planear conscientemente el desarrollo de la ciencia sobre una base colectiva, mejor que de manera individual. El principal problema proviene de la necesidad de reconciliar y combinar los problemas surgidos, por una parte, de las exigencias sociales y económicas y, por otro lado, de los desarrollos intrínsecos de la propia ciencia. Pero esto, para que se pongan al descubierto y se utilicen todas sus ventajas, implica poseer un control sobre la vida económica del país mucho mayor del que existe fuera de las naciones socialistas. Sin embargo, tales ventajas son tan grandes a la larga, que ninguna nación será capaz de cumplir su cometido en el mundo sin hacer un empleo real y planeado de la ciencia. En consecuencia, el avance de la ciencia y su creciente utilización en la vida social tendrán posiblemente en el futuro un desenvolvimiento mucho más racional y menos accidental que en el pasado.

Enfocada respecto a la perspectiva de su historia evolutiva, la ciencia señala una elaboración consciente de la experiencia suministrada por los órganos sensoriales y motores del cuerpo. Ella amplía consciente y socialmente los procesos inconscientes del aprendizaje, que es común a todos los animales superiores. El animal puede aprender por experiencia; el hombre, al utilizar la ciencia, va más allá de eso y hace experiencias para aprender. En este mismo sentido, el propio método científico —con sus procesos sistemáticos de comparación, clasificación, generalización, formación de hipótesis y construcción de teorías— es una extensión de los mecanismos del cerebro, los cuales han desarrollado ya en los mamíferos superiores la capacidad de enfrentarse a situaciones extremadamente complejas, como las que están implicadas en la caza. La diferencia fundamental entre esas actividades animales y las realizaciones de la ciencia humana, radican en que ésta no es una actividad individual

nino una actividad social, que surge del esfuerzo cooperativo del trabajo y es coordinada por el lenguaje.

Ciencia y arte

La extensión de las fuerzas físicas del hombre por medio de la ciencia no es ya, como en los animales, un proceso evolutivo continuo y casi automático. Se realiza como un corrélato necesario de cambios sociales y se caracteriza por las mismas luchas y conflictos internos de las clases que van surgiendo sucesivamente. Teniendo siempre en cuenta la inseparabilidad entre la ciencia y la sociedad puede ser útil, no obstante, profundizar la abstracción y considerar las características que distinguen a la ciencia de los otros aspectos de la actividad social humana, como el arte o la religión. Las principales bases para distinguir el aspecto científico son las de que esta actividad se ocupa primordialmente de descubrir cómo hacer las cosas, de que se refiere a una masa acumulativa de conocimientos sobre hechos y acciones, y de que surge primero y ante todo de la comprensión, el dominio de la transformación de los medios de producción, o sea, de las técnicas empleadas para satisfacer las necesidades humanas.

La primera de estas características se puede expresar diciendo que el modo de la ciencia es *indicativo*, ya que puede indicar y demostrar cómo se hace aquello que se necesita hacer. El *modo científico* no pretende que sea necesario hacer una cosa más que otra. Esto último es, propiamente, el *modo artístico*, que es un modo igualmente social—, una de cuyas funciones es la de pensar primero lo que se quiere y luego expresar la voluntad hacia una acción específica.^{1,2,146} Ninguno de estos modos es completo sin el otro. Tampoco se agota con ellos el significado que el arte o la ciencia tienen para el individuo. Además de estos modos, y como algo que es común a todas las formas de realización humanas, se encuentra el placer intrínseco producido por la contemplación o, más aún, por la creación de nuevas combinaciones de palabras, sonidos o colores, o por el descubrimiento de combinaciones ya existentes en la naturaleza. Este placer, no obstante que es experimentado individualmente, no es, en modo alguno, una emoción privada. Debido a que el interés principal proviene de la sociedad, el acto contemplativo es al mismo tiempo una emoción social, como

se pone de manifiesto por el intenso deseo, común al artista y al científico, de comunicarlo.¹

Toda obra científica tiene un propósito y engendra un propósito ulterior; pero este propósito no constituye el aspecto peculiarmente científico de la obra, como tampoco lo son la belleza o el placer de ser apreciado en la actividad de la ciencia. En su aspecto puramente científico, es una especie de fórmula que nos enseña cómo realizar ciertas cosas cuando tenemos necesidad de hacerlas. Por otra parte, la obra de arte no es algo que simplemente conmueve o produce placer. Las obras de arte contienen inestimables informaciones acerca del mundo y de las maneras como vivimos en él, particularmente cuando se ocupan —como ocurre en las novelas— de los problemas sociales.

Al expresar estas características abstractas de la ciencia, siempre existe el peligro de tomar lo abstracto como ideal, es decir, de lo que sería la ciencia si se pudieran eliminar todos los aspectos inesenciales de la moralidad social o de la utilidad. Realmente, el ideal de la ciencia pura —la búsqueda de la verdad por la verdad misma— es la expresión consciente de una actitud social que ha entorpecido grandemente el desarrollo de la ciencia y que ha coadyuvado a ponerla en manos de los oscurantistas y los reaccionarios (sección 4.6). Es preciso recordar siempre que la ciencia únicamente es completa cuando se siguen las indicaciones. La ciencia no corresponde exclusiva-

¹ La distinción entre los dos modos tiene antecedentes mucho más remotos, de acuerdo con la línea de pensamiento sugerida por el profesor Haldane y con los experimentos que se han hecho sobre la comunicación animal (sección 11.6). El modo artístico parece ser el más primitivo, prehumano y casi presocial. El uso mágico del lenguaje, para provocar acciones, es empleado por las aves. Este empleo indica su estado emotivo interno o su preparación para la acción; y frecuentemente es provocado por los acontecimientos que ocurren en el mundo exterior, pero en modo alguno es descriptivo de dichos acontecimientos. Tal es, según Haldane, el criterio verdadero del lenguaje humano, en el cual se sobrepone un elemento científico descriptivo al llamado mágico para la acción. Estos dos modos se compenetran con gran lentitud. La expresión, *¡Vamos a pescar!*, pertenece aún al modo mágico-artístico. Mientras que la frase que la complementa, *En esa laguna hubo muchos peces el año pasado*, pertenece ya al modo científico-indicativo. En realidad, todas estas consideraciones son sumamente generales. No tiene mucho sentido el tratar de dar una definición precisa del arte ni tampoco de la ciencia. Ambas han tenido una evolución autónoma en el transcurso de la historia. Y, en todo caso, una novela tiene mayor afinidad con una tesis científica que con una danza ritual primitiva.

mente al pensamiento, sino al pensamiento llevado continuamente a la práctica y renovado por la práctica (sección 14.2). Por esto es que no se puede estudiar a la ciencia separada de la técnica. En la historia de la ciencia se puede advertir reiteradamente cómo surgen de la práctica nuevos aspectos de la ciencia y, a su vez, cómo los nuevos desarrollos de la ciencia producen nuevas ramas de la práctica. La profesión del ingeniero moderno se debe, con mucho y directamente, al progreso científico. Los mismos nombres de las diferentes clases de ingenieros que ahora existen —ingenieros electricistas, ingenieros químicos, ingenieros de radio— indican que todas ellas fueron originalmente ramas científicas, convertidas actualmente en ramas de la práctica.

El científico y el ingeniero

No obstante, el hecho de que los ingenieros hayan surgido de los científicos y se encuentren conectados con ellos de manera continua y estrecha, no significa que ambas profesiones sean indistinguibles. En realidad, los aspectos funcionales del científico y del ingeniero son radicalmente diferentes. La preocupación primordial del científico es la de descubrir cómo hacer las cosas, mientras que la del ingeniero consiste en hacerlas. La responsabilidad del ingeniero es mucho mayor, en el sentido práctico, que la del científico. El ingeniero no puede confiarse demasiado en la teoría abstracta; tiene que construir basándose en las tradiciones de la experiencia pasada y ensayando nuevas ideas. En ciertos campos de la ingeniería, la ciencia todavía desempeña realmente un papel subsidiario de la experiencia. Los barcos actuales, aun cuando están llenos de artefactos científicos modernos en sus máquinas y en sus instrumentos de control, sin embargo, siguen siendo construidos por hombres que fundan su experiencia en la de los barcos más viejos; de tal modo que se puede decir que la construcción de buques constituye una tradición técnica ininterrumpida, desde la canoa aborada en un solo tronco de árbol hasta el moderno trasatlántico. La fuerza de la tradición técnica radica en que nunca se fracasa con ella —si algo dio resultado antes, es posible que vuelva a darlo—; y su debilidad consiste en que, por decirlo así, nunca puede abandonar su propio cauce. De la ingeniería se pueden esperar mejoras constantes y acumulativas de la técnica;

pero las transformaciones notables sólo se producen debido a la ciencia. Tal como lo dijo alguna vez J. J. Thomson, "las investigaciones en las ciencias aplicadas conducen a las reformas, las investigaciones en las ciencias puras llevan a las revoluciones".^{6.62.199} Al propio tiempo, los éxitos obtenidos en la ingeniería, y todavía más las dificultades encontradas, suministran un campo continuamente renovado de sugerencias y problemas para la ciencia. Las funciones mutuamente complementarias que tienen la ciencia y la ingeniería, hacen que sea necesario estudiar ambas para poder comprender plenamente los efectos sociales de cualquiera de ellas.

1.3 LA TRADICIÓN ACUMULATIVA DE LA CIENCIA

Hasta aquí, al discutir la institución de la ciencia y su carácter, no hemos destacado explícitamente un aspecto que distingue el avance científico y técnico de los otros aspectos del desarrollo social. Esta característica distintiva de las ciencias es su naturaleza acumulativa. Los métodos del científico serían de escaso provecho si éste no tuviera a su disposición un inmenso conjunto de conocimientos y experiencias previas. Probablemente ninguno de dichos conocimientos es enteramente correcto; pero así como son bastantes para que el científico establezca puntos de partida para el trabajo del futuro. La ciencia constituye un cuerpo de conocimientos siempre crecientes formado por la sucesión de las reflexiones e ideas —y más todavía de las experiencias y las acciones— de una gran corriente de pensadores y trabajadores. El saber lo que ya se conoce no es suficiente; para ser hombre de ciencia es necesario añadir algo propio al conjunto general del conocimiento. En una época determinada, la ciencia es el resultado total de todo el conocimiento logrado hasta entonces. Sólo que este resultado no es estático. La ciencia es más que la reunión total de los hechos, las leyes y las teorías conocidas. Consiste en el descubrimiento de nuevos hechos, leyes y teorías, en su crítica y, a menudo, en su destrucción al igual que en su construcción. No obstante, el edificio entero de la ciencia jamás se detiene en su crecimiento. Se encuentra, por decirlo así, permanentemente en reparación; pero siempre está en uso.

Esta naturaleza acumulativa es la que distingue a la ciencia de las otras grandes instituciones humanas, como son la reli-

gión, el derecho, la filosofía y el arte. Estas últimas tienen, desde luego, su historia y sus tradiciones —incluso más antiguas que las de la ciencia— a las cuales dispensan gran atención y respeto; pero no son, en principio, acumulativas. La religión se ocupa de la preservación de la "verdad" eterna, mientras que el arte es más bien una obra individual que una escuela importante. Por otra parte, el científico siempre está empeñado deliberadamente en cambiar la verdad aceptada y sus resultados son bien pronto asimilados y sustituidos, perdiéndose como obras individuales. Además, no sólo los propios artistas y poetas se interesan por escuchar o leer las grandes obras del arte, la música y la literatura del pasado —ya sea en sus originales o en buenas reproducciones o traducciones—, sino que también se interesan pueblos enteros. En virtud de su interés directamente humano, las obras de arte se conservan siempre vivas. En cambio, únicamente una reducida minoría de científicos, los historiadores de la ciencia y difícilmente alguien más, estudian las grandes obras históricas de la ciencia. Los resultados de estas obras son incorporados al cuerpo de la ciencia, pero los originales son enterrados. En general, lo que importa en las relaciones, los hechos, las leyes y las teorías, independientemente de la forma en que se descubrieron o fueron presentadas por primera vez.^{1.18, 9.98, 124.} Existe, además una profunda diferencia de otra especie entre la tradición de las ciencias, particularmente de las ciencias naturales, y la tradición de la religión o de las artes liberales. En el caso de éstas dos últimas se trata de algo arbitrario, ya que la decisión se encuentra en último término en una revelación o en un juicio transmitido por tradición oral o escrita. Y cuando se plantea la exigencia de encontrar una justificación racional, se recurre a la lógica idealista. En cambio, la tradición de la ciencia —y, con ella, la de la tecnología, de la cual surge— es una tradición que puede ser comprobada directamente con respecto a observaciones verificables repetibles en el mundo material. Pero, ya se trate de conocimientos anteriores o nuevos, cada adquisición de la ciencia se puede someter en cualquier momento a prueba, sobre determinados materiales y con determinados aparatos. La verdad de la ciencia consiste, como lo señaló Bacon hace mucho tiempo (sección 7.6), en el buen éxito de su aplicación a los sistemas materiales; sean éstos inanimados como en la física, organismos vivos como en las ciencias biológicas, o sociedades humanas

como en las ciencias sociales. Y es justamente al hecho de que estas últimas no realizan experimentos, o apenas si realizan unos cuantos, a lo que se debe que todavía no conquisten el rango de una ciencia verdadera (sección 12.1). En este sentido, al hablar de ciencias nos referimos a aquellas partes del conocimiento humano que están suficientemente desarrolladas para utilizarse directamente a fin de mejorar la práctica, y no a las que son simplemente descripciones ordenadas de hechos obvios. Es indudable que los griegos tuvieron una biología e incluso una sociología, al mismo tiempo que sus matemáticas y su astronomía; pero, mientras las dos últimas se pudieron emplear para planear sus ciudades y para predecir los acontecimientos celestes, en cambio, las dos primeras sólo servían para explicar a los doctos, de una manera ordenada, lo que sabía cualquier campesino, pescador o político. La biología científica verdaderamente útil para la medicina, no apareció en realidad antes del siglo XIX; y la sociología científica sólo ahora está empezando.

En los capítulos que siguen, se describen las etapas por las cuales ha pasado la acumulación del conocimiento científico y de las técnicas, aunque sin entrar en detalles. Ésa es propiamente la tarea de una historia de la ciencia, cosa que este libro no pretende ser; sin embargo, la historia crítica de la ciencia que vaya más allá de los hechos descubiertos para averiguar sus razones, todavía está por escribirse. Aquí nos bastará con indicar algunos de los principios generales que han regido la construcción del edificio de la ciencia.

La trayectoria del avance científico y técnico

En primer lugar, la historia muestra una sucesión definida en el orden en que los dominios de la experiencia son introducidos dentro del ámbito de la ciencia. Esta sucesión es aproximadamente la que sigue: matemáticas, astronomía, mecánica, física, química, biología, sociología. La historia de las técnicas sigue un orden casi inverso: organización social, cacería, domesticación de animales, agricultura, alfarería, arte culinario, confección de vestidos, metalurgia, construcción de vehículos y navegación, arquitectura, maquinaria, motores. La razón de esto es fácil de advertir. Primero surgen las técnicas cuyo interés inmediato se encuentra en el medio ambiente humano y sólo gradualmente se desarrollan después las que procuran el dominio de las fuer-

zas inanimadas. Por otra parte, el orden real que siguen las ciencias en su desenvolvimiento no es fácil de explicar. Las dificultades internas condicionan este desarrollo sólo en parte. De hecho, como lo demuestra su historia, las ciencias de los aspectos más complejos de la naturaleza, como son la biología y la medicina, se han desenvuelto a través del estudio directo de sus objetos, con poco auxilio y frecuentemente con muchos entorpecimientos de parte de las ciencias de los aspectos más simples, como la mecánica y la física (secciones 7.8 y 9.5). La secuencia temporal de las ciencias se ajusta más estrechamente a las posibles aplicaciones útiles que interesan a las clases dominantes o a las clases en ascenso, en las distintas épocas. La regulación del calendario —que era una función sacerdotal— dio nacimiento a la astronomía (sección 3.4), las necesidades de la industria textil que interesaba a los manufactureros del siglo XVIII —hicieron surgir la industria química (sección 8.2). Si dejamos a un lado las trayectorias generales del avance de la ciencia y nos ocupamos de las secuencias detalladas del descubrimiento, advertiremos ciertos lineamientos generales. En algunos campos particulares encontramos largos encadenamientos de descubrimientos sucesivos; como, por ejemplo, dentro de la electricidad en el siglo XVIII (sección 9.3), o en la física atómica en el siglo XX (sección 10.1). Estas cadenas principian y terminan, generalmente, con algún descubrimiento crucial que abre nuevos campos a la ciencia. Tales descubrimientos ocurren con más frecuencia a través de la conjugación de disciplinas científicas que antes eran consideradas como campos distintos; tal como ocurrió, por ejemplo, con el descubrimiento accidental que hizo Oersted del efecto producido por la electricidad sobre un magneto (sección 9.3), o con el descubrimiento casual de Pasteur sobre la naturaleza asimétrica de las moléculas producidas por los organismos vivientes (sección 9.4), que estableció la conexión entre la química y la bacteriología. De cada una de estas intersecciones de disciplinas, o de estos descubrimientos científicos cruciales, surgen generalmente dos o tres ramas nuevas, cada una de las cuales puede desarrollarse como un nuevo encadenamiento de descubrimientos. El cuadro en su conjunto es, por lo tanto, una complicada interconexión infinita de investigaciones y descubrimientos, semejante al antiguo quipu peruano que transmitía mensajes por medio de series de nudos hechos en

cuerdas que, a su vez, estaban anudadas de modo complicado (sección 14.2).

El papel de los grandes hombres

Tanto los largos encadenamientos de investigaciones como los puntos de bifurcación de los descubrimientos cruciales, son esenciales para el progreso de la ciencia. Pero, mientras los primeros son, en su mayor parte, fruto de la dedicación de un gran número de inteligencias empeñosas pero comunes, en cambio, los segundos se encuentran generalmente asociados a los grandes hombres de ciencia. Esto ha llevado a concebir la ciencia como si se debiera exclusivamente al genio de los grandes hombres, y por consiguiente, como si estuviera casi enteramente divorciada de los efectos producidos por los factores sociales y económicos. El mito de los "grandes hombres" se ha sostenido durante mucho tiempo en la historia de la ciencia que en la historia social y política. Muchas historias de la ciencia son, en realidad, apenas algo más que el relato de los grandes descubrimientos a los cuales se presenta en una especie de sucesión apostólica de las revelaciones trascendentales sobre los secretos de la naturaleza. Ahora bien, es cierto que los grandes hombres han producido efectos decisivos en el progreso de la ciencia; pero, también lo es que sus conquistas no se pueden estudiar aislándolas de su ambiente social. El error que se comete al no advertir esto es lo que ha llevado a recurrir a palabras que no dicen nada, como "inspiración" o "genio". Los grandes hombres resultan así en pequeños y vulgarizados por quienes son demasiado limitados o perezosos para comprenderlos. El hecho de que sean hombres de su tiempo, sujetos a las mismas influencias formativas y sometidos a las mismas coacciones sociales que los otros hombres, lo único que hace es enaltecer su importancia. Mientras más grande es un hombre, más empapado se encuentra en la atmósfera de su tiempo; únicamente así puede obtener una comprensión suficientemente amplia de su propia época para estar en capacidad de cambiar de manera importante el curso del conocimiento y de la acción.

En ningún dominio cultural es autosuficiente el gran hombre y menos todavía en el de la ciencia. Porque no hay descubrimiento efectivo alguno que pueda hacerse sin contar con el trabajo preparatorio de centenares de científicos de menor talla

y sin mucha imaginación. Éstos acumulan, a menudo sin entender completamente lo que hacen, los datos necesarios sobre los cuales trabajan los grandes hombres. Los seres humanos individuales presentan una enorme gama de inteligencias diferentes. Sólo unas cuantas de ellas son capaces de contribuir a la ciencia; aun cuando en la actualidad el número de quienes tienen oportunidad de hacerlo es mayor que en toda época pasada y en el futuro inmediato será todavía mucho mayor. Quienes son seleccionados, o se deciden por sí mismos, para dedicarse a la ciencia, son casi tan diferentes entre sí como los otros hombres. Esto produce en la ciencia su gran variedad y, por otra parte, la unidad, que le es igualmente necesaria, proviene de los controles que la sociedad ejerce sobre ella, inconscientemente o conscientemente. Y es esta unidad de la ciencia, impuesta socialmente, la que permite advertir que se trata de un esfuerzo cooperativo del hombre para comprender y dominar, en consecuencia, su medio ambiente.

14 LA CIENCIA Y LOS MEDIOS DE PRODUCCIÓN

Todas las características presentadas en los párrafos precedentes pueden servir para describir a la ciencia como una institución, como un método, como una colección creciente y cada vez mejor organizada de experiencias. Sin embargo, dichas características no pueden explicar por sí mismas las principales funciones de la ciencia actual, ni las razones por las cuales la ciencia surgió originalmente como una forma especializada de actividad social. Esta explicación hay que buscarla en el papel que la ciencia ha desempeñado en el pasado y que sigue desempeñando ahora en cada una de las formas de producción. La historia de la elaboración de los medios de dominio del hombre sobre su medio ambiente inorgánico y orgánico, tal como será esbozada en los capítulos subsecuentes, demuestra que su curso se ha desarrollado por etapas y que cada una de éstas se encuentra señalada por la aparición de alguna nueva técnica material. Hasta ahora utilizamos los términos arqueológicos —que fueron señalados por primera vez por Thomson, con fundamento en tradiciones antiguísimas que nos fueron transmitidas por Hesíodo y Lucrecio— para describir las eras del pasado, refiriéndolas a ciertos materiales: la Edad de Piedra, la Edad de Bronce, la Edad de Hierro (aunque hemos perdido la Edad de Oro). Y continua-

mos con la edad del vapor y la edad de la electricidad y, en la actualidad, estamos entrando en la edad atómica o en la edad espacial.

Pero, los materiales en sí mismos no son útiles para el hombre, sino que éste tiene que aprender a servirse de ellos. Aun el material primigenio —*madera hyle*— tuvo que ser arrancado del árbol para hacer un garrote o una lanza. Las primeras técnicas, y luego la ciencia, surgieron de las maneras de extraer y adaptar los materiales para que pudieran servir como instrumentos para satisfacer las necesidades primordiales del hombre. Una técnica es el modo, establecido individualmente y afianzado socialmente, de hacer algo; y la ciencia es la manera de entender cómo se hace algo para mejorar el modo de hacerlo. Cuando examinemos con mayor detalle, en los capítulos posteriores, la aparición de las distintas ciencias y las etapas de su desenvolvimiento, se pondrá cada vez más de manifiesto que las ciencias evolucionan y se desarrollan únicamente cuando están en contacto estrecho y vivo con el mecanismo de la producción.

La ciencia ha tenido una historia notablemente desigual; las grandes erupciones de actividad son seguidas por largos periodos de decaimiento, hasta que vuelve a ocurrir una nueva erupción, con gran frecuencia en un país diferente. Pero, el lugar y el momento en que la actividad científica cobra ímpetu, no son cosas accidentales. Sus periodos de florecimiento coinciden con las épocas de actividad económica y de avance técnico. La trayectoria seguida por la ciencia —de Egipto y Mesopotamia a Grecia, de la España musulmana a la Italia renacentista, de allí a los Países Bajos y a Francia y, luego a la Escocia y la Inglaterra de la Revolución Industrial— es la misma trayectoria que han seguido el comercio y la industria. En las primeras épocas, la ciencia iba siguiendo a la industria; ahora tiende a alcanzarla y esto hace que se haga comprensible con mayor claridad la posición que la ciencia ocupa dentro de la producción. La ciencia se aprendió a partir de la rueda y de la marmita y llegó a crear la máquina de vapor y la dinamo (secciones 9.1 y 9.3).

Entre las erupciones de actividad ha habido épocas de quietud y, algunas veces, periodos de degeneración como en las últimas dinastías egipcias, al final de la época clásica o a principios del siglo XVIII. Como lo veremos adelante, estos lapsos coinciden con periodos de estancamiento o de decadencia en la organización de la sociedad, cuando la producción seguía los

lineamientos tradicionales y el ocuparse de ella se consideraba degradante para el hombre instruido.

Ahora bien, la observación de la estrecha asociación entre la ciencia y los cambios en la técnica no explica por sí sola el origen y el desarrollo de la ciencia; es necesario conocer también los factores sociales determinantes de los propios cambios técnicos. La relación inversa entre los factores técnicos y la sociedad es enteramente obvia. El nivel técnico de la producción en una época cualquiera, impone un límite a las posibles formas de la organización social. Hubiera sido inútil tratar de formar un extenso Estado nacional en la Edad de Piedra, cuando la recolección de alimentos y la caza limitaban la unidad social efectiva a unos cuantos centenares de hombres dispersos en un vasto territorio. Asimismo, la moderna civilización urbana no pudo surgir hasta el momento en que la combinación de los adelantos agrícolas e industriales hizo posible que la mayoría de la población se pudiera mantener apartada de la tierra (sección 1.2).

No obstante, los cambios en la técnica no son determinados simplemente por la organización social. Sería muy exagerado suponer que la humanidad ha actuado en el pasado como una unidad intelectual, tratando siempre de utilizar los medios existentes para suministrar lo mejor para todos los hombres y buscando siempre los mejores medios de extender el poder humano sobre la naturaleza. De hecho, tal como se mostrará en los capítulos siguientes, durante la mayor parte de la historia los adelantos en la técnica han surgido principalmente bajo el estímulo de la ventaja inmediata que ofrecen a ciertos individuos o a ciertas clases, a menudo en detrimento de las otras y algunas veces, como en la guerra —perenne fuente de inventiva—, para la destrucción. La forma de la sociedad depende, en último extremo, de las relaciones establecidas entre los hombres en la producción y la distribución de los bienes producidos —relaciones en que casi siempre tiene indebida ventaja el rico sobre el pobre y, algunas veces, coacción directa, como en el régimen de esclavitud.

Tal como lo mostraremos después (capítulo 12), estas relaciones de producción, dependientes de los medios de producción, son las que plantean la necesidad de transformar dichos medios de este modo, se impulsa la ciencia (sección 12.7). Cuando las relaciones de producción están cambiando con rapidez, como

ocurre cuando una nueva clase se está colocando en posición dominante, existe un incentivo especial para la realización de adelantos en la producción que acrecienten la riqueza y el poder de esa clase, y la ciencia tiene gran demanda. Una vez que dicha clase se ha establecido y fortalecido suficientemente para impedir el crecimiento de un nuevo rival, el interés se dirige al mantenimiento de las cosas tal como están —las técnicas se hacen tradicionales y la estimación por la ciencia disminuye. Este cuadro simplificado es, desde luego, inadecuado para explicar en detalle el desenvolvimiento de la ciencia. Para descubrir por qué una ciencia determinada surge en este o en otro sitio y en tal o cual época, se requieren estudios más minuciosos de los cuales ofrecemos algunos ejemplos, aun cuando sólo esbozados en los últimos capítulos. También será necesario poner de manifiesto la interacción de los factores materiales —la disponibilidad de los recursos, como la madera o la hulla—; los factores técnicos —el nivel y la distribución de la destreza—; y los factores económicos —la oferta y la demanda de productos o de trabajo—, para explicar el ascenso y la declinación de la ciencia y, a su vez, el efecto que tienen sobre la producción.

El carácter clasista de la ciencia primitiva

Una distinción básica entre la ciencia como tal y las técnicas generalizadas de las cuales surge y a las cuales se encuentra asociada consiste en que la ciencia es fundamentalmente una profesión culta. Es algo que se registra y se transmite por medio de libros y artículos, a diferencia del adiestramiento a través del ejemplo práctico de los oficios tradicionales. De este modo, la ciencia fue desde su comienzo una ocupación restringida a las clases superiores o a una minoría de individuos de talento que procuraban conquistar el reconocimiento de dichas clases como recompensa por sus leales servicios. Esta limitación ha producido varios efectos en el carácter de la ciencia. Ha retardado su desarrollo excluyendo de ella a la gran mayoría de los hombres naturalmente dotados de todas las clases sociales, que hubieran podido contribuir a su desenvolvimiento (sección 8.5). Al mismo tiempo ha servido para asegurar que aquellas personas dedicadas a pensar, y aun a experimentar, acerca de la ciencia —por lo menos hasta la época de la Revolución Industrial— hayan tenido mu-

poca relación con las artes prácticas y así, en lo que respecta a la ciencia natural, no hayan sabido propiamente de qué estaban hablando. Los científicos no podían comprender las necesidades prácticas de la vida corriente porque no las sentían en carne propia y, por lo tanto, no tenían el estímulo de satisfacerlas mediante el empleo de la ciencia.

Esta identificación de la ciencia con las clases gobernantes y explotadoras ha engendrado —desde el comienzo de la división de la sociedad en clases, surgida hace cinco mil años con las primeras ciudades— una profunda suspiciencia hacia la ciencia y en general hacia las personas cultas, en las mentes de los campesinos y, en menor grado, de las clases trabajadoras. A pesar de lo bien intencionados que fueran los esfuerzos de los filósofos filántropos, el pueblo no podía dejar de tener la sensación de que dichos esfuerzos conducirían a cambios que no le traerían ningún bien y que servirían para esclavizarlo de modo más completo o, en otros casos, para privarlo de su trabajo. Los primeros científicos eran considerados como magos capaces de causar daños ilimitados, y esta actitud persistió hasta el final de la época clásica, cuando el sentimiento popular, frecuentemente aliado con la religión, se manifestaba en hostilidad y algunas veces en actos de violencia contra los filósofos que eran identificados, con cierta justicia, con los intereses de las clases superiores (sección 4.8), del odiado Imperio Romano. En la Edad Media la ciencia existió únicamente donde hubo tolerancia, e incluso después de su renacimiento, se advierte la misma reacción popular en los destructores de máquinas de la Revolución Industrial. Actualmente todavía podemos observarla en las reacciones producidas por el último triunfo de la ciencia, la bomba atómica. El efecto combinado del desprecio y la ignorancia de los doctos y de la suspiciencia y el resentimiento de las clases oprimidas, ha constituido, durante el curso entero de la civilización, uno de los principales obstáculos para el libre avance de la ciencia. Es necesario substituir esa cooperación lograda con animadversión y renuencia, por un intercambio libre y activo de conocimientos prácticos y teóricos, que puede incrementar mucho el ritmo del progreso técnico y científico, como lo empieza a demostrar la experiencia en los países socialistas.

Esta severa crítica sólo se aplica al carácter de clase de la separación entre la teoría y la práctica, y en modo alguno implica un menosprecio hacia la función que tiene el aprendizaje en el

avance de la ciencia. El hecho de que la ciencia se encontrara en manos de personas que podían escribir, hacer cuentas y discutir en forma ordenada, resultó de enorme valor para el desenvolvimiento de la ciencia en ciertos periodos. La naturaleza en su conjunto, tomada en toda su crudeza y complejidad, es difícil de discutir provechosamente con meras palabras. Lo más que podía producir ese razonamiento inducto eran los mitos y los ritos que servían de justificación a las prácticas de comprobada utilidad. Incluso la primera ciencia formal, como la de los griegos, era apenas algo más que una mitología racionalizada (sección 4.5). Sin embargo, algunas partes de la experiencia, como los movimientos y las fuerzas simples, podían ser expuestas de modo formal y cuantitativo. Los marinos sabían muy bien cómo usar las palancas y los mercaderes empleaban las balanzas, muchos siglos antes de que Arquímedes descubriera la ley formal de la palanca; sólo que esta ley permitió hacer nuevas invenciones mecánicas que nunca se les hubiesen ocurrido a los hombres prácticos. Lo que es más, ese descubrimiento fue un paso muy importante para el establecimiento de otras generalizaciones en la mecánica y en la física, en la época de Galileo y de Newton. Gradualmente, los métodos racionales han dejado de ser descripciones para salvar las apariencias formuladas en un lenguaje inducto, y se van convirtiendo en medios para generalizar y ampliar el dominio práctico sobre la naturaleza; primero en los dominios de la química y de la biología, ahora en el campo social.

Con todo, como lo haremos ver después (sección 14.1), los periodos más importantes y fructuosos del avance científico son aquellos en que las barreras de clase se rompen, por lo menos parcialmente, y los hombres prácticos se mezclan con los doctos en el mismo nivel. Ésas fueron las condiciones imperantes en Italia al comenzar el Renacimiento, durante la gran revolución en Francia y a fines del siglo XIX en los Estados Unidos; y son las que existen actualmente, en un sentido diferente y más completo, en las nuevas repúblicas socialistas.

Precisamente debido a su universalidad, el carácter de clase de la ciencia es algo que se da por sentado de tal manera, que su sola mención en los círculos científicos provoca en nuestros días una sorpresa rayana en el estupor. Se piensa que la tradición de la ciencia se sostiene por su propio derecho, completamente aparte de cualesquiera consideraciones económicas o políticas. Todo esto significa que el condicionamiento social, y

clase en particular, de la tradición científica, es un condicionamiento implícito que no se muestra en la superficie. En nuestro tiempo, la propia ciencia está siendo sometida por primera vez a un análisis sobre la base de su carácter de clase. Este análisis está destinado a parecer torpe y precipitado en un principio, pero es ineludible y debe conducir finalmente a una comprensión más profunda de la ciencia y de la sociedad.

1.5 LA CIENCIA NATURAL COMO FUENTE DE IDEAS GENERALES

Aun cuando la utilización práctica de la ciencia es la fuente permanente del progreso científico y la garantía de su validez, no obstante el avance de la ciencia es algo más que el mejoramiento continuo de las técnicas. Otra parte igualmente esencial de la ciencia es la estructura teórica, que conecta unitariamente las conquistas prácticas de la ciencia y les imparte una coherencia intelectual siempre creciente. En el pasado, y todavía ahora, la historia de la ciencia se ha escrito a menudo como si fuera simplemente la historia de una especie de edificio ideal de la verdad. Semejante historia sólo puede ser escrita despreciando todos los componentes sociales y materiales de la ciencia, reduciéndola así a un disparate inspirado, como ya lo hemos expresado y lo ilustraremos profusamente en el cuerpo de este libro.

Por otra parte, sería igualmente insensato tratar de despreciar por completo a la teoría, pues ésta ha desempeñado un papel sumamente importante en la ciencia, y en nuestros días este papel se hace cada día más positivo. En realidad, en muchos periodos de la ciencia, la principal orientación del trabajo ha estado condicionada por la comprobación de una teoría o, más frecuentemente aún, por la refutación de una teoría; como, por ejemplo, la biología en la última parte del siglo XIX con la comprobación de la teoría darwinista de la evolución (sección 1.0), o la mecánica en el siglo XVII con la refutación de la física aristotélica (sección 7.5). Sin embargo, existe un peligro intrínseco en el desarrollo de estos campos autónomos y cerrados del empeño científico. Aunque parten originalmente de la práctica, con el tiempo tienden a divorciarse cada vez más de ella y a perder, a la vez que su utilidad, todo sentido de orientación. En el pasado, estos empeños han acabado generalmente en

una pedantería docta, como ocurrió con la mecánica newtoniana en el siglo xx (sección 8.4); o han cobrado nueva vitalidad sólo mediante un nuevo contacto con la práctica, como ocurrió con la electricidad a fines del siglo xviii al descubrirse la pila eléctrica (sección 9.3).

La concepción convencional de la ciencia describe sus leyes y teorías como deducciones legítimas, e incluso, lógicas de los hechos establecidos experimentalmente. Es dudoso que la ciencia hubiera podido existir si se hubiese ceñido estrictamente a esta limitación. Las leyes, las hipótesis y las teorías de la ciencia tienen un sentido más amplio que los hechos objetivos que pretenden explicar. En su mayor parte, reflejan necesariamente, en gran medida, la atmósfera intelectual, general y no científica, de la época, que inevitablemente condiciona al hombre de ciencia. Como resultado, los fenómenos de la naturaleza y de las artes manuales son interpretados en términos sociales, políticos o religiosos. Así, como lo veremos, la teoría de la inercia de Newton proviene de la interpretación racional de la religión entonces prevaleciente; y la selección natural de Darwin se origina de la concepción entonces corriente de que la libre competencia era naturalmente justa.

Algunas veces, estas formas de pensar pueden conducir a progresos científicos válidos, esto es, verificables prácticamente. Pero con igual frecuencia, particularmente cuando conquistan la aceptación general, son un obstáculo para el descubrimiento científico. La mayor dificultad de un descubrimiento no consiste tanto en hacer las observaciones necesarias, sino en romper con las ideas tradicionales para interpretarlas. Desde la época en que Copérnico estableció el movimiento de la tierra y Harvey la circulación de la sangre, hasta el momento en que Einstein abolió el éter y Planck postuló el cuanto de acción, la verdadera lucha ha consistido menos en penetrar los secretos de la naturaleza que en superar las ideas establecidas, a pesar de que éstas ayudaron en otro tiempo al avance de la ciencia. No obstante el progreso de la ciencia depende de la existencia de una imagen tradicional continua, o sea de un modelo del universo que sirve como guía y es parcialmente verificable, pero que también es, en parte, que esta tradición-compuesta como está (y siempre debe ser) equivocadas. También es igualmente esencial, por otra parte, que esta tradición compuesta como está (y siempre debe estar) de elementos extraídos de la ciencia y de la sociedad.

ha destruida continuamente y de manera violenta, de tiempo en tiempo, para ser formada de nuevo² de acuerdo con las nuevas experiencias sobre el mundo material y el mundo social. 9.22, 9.98, 9.157

En este momento nos encontramos en uno de estos periodos. El papel cada vez mayor que la ciencia desempeña en la economía de los países altamente industrializados coincide, de ningún modo accidentalmente, con una gran penetración y amplitud en la comprensión de los fenómenos naturales, entre los cuales se destacan los descubrimientos sobre la estructura del átomo y acerca de los procesos químicos de los organismos vivos. Esto ha sometido a la ciencia a una severa tensión, provocando en rápida sucesión el surgimiento de teorías radicalmente nuevas, como la relatividad y la mecánica cuántica (sección 10.2).

Al propio tiempo, y debido en mucho a los mismos factores, han ocurrido rápidas transformaciones políticas y económicas, iniciadas en la Unión Soviética y ahora esparcidas sobre el resto del mundo, que han traído aparejada una actitud radicalmente diferente respecto a las relaciones entre la ciencia y la sociedad en la práctica. Lo cual ha producido inevitablemente un efecto profundo sobre la teoría científica, que está siendo sometida actualmente a un análisis crítico a la luz de la filosofía marxista. Esto lo expondremos con algún detalle en uno de los últimos capítulos (sección 13.6). Como resultado de la combinación de estas influencias, internas y externas a la ciencia, nunca ha habido otra época en que los fundamentos de la ciencia hayan estado sujetos a discusión de un modo tan intenso como lo están en la actualidad.

² Esta parece ser también la opinión del eminente historiador de la ciencia Thomas S. Kuhn.⁹⁹⁰ En su libro *The Structure of Scientific Revolutions*, pone de relieve lo que él denomina el "paradigma", o sea, un cuerpo de opiniones más o menos autoconsistentes, tales como las de Aristóteles o las de Galileo, cada uno de los cuales se sostiene en un determinado campo durante lapsos variables, hasta que se derrumba y es sustituido por otro. Aun cuando, desde mi punto de vista, Kuhn se concentra mucho más en el contenido ideológico de la ciencia y, por ende, menos en los factores tecnológicos, su enfoque dialéctico, aunque en modo alguno haya sido admitido como marxista, de la historia de la ciencia coincide en mucho con el propio enfoque y se encuentra apoyado por una gran masa de testimonios históricos detallados.

Materialismo e idealismo

Empero, el carácter general de la controversia teórica dentro de la ciencia no es nuevo. Como se advierte claramente por el estudio de su historia, desde el surgimiento mismo de la ciencia ha existido una lucha, muchas veces latente y otras veces activa, entre dos tendencias opuestas principales: una de ellas, formal e idealista; la otra, práctica y materialista. Como lo veremos más adelante, éste fue el conflicto dominante dentro de la filosofía griega; pero debe haberse originado mucho antes, en realidad desde que se formaron las primeras sociedades divididas en clases, porque las afinidades sociales generales de las dos partes en conflicto nunca han estado en duda.

El lado idealista es el partido del "orden", de la aristocracia y de la religión establecida; su paladín más persuasivo es Platón. El objetivo de la ciencia consiste, desde este punto de vista, en explicar por qué las cosas son como son y cómo es imposible, al mismo tiempo que impío, esperar que las cosas cambien en sus esencias. Según el pensamiento de Platón, lo único que hace falta es suprimir unas cuantas lacras, como la democracia, para que la república sea establecida felizmente y para siempre bajo el cuidado de los guardianes tutelares, los "hombres de oro". Como las perfecciones de esta situación no pueden ser evidentes desde luego para las capas inferiores de la sociedad, es necesario demostrarles lo ilusorio del mundo material y, consecuentemente, la irrealidad del mal en este mundo (sección 4.5). En ese mundo imaginado, el cambio es el mal; lo ideal, el bien, lo verdadero y lo bello son eternos y están fuera de discusión; y como palpablemente no prevalecen sobre la Tierra, deben ser buscados en un cielo perfecto. Este punto de vista ha tenido un profundo efecto en el desarrollo de la ciencia, particularmente en la astronomía y en la física (sección 4.6); y todavía ahora, sólo que en formas más elaboradas y adulteradas, existe una vigorosa tendencia a fortalecer este punto de vista dentro de la ciencia (sección 10.2).

El punto de vista materialista, en parte a causa de su naturaleza práctica y, más todavía, a causa de sus implicaciones revolucionarias, no ha encontrado durante muchos siglos gran apoyo en los círculos doctos y rara vez ha formado parte de la filosofía oficial (sección 4.5). No obstante, en el poema epicúreo

de Lucrecio, *De Rerum Natura* (*De la naturaleza de las cosas*), ha sobrevivido una expresión del materialismo, que muestra tanto su fuerza como el peligro que representa para el orden establecido. Fundamentalmente, es una filosofía de los objetos y de sus movimientos, una explicación de la naturaleza y de la sociedad desde abajo y no desde arriba. Destaca la inagotable estabilidad del mundo material en eterno movimiento y el poder del hombre para modificarlo mediante el conocimiento de sus leyes. Los materialistas clásicos no podían ir más allá, según lo veremos, debido a su divorcio de las artes manuales; tampoco pudo hacerlo después Francis Bacon, el gran reformulador del materialismo. Al desencadenarse la Revolución Industrial, la ciencia se hizo materialista en la práctica, aun cuando siguió prestando cierto apoyo al idealismo, por razones políticas y religiosas. Hasta mediados del siglo XIX, el materialismo se mantuvo en una posición filosóficamente insatisfactoria, debido a que no se ocupaba de la sociedad y de sus transformaciones y, por consiguiente, era incapaz de explicar la política y la religión. La ampliación y la transformación del materialismo para abarcar el dominio social, fue obra de Marx y sus continuadores.¹³¹ El nuevo materialismo dialéctico que mostró primero su eficacia en el campo político y económico, sólo ahora está empezando a penetrar en la esfera de las ciencias naturales.

La lucha entre la tendencia idealista y la materialista en la ciencia ha sido una característica persistente de su historia, desde sus primeros tiempos. El idealismo de Platón es, en cierto sentido, una respuesta al materialismo de Demócrito, el fundador de la teoría atómica (sección 4.5). En la Edad Media, Roger Bacon atacó a la filosofía platónico-aristotélica dominante y preconizó una ciencia orientada hacia la utilidad práctica (sección 6.5), y fue puesto en prisión por sus trabajos. En la gran lucha sostenida durante el Renacimiento para crear la ciencia experimental moderna, el principal enemigo era el aristotelismo formal sustentado por la Iglesia. Esta misma oposición la encontramos en el siglo pasado, en la lucha entre la ciencia y la religión acerca de la evolución darwinista. La misma persistencia de la lucha, no obstante las sucesivas victorias conquistadas por la ciencia materialista, demuestra que no se trata esencialmente de un combate filosófico, sino del reflejo de las luchas políticas en términos científicos. En cada etapa de esta lucha se ha invocado a la filosofía idealista, para pretender que

el descontento presente es ilusorio y para justificar la situación social existente. Y, también en cada etapa, la filosofía materialista ha confiado en la verificación práctica de la realidad y en la necesidad del cambio.

1.6 LAS INTERACCIONES DE LA CIENCIA Y LA SOCIEDAD

De esta manera se completa el breve examen de los aspectos generales de la ciencia —como una institución, un método y una tradición acumulativa— y la descripción de sus relaciones con las fuerzas de producción y con la ideología general. Así se pone al descubierto, sin el apremio de dar una definición, cuál es el significado de la ciencia para los propósitos de este libro. A la vez, sería demasiado pedir al lector que aceptara las conclusiones formuladas e implicadas en este primer capítulo, antes de conocer las pruebas cuya presentación constituye la función del resto del libro. En realidad, sólo a través de la exposición detallada e imparcial de las interacciones de la ciencia y la sociedad en el curso de la historia, es como se puede empezar a comprender lo que significa la ciencia y lo que se puede esperar de su futuro.

La ciencia y la sociedad han estado sujetas, en efecto, a una acción recíproca en muchas maneras; y la tendencia a insistir en una u otra de estas maneras, es lo que ha provocado gran parte de las recientes controversias acerca de sus relaciones mutuas. Se acostumbra comenzar con la influencia ejercida por la ciencia sobre la sociedad: se piensa en algún descubrimiento crucial, como el de las ondas electromagnéticas, que fueron previstas primero teóricamente, luego fueron descubiertas en los laboratorios científicos, después se las manejó en el campo de la ingeniería y, finalmente, en la forma de la radio se ha convertido en parte de la vida cotidiana. Pero ésta no es la única manera, ni siquiera la principal, en que la ciencia se desenvuelve y afecta a la sociedad. Igualmente puede ocurrir que en el dominio de la práctica se observe cómo funciona algo o, más frecuentemente, que no funciona. Entonces, el científico, ya sea desinteresadamente o más a menudo con la idea de mejorarlo, hace indagaciones y descubre, no necesariamente el modo de hacerlo funcionar, sino otra cosa enteramente diferente. En realidad, puede llegar a crear una nueva rama de la ciencia, tal

como fue fundada la termodinámica por el estudio de la máquina de vapor^{5.3} (sección 9.1). Lo importante es que la experiencia práctica común obra como un imán, por decirlo así, del interés científico; y el progreso de la ciencia puede continuar en una sucesión cambiante en los campos de la economía general y del interés técnico.

Este libro no pretende ser una historia de la ciencia; su tema fundamental es esta interacción de la ciencia y la sociedad. Si hay alguna preferencia, es respecto a la influencia de la ciencia sobre la historia, más que de la historia sobre la ciencia —tema acerca del cual se ha escrito mucho.^{3.1, 4.1} Pero, el efecto de la ciencia sobre la historia ha sido menospreciado mucho en el pasado o, en el mejor de los casos, se ha considerado de un modo superficial o equivocado. Esto se debe a que los historiadores profesionales no han tenido, en su mayor parte, la capacidad necesaria para estimar o siquiera advertir las contribuciones y la influencia de la ciencia; mientras que, por otro lado, los historiadores de la ciencia se han ocupado poco de las grandes consecuencias históricas del desarrollo del conocimiento científico. En las historias oficiales se ha tendido a presentar el *estado de la ciencia*, junto con el estado de la literatura y del arte, como una especie de apéndice a la narración política —o, ahora, ligeramente económica— de cada periodo histórico. Lo que se necesita, en lugar de eso, es una exposición de las contribuciones de la ciencia a la técnica y al pensamiento que quede incorporada al cuerpo mismo del relato histórico. En la medida en que no se hace esto, se pierde el carácter *histórico* esencial —es decir, el elemento progresivo y no repetible— de la exposición de la historia. Tenemos que conformarnos entonces con una descripción de las relaciones personales e institucionales de la sociedad, sin tener indicio alguno de por qué no se han repetido independientemente con ciertas variaciones. Ahora bien, como las tendencias francamente progresivas no se pueden ocultar de hecho, los historiadores no científicos se ven obligados a negarse sin más a explicarlas o a ofrecer alguna explicación mística, ya sea la divina Providencia o una supuesta ley del desarrollo y la decadencia de la civilización, del tipo sugerido por Spengler o Toynbee. Únicamente a la luz de la ciencia podemos empezar a entender las fases irreversibles, productoras de novedad, que son peculiarmente *históricas* (véase la nota 2 de este mismo capítulo).

Como ya lo hemos apuntado, y lo presentaremos con mayor detalle en los capítulos subsiguientes, la ciencia influye en la historia de dos maneras principales: primero, por los cambios que trae aparejados en los métodos de producción; y, luego, por el impacto más directo, aunque menos ponderable, que tienen sus descubrimientos y sus ideas sobre la ideología de la época. La primera manera fue la que llevó a la ciencia a separarse de la técnica, por un lado, y de la religión por el otro. Una vez que se encontró un medio de mejorar las técnicas con la utilización organizada del pensamiento ordenado por la lógica y verificado por el experimento, así fuera en una esfera limitada, quedó abierto el camino para la influencia indefinida de la ciencia en los métodos de producción. Estos cambios, a su vez, afectan a las relaciones productivas y, por lo tanto, tienen un enorme influjo sobre el desenvolvimiento económico y político.

La otra influencia de la ciencia, a través de sus ideas, se produjo también desde un principio. Las ideas científicas, una vez formuladas, vuelven al acervo común del pensamiento humano. Las grandes revoluciones ocurridas en la comprensión del universo y en la consideración del lugar que ocupa el hombre y de sus fines, desde la antigüedad hasta el Renacimiento y la época moderna, se han debido en mucho a la influencia científica. El nuevo reinado de la simple ley natural, iniciado por Galileo y Newton, parece haber justificado a la vez la inclinación hacia el simple deísmo en religión, el *laissez-faire* en economía y el liberalismo en política. La selección natural de Darwin, originada enteramente de esa ideología liberal, fue empleada a su vez para justificar la explotación despiadada y la sujeción racial, bajo la bandera de la supervivencia del más apto. Por el contrario, una comprensión más profunda de la evolución sirvió para precisar la forma en que el hombre, a través de la sociedad, puede trascender los límites biológicos de la evolución animal y lograr una evolución social de mayores alcances y dirigida conscientemente (sección 12.9).

De un modo menos obvio, el conocimiento científico y su método están afectando cada vez más todo el dominio del pensamiento, la cultura y la política. La ciencia se está convirtiendo ahora en una gran institución humana, que es distinta de las otras instituciones humanas más antiguas aun cuando está ligada íntimamente a ellas. Difiere de ellas únicamente en que, por ser

más reciente, todavía se encuentra en su fase de crecimiento activo y su posición, con respecto al resto de la sociedad, aún no se halla en equilibrio. La ciencia tiene un largo camino por recorrer para hacer sentir su peso en los asuntos humanos.

A lo largo de la mayor parte de este libro se hace mayor hincapié en las ciencias naturales que en las sociales, salvo en los dos capítulos dedicados a ellas (12 y 13). Esto se explica porque, hasta muy recientemente y bajo la influencia del marxismo, la discusión de las relaciones humanas en la sociedad —que constituye casi el primero de los campos del conocimiento humano— no se ha liberado de las trabas de la magia y de la religión. En los últimos tiempos, como lo mostraremos después (sección 11.9), las nascentes ciencias sociales han sido reducidas casi a la impotencia por el temor de que pueden ser utilizadas para analizar y alterar las bases económicas y políticas del capitalismo. En parte por esta razón es que los cambios sociales, provocados a través del efecto de las ciencias naturales sobre el modo de producción, no han sido planeados ni comprendidos y frecuentemente han tenido, y siguen teniendo, resultados desastrosos. Solamente por medio de la unión de la genuina ciencia social con la ciencia natural es posible asegurar un dominio social satisfactorio y progresivo de las actividades sociales.

La humanidad ha tenido en todos los tiempos una "Gran Tradición", en la cual se incluyen las bases de lo que en cada época se ha considerado como creencia verdadera y como acción justa. Esta tradición, desde el momento en que puede ser advertida surgiendo del oscuro pasado de la prehistoria, es esencialmente una tradición única, no obstante que es posible distinguir ramas parcialmente independientes de ella en los países mediterráneos, en la India y en la China. El desarrollo y los cambios de esta gran tradición no pueden ser comprendidos en la ciencia, pero, del mismo modo, la ciencia tampoco puede ser comprendida a menos que se la considere como parte natural de la tradición común.

Lo que sigue de este libro representa un intento de ilustrar, mediante la consideración de las diferentes épocas y de las distintas ciencias, la posición general que ocupa la ciencia dentro de la historia cultural. De acuerdo con el plan ya formulado en el prefacio, seguiremos el curso entero de la ciencia, en escala creciente y en detalle, desde su surgimiento hasta nues-

tros días. Cuando se haya leído el libro entero, será más fácil entender las relaciones comprimidas y abstractas que se han expuesto en este capítulo, y se podrá advertir cómo ellas surgen naturalmente de la misma experiencia de la historia humana.

SEGUNDA PARTE

LA CIENCIA EN EL MUNDO ANTIGUO

INTRODUCCIÓN

Antes de poder entender a la ciencia tal como la conocemos ahora —como una institución social con su propia tradición y sus propios métodos característicos— es necesario examinar, antes que nada, sus orígenes. Ahora bien, el estudio de los orígenes de la ciencia presenta un doble problema. El primero consiste en la dificultad —inherente a todos los estudios sobre el origen de algo— de que cuando nos remontamos hasta llegar a los periodos críticos en los cuales se hicieron las innovaciones básicas, se hace más arduo el descubrimiento de lo que realmente ha ocurrido. Sólo que, en el caso de la ciencia, se presenta otra dificultad adicional, debido a que la ciencia no aparece en un principio en una forma reconocible, sino que se fue distinguiendo gradualmente de los aspectos más generalizados de la vida cultural de esas épocas. Así, es necesario buscar sus fuentes ocultas en la historia de las artes y de las instituciones humanas.

Debido a que el carácter esencial de la ciencia lo constituye su interés en las manipulaciones y transformaciones efectivas de la materia, la corriente científica principal proviene de las técnicas prácticas del hombre primitivo; la ciencia mostrada e imitada, y no aprendida de memoria. La expresión de la ciencia, sin embargo, es inicialmente verbal y luego escrita; por consiguiente, las ideas y las teorías de la ciencia son extraídas de la vida social y provienen, a su vez, de la magia, la religión y la filosofía.

La influencia de la cultura de las épocas antiguas afecta a nuestra cultura actual a través de una cadena ininterrumpida de tradición, de la cual sólo la parte más reciente es una tradición escrita. Nuestra elaborada civilización mecánica y científica ha surgido por entero de la técnica material y de las instituciones sociales del pasado remoto, en otras palabras, de los oficios y costumbres de nuestros antepasados. El descubrimiento de estos oficios y costumbres constituye la tarea de los historiadores y de sus colegas —los arqueólogos, los antropólogos y los filólogos. Ellos trabajan con los registros materiales y escritos del pasado y por medio del análisis de las costumbres y lenguajes actuales de los pueblos primitivos y de los civilizados.

Ahora bien, en esos periodos primitivos los hechos son conocidos de modo fragmentario e imperfecto y son difíciles de reunir. En su mayor parte, únicamente son accesibles a los expertos en campos especializados, que ordinariamente se han ocupado de establecer las secuencias correctas y las interacciones de las culturas, y rara vez se han interesado en los problemas que presenta la indagación de los orígenes y las influencias de las ciencias. Debido a que yo no soy historiador ni erudito sino un científico activo, las reconstrucciones que hago tienen la limitación de ser provisionales y abiertamente susceptibles de crítica. Pero, es justamente de esta crítica y de las investigaciones a que ella conduzca, de donde se podrá llegar a establecer un cuadro coherente y razonable.

Desde luego, hubiera sido posible dejar completamente a un lado la exposición de los periodos primitivos. Aun así se podría escribir una explicación perfectamente inteligible de la ciencia moderna y, tal vez, de la ciencia medieval. Pero semejante explicación resultaría engañosa. Mucho de lo que se tendrá que aceptar como cierto, presentándolo como evidente por sí mismo o como arbitrario, es efectivamente resultado de los factores específicamente científicos y sociales operantes en la antigüedad. Por ejemplo, el gran debate acerca de la revolución de las esferas celestes, que señala el principio de la ciencia moderna, es ininteligible sin el conocimiento del origen mítico-cosmológico de dichas esferas, que se remonta por lo menos hasta las primeras etapas de la cultura mesopotámica (sección 3.4).

En esta segunda parte trataremos de dar, en forma esquemática, una explicación de la creación y la diferenciación de la ciencia, en relación con los primeros desarrollos de las sociedades humanas. El gran periodo histórico tratado aquí comprende dos grandes etapas, divididas por la invención crucial de la agricultura. La primera etapa comprende la Edad Paleolítica entera, cuya base es la recolección de alimentos y la caza. La segunda etapa incluye los periodos de la agricultura rural primitiva (Edad Neolítica); de la primera cultura urbana formal en Egipto, Mesopotamia, la India y la China (la Edad del Bronce); y de las primeras ciudades independientes basadas en los oficios y el comercio (la Edad de Hierro), comprendiendo las civilizaciones clásicas de Grecia y Roma. Para los propósitos de este libro es conveniente separar este último

periodo, en parte porque nos es mucho mejor conocido por las fuentes escritas de que disponemos, pero más todavía porque su tradición se ha incorporado directamente a la ciencia moderna. De acuerdo con esto, la segunda parte se encuentra dividida en tres capítulos: capítulo segundo, la Edad Paleolítica; capítulo tercero, Edad Neolítica y Edad de Bronce; y capítulo cuarto, Edad de Hierro y Cultura Clásica.

En cada uno de estos periodos los hombres han hecho contribuciones a las técnicas y a las ideas que constituyen la base necesaria de la ciencia. En la Edad Paleolítica se produjeron las principales maneras de manipular y conformar los materiales, incluyendo el uso del fuego, el conocimiento práctico de la existencia y los hábitos de animales y plantas en la naturaleza salvaje, lo mismo que las invenciones sociales fundamentales del parentesco, el lenguaje, los ritos, la música y la pintura. La cultura urbana de la Edad Neolítica trajo consigo, junto con la agricultura, el tejido y la cerámica, las invenciones sociales del simbolismo pictórico y de la religión organizada. La Edad de Bronce agregó los metales, la arquitectura, la rueda y otros artefactos mecánicos; también produjo algo de mayor importancia aún: la decisiva invención social de la ciudad misma —la *civis* de la civilización, la *polis* de la política. La ciudad fue la que hizo posible los progresos técnicos y, con ellos, todo un conjunto de invenciones intelectuales, económicas y políticas —los números, la escritura, el comercio— dentro del dominio de la evolución del nuevo sistema de clases y de gobierno organizado. Entonces empezó a surgir una ciencia consciente y las disciplinas distinguibles de la astronomía, la medicina y la química adquirieron sus primeras tradiciones.

La Edad de Hierro no produjo una transformación notable en la técnica material, no obstante que agregó el vidrio y mejoró las herramientas y las máquinas. Su principal contribución consistió en extender y propagar la civilización, con el empleo del nuevo metal económico —el hierro—; sin embargo, las invenciones sociales del alfabeto, el dinero, la política y la filosofía prepararon el terreno para el rápido desarrollo y extensión de las técnicas y de la ciencia. Fue en este periodo cuando los griegos reunieron la experiencia técnica de los antiguos imperios y la desarrollaron en la primera ciencia enteramente racional, que tiene una conexión directa e ineludible con nuestra propia ciencia. Sin embargo, el periodo clásico fue tam-

bién una época de guerras y conflictos sociales, de esclavitud y opresión. Su expresión final, el Imperio Romano, aportó poco a la ciencia y mucho a las obras públicas y al derecho. A causa de sus contradicciones inherentes, sobrevino gradualmente su decadencia política e intelectual y, con su derrumbe, la ciencia de la antigüedad clásica quedó eclipsada; pero, otras ramas paralelas siguieron floreciendo en Persia, la India y la China, y prepararon el camino para un nuevo avance.

II. LAS SOCIEDADES HUMANAS PRIMITIVAS: LA EDAD PALEOLÍTICA

2.1 LOS ORIGENES DE LA SOCIEDAD

Para descubrir los primeros orígenes de la ciencia debemos remontarnos al periodo anterior a la separación efectiva entre los aspectos técnicos e ideológicos de la cultura humana, o sea, al origen mismo de la humanidad. Ahora bien, el modo primitivo y más fundamental en que los seres humanos difieren de los animales es en su formación de sociedades permanentes, con una cultura material que añade nuevos alcances a las capacidades de sus cuerpos indefensos.

Estas *sociedades* deben de haber tenido —a diferencia de los rebaños de animales— métodos de coleccionar alimentos y de protegerse, mejores que los logrados por los individuos aislados, lo mismo que medios de mantener y transmitir estos métodos en la forma de una tradición continua. Ya desde su evolución a partir de las creaturas semejantes a los monos, los hombres primitivos habían heredado los aprestos corporales y mentales para *ver, asir y manipular* objetos. Además, deben de haber tenido desde el principio una manera más *generalizada* para obtener el sustento de su vida que los mamíferos más grandes con cuerpos y costumbres especializados. Esta capacidad manual-ocular combinada con la habilidad para aprender,^{2.19} fue la que hizo posible el empleo de utensilios; primero la piedra o la punta accidentalmente aguzada, luego escogida deliberadamente y conformada para el trabajo. Pero, mientras estos progresos estuvieron confinados a ciertos individuos, indudablemente bien dotados, no podían constituir una plena humanidad. Para que un utensilio esté a disposición de todos y sea susceptible de un mejoramiento progresivo, es necesario que su fabricación y su empleo sean *concebidos y aprendidos*. Deben ser *normalizados* colectivamente por la *tradición*, lo cual implica una sociedad permanente.

La continuidad de las sociedades humanas también se hizo necesaria y quedó asegurada por el periodo excesivamente prolongado durante el cual el niño es incapaz de valerse por sí mismo. Esto llevó al establecimiento de un grupo familiar prác-