

PPCCT - 2002 La Comprensión Social de la Ciencia

Ángel Martín Municio

Arbor CLXXIX, 706 (Octubre 2004), 405-441 pp.

No hay hecho o circunstancia del hombre que no tenga un carácter rigurosamente histórico. Y así sucede con las ideas de cultura, de ciencia y de tecnología; con las relaciones de la ciencia con la filosofía primero y luego con la consideración global de la cultura; con la manera en que la sociedad se percata de los beneficios de la ciencia y de la técnica; y con cuanta consideración política, económica o social intenta fomentar el progreso de los ciudadanos. Todos los conceptos, ya aislados ya en sus relaciones, hay que entenderlos desde sus orígenes y a partir de la múltiple naturaleza de los cambios que han experimentado a lo largo de los siglos. O de otra manera, ¿en qué forma, como en muchos sucesos físicos, la posición, la vida misma del observador, afecta a la medida del fenómeno? Posición en el tiempo —en la historia, pues y en la escala social de cada momento.

Si acudimos a la literatura social en busca de contextos, Aldous Huxley, en 1932, imaginó en *Brave New World* «un mundo estable con gentes felices, que tienen lo que desean y no aspiran a lo que no pueden poseer; gentes felices y sanas que *han* de escoger entre esta fortuna o elevar su nivel (...) que no desean cambiar porque cada cambio es una amenaza a su *estabilidad* (...) porque la ciencia es peligrosa e *incompatible* con su felicidad y hay que mantenerla *bien encadenada*...». Hace prácticamente tres cuartos de siglo había gentes felices, pero con una *felicidad incompatible* o, al menos, ajena a la *ciencia*. Se trataba de gentes felices a su manera porque el nivel de *su calidad de vida* se encontraba flotando —quizá sin darse cuenta— en el conjunto de ingredientes científicos,

económicos y sociales, que contribuyen en cada momento a la idea misma de *bienestar*, la que supone el acceso a la sanidad, la nutrición, la energía, las comunicaciones, los nuevos materiales y, obviamente a la cultura. Y, así, nos encontramos con que la idea de *calidad de vida* subroga su complejidad a la de cada uno de sus componentes primarios, por ejemplo, ciencia, tecnología y cultura.

Y, a su vez, la idea misma de cultura es capaz de abarcar una gran diversidad de conceptos. La idea más amplia de todas es la que resulta de la consideración de las características universales de la especie humana, mientras que la más reducida vendrá definida por las características individuales de la persona. Y, entre ambos extremos, puede considerarse un conjunto de creencias, valores, razas, lenguas, comportamientos, rasgos políticos, hábitos alimentarios, etc. que son compartidos por miembros de un grupo a diferencia de los de otros grupos. Lo que posibilita el hablar de cultura cristiana, cultura occidental, cultura urbana y rural, cultura popular, cultura del consumo y del ocio, y tantas otras modalidades de cultura. Con esta idea, en su ensayo *Towards a global culture*, Smith afirma: «Una *identidad* cultural significa la *continuidad de sentimientos* y valores, memorias compartidas de *hechos* y personajes que han sido *puntos de inflexión* de una historia colectiva, y un *sentido de destino* común a lo largo de las sucesivas generaciones de una unidad de población...». Sin olvidar que cada sistema cultural existe en un hábitat social determinado que, a su vez, ejerce una influencia sobre el propio sistema cultural. Sistemas socioculturales en su conjunto, que, a través del tiempo han ido evolucionando y difundiéndose. Y a medida que la cultura evoluciona, los sistemas socioculturales se diferencian estructuralmente desde lo simple a lo complejo; se produce una especie de reordenación en la que toman parte la educación y el progreso científico.

En cuanto a la iniciación de las relaciones ciencia-educación-cultura, hace pocos años que en un artículo aparecido en los *Comptes Rendus* de la Academia de Ciencias de París se podía leer: «La ciencia es tan antigua como la conciencia, ella nació el día en que el hombre, por primera vez, dedicó un instante a la observación de una gota de agua, de leche o de sangre, de un trozo de piedra, de piel, de fruto, y cuando a este propósito se plantea alguna cuestión. Y, después, cuando el hombre confía sus interrogantes a otro, crea la información, su reflexión y transmisión constituyen la cultura». Y desde aquella simple observación inicial de la naturaleza por el hombre, hasta la utilización de los conceptos actuales de la ciencia y de la técnica, ha ido surgiendo en cada momento su particular manifestación cultural. De tal forma que ciencia, tecnología, cultura y sociedad son va-

riables de una ecuación compleja que dura ya bastantes miles de años, cuya resultante es la evolución cultural o sucesión de culturas humanas en la que el periodo de ritmo va siendo cada vez más corto, y en la que, asimismo, el cambio de las estructuras sociales tiene una interpretación fundada en los avances científicos y tecnológicos. Dentro de estas ideas, debe reconocerse que a las terribles pandemias medievales que diezmaron a la humanidad, se unieron las pandemias contra la incipiente ciencia por parte de la iglesia, los monarcas y la literatura, que lanzaron sus condenas y sus sátiras sobre los alquimistas; y que, sin embargo, las epidemias de terribles enfermedades como la viruela y la poliomielitis no hayan podido ser controladas hasta nuestros mismos días, en que el clima intelectual del mundo civilizado está modulado por la ciencia y el conocimiento científico sea la clase más respetada de conocimiento. La imagen actual del mundo de la gente culta viene conformada por los descubrimientos científicos y tecnológicos, de forma que se habla de la imagen científica del mundo. De un mundo en el que las apetencias generalizadas de una sociedad de consumo material e intelectual provocan las estrategias científicas y técnicas de las naciones, las instituciones y las empresas; todas ellas cada día más conectadas entre sí y entreveradas por sistemas mediáticos prácticamente uniformes que ponen en relación fácil las sociedades y las opiniones públicas. Un mundo en el que el hombre está ya embarcado en un proceso irreversible pero modulable; en el que el hombre es consciente de las consecuencias del avance científico y buen conocedor de las finalidades que se persiguen. Modulación que, a su vez, puede consistir en seleccionar, orientar y encauzar el progreso científico hacia el mejor rendimiento de su actividad social. Este progreso integral, el desarrollo, va a entrañar riesgos, inevitables unos que hay que valorar y atenuar al máximo; y salvables otros que pueden evitarse mediante normas sociales y de gobierno.

Pero, un mundo, sin embargo, en el que el súbdito o el ciudadano –que de todo ha habido en la historia– ha sido consciente de distinta manera, y en diferente grado, acerca de la naturaleza de sus problemas y de las posibles soluciones a su alcance. Situaciones históricas que han ido evolucionando con la extensión cultural, la educación científica y la resultante comprensión social de la ciencia y la técnica, dependientes a su vez de los desarrollos correspondientes de cada campo en cada momento; hasta que hoy, ayudado por la investigación y el método científico, el hombre ha alcanzado una visión global del mundo físico superior a todos los posibles sueños de las generaciones anteriores.

En íntima relación con las ideas anteriores y desde bien pronto, la ideología de progreso ofrece varias facetas; o lo que es igual, conviene dis-

tinguir el ideal de progreso como tendencia al incremento de bienestar social y material del hombre, del progreso del conocimiento en su conjunto y del progreso particular de las ciencias y sus aplicaciones. Este progreso del conocimiento, con sus ritmos y sus altibajos, va a ser incesante e inevitable; y por sus efectos culturales y por sus aplicaciones contribuye poderosamente al progreso general de la humanidad. Ocurre también que cada tiempo, cada época, con sus gentes y sus guerras, gobiernos, influencias y prejuicios, imprime una resultante sobre las perspectivas de futuro, y, obviamente, sobre la aceptación social y cultural de la ciencia, o si queremos, sobre la comprensión pública de la ciencia y de la técnica, a cuyo estudio vamos a dedicar esta intervención. Porque hoy, esta comprensión está rellena de importantes facetas tanto de naturaleza científica como política y social; su estudio abarca una amplia colección de cuestiones al estilo de las relaciones ciencia y público, y las de científicos y no científicos; los conceptos de público y de opinión pública; y las maneras de incidir en ella como los programas educativos y los de popularización de la ciencia, su necesidad y las características de estos acercamientos. Porque hoy, para estimar el valor de la innovación, el público hace un balance entre la utilidad y sus riesgos.

De aquí la necesidad de echar una ojeada, por muy somera que sea, a la evolución histórica de la ciencia y la tecnología, y la de sus relaciones con la filosofía y la cultura; y, además, a los hechos más sobresalientes de la ciencia acaecidos en los últimos siglos tras la aparición de la ciencia moderna. Y, coincidente con todo ello, la transformación de la ciencia y la tecnología en poder político y militar de los Estados, va a afectar a las relaciones internacionales económicas y políticas. Hechos que tampoco van a ser ajenos a la elaboración conceptual de la *comprensión pública del fenómeno*.

Raíces de la Tecnología

Pocas dudas pueden existir hoy acerca de la antigüedad de la relación del hombre con el hombre en la transmisión de conocimiento, y de cómo se vería influida por los procedimientos que, muy distantes aun de la ciencia, tras la *revolución del Neolítico* tuvieron ya un primitivo carácter tecnológico. Fue el de los métodos, utensilios y recipientes para la elaboración y conservación de los alimentos, el del paso de la recolección a la producción agrícola y a todas aquellas prácticas relacionadas con el asentamiento estable y sedentario de pequeñas poblaciones en el territo-

rio. Estos cambios sociales, hace diez o doce mil años, forzaron las artes culinarias y se vincularon a diversas prácticas biotecnológicas. Más cercanas, las grandes civilizaciones de la Antigüedad, aun varios milenios antes de Cristo, dejaron documentos, pinturas, tradiciones y mitos acerca de las *fermentaciones* utilizadas en la obtención del pan, el vino y la cerveza. Y también desde antiguo, el hombre sintió el impulso de explorar el universo y su propia naturaleza. Así pues nació la primera manifestación cultural de la humanidad fue indudablemente de naturaleza tecnológica, con lo que nació la tradición intelectual de la tecnología; y a la par, como consecuencia inmediata, la manifestación cultural fue también artística. Si, efectivamente, el hombre tuvo que movilizar toda su inteligencia con la que asegurar su subsistencia frente a un ambiente por completo hostil, cabe pensar que la naturaleza humana tuvo también que sentir la necesidad de exhibir su espíritu creativo. De esta manera, desde los balbuceos mismos de la civilización, el deleite sensual de la cultura artística se mostró en equilibrio con el sentido utilitario de la *cultura tecnológica*. A este propósito, Christian Langlois, miembro de la Academia de Bellas Artes de Francia, ha escrito: «*En la variedad de razas, de etnias y de pueblos, el hombre ha conocido las más diversas condiciones; de la extrema miseria a la opulencia, de la dulzura de la vida al reino de la ferocidad, ha conocido los éxodos y las masacres, los cataclismos terroríficos y las epidemias exterminadoras, la dominación y la esclavitud. Pero, jamás, aun en los peores momentos de su historia, se ha prescindido del arte y de la belleza*». Y es que, en efecto, a lo largo de la historia de la humanidad, lo útil y lo bello vienen tomando parte de la evolución cultural y social.

Y, desde los primeros balbuceos de la *ciencia*, el desarrollo corre paralelo a la marcha de la *sociedad*. Desde ellos, la ciencia cointerpreta, al menos, la posición del hombre en el universo y es ingrediente esencial a la fábrica de la cultura, su arte, su literatura, su ética y sus instituciones sociales.

Ciencia y Filosofía

En esta consideración que estamos abordando acerca de la *comprensión social de la ciencia* resulta imprescindible el examen de la situación de la *ciencia* en la totalidad de la cultura y, particularmente, sus relaciones con la filosofía. Y a este respecto hay que señalar como la mayor conexión entre *ciencia* y *filosofía* el ejercicio simultáneo de ambas, porque

–afirmó el filósofo francés Paul Ricoeur– «7a filosofía se agota en sí misma cuando pierde el contacto con las ciencias (..) y cuando la filosofía no dialoga con las ciencias se repite a sí misma (..) y se recluye en un debate sobre su propio pasado». Pues bien, en el centro de este primer círculo de relaciones estrechas entre el filósofo y la ciencia, en el que el filósofo es a la vez creador de ciencia, encontramos a Aristóteles, al que acompañarían después Descartes y Leibniz, y, más recientemente, Russell y Whitehead. Hubo otros que sin cultivar expresamente la ciencia se aplicaron a conocerla desde dentro para poder construir sus elaboraciones metafísicas o reales, la materia, el universo o la vida. Así, Kant utilizó la ciencia de Newton; Comte se sirvió de diversas ciencias de su tiempo; Schelling estudió en Leipzig matemáticas, química, botánica y fisiología, que fueron la base de sus obras físico-naturales; Bergson fue buen conocedor de las teorías biológicas y cosmológicas; y, recientemente, así han actuado Zubiri, Merleau-Ponty y García Bacca.

En efecto, *ciencia y filosofía* formaron durante bastantes siglos una unidad cultural que resistió a su fragmentación, y de la que, en el siglo IV aC, Aristóteles recopiló el saber científico de la época, lo mismo en la clasificación sistemática de los seres vivos que en el desarrollo embrionario, los cambios evolutivos, el movimiento de los cuerpos celestes o la lógica matemática. Saberes que alcanzan su mejor trascendencia al contemplar su permanencia, durante 19 siglos –hasta Galileo–, durante 22 siglos –hasta Darwin–, o durante 24 siglos –hasta Boole–. A *Aristóteles* acompañaron en el establecimiento y conservación de esta *unidad*, entre otros, *Tales de Mileto* en el siglo VI aC, polifacético investigador de la naturaleza, realizó demostraciones astronómicas y estudió por primera vez el magnetismo; *Pitágoras* filósofo, matemático y astrónomo, descubrió el teorema que aun conserva su nombre, demostró la esfericidad de la Tierra y situó la teoría de los números en el centro de la filosofía, buscó el secreto y la armonía del universo en las relaciones numéricas entre sus componentes; *Empédocles* anticipó la moderna teoría de la evolución al proponer que el nacimiento de los seres vivos se originó en los organismos inferiores a los que siguieron los superiores, primero las plantas, y luego los animales y los seres humanos, y reunió la teoría de los cuatro elementos –fuego, agua, aire y tierra–; *Demócrito* aseguró que los átomos diferían entre sí físicamente y en esta diferencia había que buscar la explicación de las distintas propiedades de las sustancias, de forma que estos diminutos corpúsculos indivisibles, inalterables, de tamaño y peso diferentes, son el fundamento de las cualidades de las cosas. Y *Platón* se interesó por las abstracciones matemáticas a las que consideró la forma

más elevada del pensamiento; en el *Timeo* expuso la filosofía de la naturaleza al reseñar el origen de los seres naturales, desde los cuerpos celestes a los seres vivos de la Tierra. Con lo que pudo Platón afirmar en *La República*: «El estudio de las ciencias a las que hemos pasado revista –aritmética, astronomía, geometría (..) produce exactamente los mismos efectos: eleva la parte más noble del alma a la contemplación más excelente de todos los seres». Todo lo que, en sus comentarios sobre el mito de la caverna en Platón (*La sourcegrecque*, 1953), ha hecho exclamar a Simone Weil: «Grecia ha tenido una mística cuya contemplación se apoya en las relaciones matemáticas».

La influencia de la filosofía aristotélica fue escasa durante la primera Escolástica, y no alcanzó su apogeo hasta la alta Escolástica en que se hizo accesible a la Europa cristiana a través de las traducciones árabes a lo largo de los siglos XII y XIII. Los siglos iniciales de la Edad Media contemplaron la labor de los primeros Padres de la Iglesia empeñados en armonizar la filosofía griega y la ciencia alejandrina con la fe cristiana. La influencia de Aristóteles va perdiendo gradualmente su predominio; casi nadie se acuerda de él en el s. VI, y durante siete siglos apenas si fueron tenidos en cuenta algunos comentarios sobre su *Lógica*. No deja de ser cierto asimismo que la exagerada actitud escatológica de la patrística, con el fin del mundo a las puertas, la venida inminente del reino de Dios y los misterios del juicio, favorecían bastante poco el deseo de investigar la naturaleza. A propósito de lo cual decía San Ambrosio que *la esperanza de la vida futura no puede edificarse sobre la naturaleza y la posición de la Tierra*.

Aún bajo la debilitada influencia aristotélica, la vinculación de la ciencia a la filosofía se conservó en la época árabe merced a la obra de los cordobeses Averroes y Maimánides. Y en el seno de los largos siglos de decadencia europea, sobresale el enorme esfuerzo asimilador de los dominicos Alberto Magno y Tomás de Aquino, en el s. XIII, en el redescubrimiento de Aristóteles. Los escritos de Alberto Magno, editados completamente en 1651, en Lyon, alumbraron la totalidad de la filosofía aristotélica a sus contemporáneos, y recogieron y adaptaron todos los conocimientos científicos de su tiempo al pensamiento cristiano medieval además de su propia obra en los campos de la química, la botánica y la zoología. Fue Alberto Magno el pensador de mentalidad más científica que produjo la Edad Media; continuador de la obra embriológica aristotélica, su preocupación crucial fue definir el momento en el que el alma entra en el embrión –lo que tampoco sería mal asunto para nuestros mismísimos días–. Sin embargo, el tomismo no se hizo cargo tanto de la

prolongación de la obra científica de Aristóteles como de integrar sus categorías bajo una perspectiva teológica con elementos de Platón y San Agustín.

En este momento conviene ya señalar que, a pesar de la gran unidad de origen, la *ciencia*, aunque tímidamente, comenzó a liberarse de la filosofía y a desarrollarse de forma independiente desde sus iniciales desarrollos. Así, el nombre de *Euclides* está ligado a la geometría y fue el matemático más importante de la Edad Antigua, al lado de *Apolonio* y *Arquímedes*. *Hiparco*, en el s. II aC, midió la distancia y el tamaño del Sol y la Luna. *Dioscórides*, en el s. I, viajó con el ejército romano de Nerón y recopiló en cinco libros la primera farmacopea sistemática con el nombre de *De Materia Medica*. El médico griego *Galeno*, en el s. II, fue la primera autoridad en anatomía cuyo prestigio conservó hasta los tiempos de Vesalio en el s. XVI. *Zásimo*, el primer alquimista griego, dejó en el s. IV, en 28 libros, el saber alquímico de la Antigüedad. Y en la escuela de Alejandría, el matemático *Diodoro* distinguió las matemáticas de las ciencias de la naturaleza.

Fue sin embargo en la Edad Media cuando los franciscanos de Oxford representados por Roger Bacon, se esforzaron en independizar la rudimentaria ciencia física de la teología y la filosofía medievales; y el comienzo de la observación y la experimentación condujo en seguida a mejoras en la producción agrícola, un aumento del comercio y los medios de transporte y de todas las artes mecánicas. Roger Bacon, en resumen, preparó el giro del espíritu europeo en la transición medieval a la Edad Moderna. Duns Escoto y Guillermo de Occam siguieron el ejemplo precursor de Bacon y contribuyeron en gran medida a la independencia de la ciencia de sus lastres escolásticos; ayudaron a la pretensión de Bacon de una ciencia fundada exclusivamente en la experiencia inmediata y en la observación de la naturaleza, con lo que se habría de iniciar el despliegue de la poderosa ciencia natural de Occidente. Y, así, entre los acontecimientos más ricos en consecuencias de esta época de transición se cuentan tres grandes inventos: la *brújula*, la *pólvora* y la *imprensa*, que trastocaron el orden medieval y transformaron la visión social, política y cultural de Europa.

Ocurría además que el entorno medieval de la ciencia venía siendo terriblemente limitado y pocas alegrías científicas permitía; de un lado, por los vaivenes económicos en los que tomó parte la economía feudal; y, de otro, debido a la vinculación casi exclusiva de la ciencia al alumbramiento de las verdades teológicas y de una sabiduría global al servicio de Dios.

Tampoco esta situación facilitó los avances que la aún *alquimia* permitía. Todos a una lanzaron sus sátiras y sus condenas sobre los alquimistas. La *Divina Comedia* les tortura en las regiones más profundas del infierno y son ridiculizados en *los Cuentos de Canterbury*. Enrique IV de Inglaterra y Carlos V de Francia promulgan edictos contra ellos, persiguen sus prácticas e incautan los instrumentos de sus operaciones. En 1317, el Papa Juan XXII decretó que *la alquimia fuese prohibida y castigados los que la practicasen y considerados criminales si no pudieran satisfacer las penas económicas impuestas; los clérigos perderían todos sus beneficios y serían inhabilitados para percibir cualquier otro*. Ejemplos palpables de la situación que la época ofrecía en cuanto a la más distinguida *comprensión pública de la ciencia*.

Orígenes de la Ciencia Moderna

Seguramente que es este el momento para sacar a relucir el comentario de Eugenio D'Ors en su obra *La Civilización en la Historia*, cuando afirma: *Y/ Renacimiento, a la vez que intensifica la actividad científica del hombre y hace adelantarlos conocimientos de la ciencia, rompe su unidad. De todo e/ saber, la Edad Media como la Antigüedad formaban una síntesis: tan Filosofía era entonces la Astronomía como la Botánica (..) Y es que la actividad científica del hombre nace de dos fuentes: una, el libre juego de la curiosidad, que tiende a averiguarlo todo, a observarlo y experimentarlo todo; y, sin curar de que las adquisiciones logradas por observación y experimentación sean racionales o bien absurdas, opera como un francotirador de la ciencia y le trae, cuando se ejerce libremente, un rico botín; otra fuerza, la ordenación del saber en conjuntos homogéneos, su unificación racional, lo que llamaríamos su legalidad».*

De todas formas, la mejor contribución de la época a la construcción de la ciencia moderna, que ya se vislumbraba, fue el empleo de las matemáticas en la cuantificación de los fenómenos naturales y la promoción de la *ciencia experimenta/* por encima de las construidas sobre la mera especulación. Y puede asegurarse, con Crombie, *que toda la historia de la ciencia europea de los siglos XVI y XVII puede considerarse como la historia de la penetración gradual de las matemáticas, al lado de la metodología experimental, en los dominios que se pensaba pertenecían antes de modo exclusivo al dominio de la física*. La idea de que solo lo que es calculable matemáticamente aporta un conocimiento claro surgió como consecuencia de las nuevas teorías. Un conocimiento perfecto, aseguraba

Kepler, debe ser matemático; y, en efecto, los éxitos alcanzados por el método matemático se acomodaban a una cierta estructura matemática de la naturaleza.

Y la emancipación conseguida por parte de las adquisiciones empíricas del saber constituyó una verdadera orgía intelectual, en cuya primera línea sobresalieron Copérnico (1473-1543), Kepler (1571-1630), Galileo (1564-1642), Hobbes (1588-1679) y Francis Bacon (1561-1626). La publicación en 1543 de la obra de Copérnico *De revolutionibus orbium coelestium* contribuyó grandemente a la crítica de la concepción aristotélica del universo. Las ideas de Kepler se fundaron en la regularidad armónica del universo y la sujeción a leyes de todo lo creado. Clímax antiaristotélico que se alcanzó con Galileo, al medir la velocidad de caída de los cuerpos y al rechazar el estudio de la esencia de las realidades concentrándose en una descripción de los fenómenos y advertir que el comportamiento de las cosas depende de su estructura geométrica. Hobbes se dedicó a construir un nuevo sistema del mundo basado en la teoría de Copérnico; y, en oposición directa a Aristóteles, estableció una fractura entre el pensamiento y la realidad. Las categorías del ser desarrolladas por Aristóteles no eran sino artilugios verbales, y nunca una clasificación irreductible de las realidades de la naturaleza. No deja de ser notable –y hay que reiterarlo– que la misma filosofía que 20 siglos antes, en manos de sus cultivadores, acaparó la casi totalidad de la observación en la incipiente ciencia y consolidaba aquella extraordinaria *unificación cultural*, fue después la que, en otras manos ciertamente pero al igual cultivadoras de ambas, filosofía y ciencia, iba a contribuir a liberar a la ciencia de sus cortapisas y a crear el pensamiento racionalista. Ello fue así merced a la influencia ya mencionada del método y las doctrinas de Descartes (1596-1650) y del optimismo universal de Leibniz (1646-1716), y gracias a la introducción en la filosofía de los modos y las demostraciones matemáticas, a la vez que los descubrimientos de la naturaleza se aliviaban de las doctrinas filosóficas y religiosas. Descartes tiene un puesto entre los matemáticos de todos los tiempos, sobre todo por el invento de las coordenadas y de la geometría analítica.

Con posterioridad, ya en pleno s. XVIII, Kant (1724-1804) introdujo la idea de una construcción dinámica de la materia, mostrando como esta, en sus diversas manifestaciones, es resultado del equilibrio entre las dos fuerzas fundamentales y universales de la atracción y la repulsión. Bajo esta hipótesis dinámica resulta rechazada la existencia de los átomos y la concepción atomística del espacio. Para Kant no hay más ciencia que la física; la biología, la química y la medicina quedarán

limitadas como saberes no científicos, cuyos fenómenos no resultan explicables por los principios generales de la física. Kant no piensa la cuestión de la vida en el seno de las ciencias de la naturaleza. Schelling recogerá en su totalidad la concepción kantiana y da un paso adelante preguntándose por el origen de estas fuerzas, o lo que es igual por el de la materia.

Tras este desamarre y esta desvinculación, la ciencia va a desenvolverse a sus propias expensas, y tiene, de un lado, que cuajar sus propias doctrinas, y, de otro, organizar sus propias instituciones de investigación y administración, y las relaciones con su entorno social.

Y en la transición al s. XVII, Francis Bacon, que no descubrió ni inventó nada, proclamó simplemente que la ciencia podía salvarnos, y con su obra *Novum Organum* fue, en 1620, el preceptista de la ciencia experimental moderna. Aunque solo fuera en esbozo, Bacon dejó preparado el terreno para el ulterior desarrollo del *cientificismo*. «...Una vez los hombres –aseguraba Bacon– supieran cómo funcionaba la naturaleza, podrían explotarla en su propio beneficio, superarla escasez con innovaciones científicas en la agricultura, superar la enfermedad con la investigación científica en medicina, y mejorar la vida del hombre en general mediante todo tipo de avances en tecnología e industria». Sucedió, pues, que, entre unos y otros, fue rechazada en las ciencias naturales su componente de filosofía aristotélica de la naturaleza, como lo serían después sus concepciones filosóficas relativas a las realidades materiales. Las razones de este vuelco fueron, entre otras, la existencia de errores manifiestos en la cosmología de Aristóteles y la aparición de una nueva imagen del mundo con el Sol como centro del Universo; las formas sustanciales que ocupaban un lugar central en la teoría aristotélica de la naturaleza hubieron de reemplazarse por la teoría atómica.

Ya en la segunda mitad del s. XVII tuvo lugar la introducción con Newton del cálculo infinitesimal, herramienta definitiva en la metodología científica moderna; aunque el mismo Newton dedicara más tiempo a la investigación química que a la física que le hiciera famoso. En cualquier caso, con Newton se penetra en la ciencia natural moderna, aunque titule todavía su obra fundamental *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Constituye esta época del s. XVII un momento en el que aun no se ha descubierto el oxígeno; la revolución de la química a manos de Lavoisier está a casi un siglo de distancia; y, sin embargo, es válida la teoría del flogisto para, a pesar de su falsedad, coordinar un gran número de fenómenos diversos.

La revolución Científica

El desarrollo de este nuevo *espíritu científico*, origen de la ciencia moderna, no fue, pues, una simple cuestión de cantidad de conocimiento, sino consecuencia de la aparición cualitativa de un parámetro decisivo: *la manera de distinguirla verdad del error*. Y dado que la ciencia se establecía sobre la base inatacable del hecho experimentalmente verificable, la confusión y la duda fueron dejando paso a la creencia de que lo desconocido era tan sólo lo que aún no había sido descubierto; y, poco a poco, fue tomando cuerpo la convicción de la capacidad del hombre de manejar su propio destino. Y así, este *nuevo espíritu científico* iba a permitir la *revolución científica* de la segunda mitad del XVIII –en particular la *revolución de la química*–, el mayor cambio de pendiente en la actitud cultural de la humanidad tras la *revolución neolítica*. La interpretación de la combustión, la respiración y la producción de calor, basadas en la nueva teoría del oxígeno, trastocaron el pensamiento científico que urgió el inmediato desarrollo de la química y la biología. A la vez, las *fermentaciones*, cuyos entresijos tanto habían desesperado a la humanidad, pudieron esclarecerse en su naturaleza biológica y sus transformaciones químicas. El gran debate sobre la naturaleza de las fermentaciones estuvo siempre en el trasfondo que engarzó la *Ilustración* con la *revolución industrial* del s. XIX y con sus corolarios, el *capitalismo* y la *industrialización*.

Además de las nacientes aportaciones científicas, el *nuevo espíritu* tuvo otras consecuencias que añadir al entorno social de la época. La ciencia logró convertirse en la única beneficiaria de la razón; o, de otra manera, fuera de sus límites sólo permanece lo irracional. Y, desde entonces, lo racional y la ciencia forman un poderoso universo; un universo que llegó a usufructuar el poder político, que logró extenderse sin fronteras, que venció a fanatismos y religiones. La ciencia llegó a conformar un hecho social íntegro que se tradujo en su acercamiento en bloque al poder. Y en palabras del historiador francés Michel Serres, «...*desde las matemáticas a la economía pasando por la física, la química, la historia natural y la medicina, toda la ciencia se introduce de golpe en la política, no individualmente sino en bloque (..) De la ciencia surge de pronto un bloque que se prepara para hacerse con todos los puestos; los sabios piensan, viven, actúan, dentro de un colectivo que obedece a sus propias leyes. Nadie pone en duda que este fenómeno se ha ido preparando lentamente durante dos siglos para acelerarse al final (...) En nombre del saber, la ciencia tiende a convertirse en un hecho social íntegro*».

Fue ya en este ambiente cuando Leeuwenhoeck publicó los resultados de sus *observaciones microscópicas* (1681), y se observó el cometa *Halley* (1682). Colbert fundó la *Academia de Ciencias de Francia* (1666); se creó el *Banco de Inglaterra* (1694) y apareció la 1.ª edición del *Diccionario de la Academia francesa* (1694). Se crearon la *Academia de Ciencias de Moscú* (1681), la *Academia leopoldina de Viena* (1682) y la *Academia de Bolonia* (1690). Y en el gran marco general del s. XVIII, se crearon la *Real Academia Española* y el *Observatorio de Berlín*; nacieron y vivieron La Condamine (1701-1774), Franklin (1706-1790), Euler (1707-1783), Buffon (1707-1788) y Linneo (1707-1778); Halley escribió el *Tratado de los cometas* (1710); se utilizó por primera vez el carbón de coque en la *metalurgia del hierro y del acero*, y Fahrenheit inventó el *termómetro de mercurio* (1714).

De otro lado, en la historia del s. XVIII no puede dejar de considerarse la memoria colectiva y compleja de la Revolución Francesa, en lo que tuvo de participación en los cambios políticos, económicos y sociales de la época, y, entremezclados con ellos, los temas de la ciencia, de los científicos y de sus instituciones. Y sobre este telón de fondo sobresalió la figura de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), miembro de la Academia de Ciencias de Francia a los 25 años y artífice central de la *gran revolución de la química*. Los años 1785 a 89 marcaron el desplazamiento definitivo en la historia de la química moderna. El 28 de junio de 1785 leyó Lavoisier en la Academia de Ciencias la comunicación «*Réflexions sur le Phlogistique*», ataque más a la teoría del flogisto que a la obra del patriarca de la química Stahl, cuyos descubrimientos y observaciones sobre la calcinación y la combustión de los metales supusieron –en expresión de Lavoisier– una *cierta revolución de la ciencia*. Y Lavoisier puso contra las cuerdas a una teoría que era compartida por todos los químicos de Europa, y puso enfrente su propia teoría rival, a la vez que demandaba a la comunidad científica bajar a la arena de la controversia y elegir entre ambas. Es, sin embargo, obvio, como lo fue al mismo Lavoisier, que el paso del flogisto al oxígeno, fue la conclusión de un proceso histórico que implicó una constante referencia y una comparación con las ideas de una tradición experimental consolidada. Además, Lavoisier estaba firmemente convencido del poder de la extensión semántica del método analítico, que él unió a la reforma entera del lenguaje de la química. Lo describió de esta manera: «*Este método, necesario para el estudio y la enseñanza de la química, está íntimamente conectado con la reforma de la nomenclatura; un lenguaje bien compuesto, un lenguaje de acuerdo con el sucesivo orden natural de las ideas, tiene que ocasionar una inmedia-*

ta revolución en los métodos de enseñanza; no permitirá a los profesores de química desviarse de la línea de la naturaleza y ellos tendrán que rechazar la nomenclatura o seguir irresistiblemente la trayectoria delineada».

España y la nueva ciencia

Esta *revolución de la química* atrajo ya a la incipiente política científica de otros países para llevar a cabo en Francia ampliación –quizás mejor iniciación– de estudios sobre la química, comenzando ya a hacer uso de los hábitos establecidos en la práctica moderna del ejercicio de la ciencia internacional. Y fue así, por ejemplo, como la *revolución científica de la química*, parte fundamental de los estudios sobre la naturaleza, pudo encontrar en España, ya a finales del s. XVIII, un ambiente ciertamente propicio para su desarrollo. Ambiente al que contribuyó sobre todo, de un lado, la política de la nueva Corona Borbónica de formación en instituciones extranjeras de renombre, principalmente en Francia, de jóvenes científicos españoles; y, de otro, el reclutamiento de científicos y técnicos extranjeros para la dirección de explotaciones mineras e industriales, o para el ejercicio de la docencia en España. A ambas acciones centrales de una inicial política y sociología de la ciencia se uniría la intensificación de la creación de *sociedades científicas, gabinetes, laboratorios*, etc. Conjunto de acciones que, como hoy es bien sabido, actúan cooperativamente en el fortalecimiento del ejercicio de la ciencia. Este nuevo orden científico de la Corona se integraba en el nuevo orden político y en el nuevo orden social como un ingrediente de prestigio y de poder en la institucionalización del nuevo Estado; sin olvidar la importancia que esta política científica tuvo en las relaciones políticas y económicas con los países americanos.

Entre los ejemplos más notables de esta identificación política y social con la nueva ciencia, figura Ramón María de Munibe, hijo del Conde de Peñafiorida y fundador de la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País y del Seminario Patriótico de Vergara; siguió un curso de química en París con Rouelle –el maestro de Lavoisier–, estudió luego en Upsala y otros lugares de Suecia, y fue en 1772 el primer alumno español de la famosa Escuela de Minas de Freiburg, a la que después asistirían los hermanos Elhuyar, del Río y más de una veintena de otros químicos españoles. Carbonell estudió en Montpellier con Chaptal; Aréjula lo hizo en París con Fourcroy, gran divulgador de la teoría antiflogística de La-

voisier; y Garriga y San Cristóbal lo hicieron con Vauquelin, descubridor de muchos productos naturales. Juan José y Fausto Elhuyar siguieron estudios en París en aquellos años de la revolución de la química y viajaron por Europa formando parte del *servicio de inteligencia científica* de Carlos III. Al lado de la participación global del Gobierno en el desarrollo de la ciencia, no era difícil identificar en este conjunto de acciones las particulares de las *relaciones internacionales*, la *movilidad de los científicos*, la *traducción* de buen número de obras extranjeras famosas, la aparición de *revistas nacionales*, el *fomento de la industria* y en particular de la minería, la *transferencia de tecnología*, la conexión *investigación-industria*, las *repercusiones económicas de la investigación*, la participación de la *iniciativa privada*, la atención al *equipamiento instrumental* y la selección de los *temas prioritarios*.

Ejemplos evidentes de la *aceptación política* de la institucionalización de la ciencia en España en el seno de las actividades públicas del Estado en el s. XVIII. Aceptación política general que se tradujo lógicamente en acciones particulares como la creación del *Jardín Botánico* de Migas Calientes por Fernando VI en 1755, y después, en 1774, convertido por Carlos III en el *Jardín Botánico* del Paseo del Prado; y, en 1776, la del *Real Gabinete de Historia Natural*. Lo que, habida cuenta de la fantástica naturaleza americana, se tradujo en una serie de *expediciones* que si, ciertamente, contribuyeron a crear una nueva época en las relaciones de la Corona con los países americanos, no pudieron dejar de estar presentes en el naciente *espíritu científico*, hecho realidad en la Química, las Ciencias Naturales y la Medicina del último tercio del s. XVIII. Tres fueron las más importantes expediciones que estudiaron la flora americana durante esta época, y, en mayor o menor medida, penetraron en el s. XIX: la *expedición botánica del Perú* (1777-1815), la *expedición botánica de Nueva Granada* (1783-1816) protagonizada por José Celestino Mutis, y la *expedición botánica a Nueva España* (1787-1803) que, dirigida por Martín Sessé, siguió los pasos de la que, dos siglos antes, enviada por Felipe II, había realizado Francisco Hernández (1571-1577). *Expediciones científicas*, complicadas en su planificación y organización y costosas en sus dotaciones, que, calificadas de botánicas y sin responder a un modelo uniforme, cumplieron un conjunto de variadas actividades de índole tecnológica —de minas y pesquerías, sobre todo—, iniciativas científicas e instituciones universitarias, económicas, antropológicas e, indudablemente, políticas. Y ya en la iniciación del s. XIX, la *Real Expedición filantrópica de la vacuna*, fue una singular demostración del impacto que la *nueva ciencia* hubo de causar en la cadena de transmisión que supu-

sieron indudablemente las expediciones. La importancia política y social de este tipo de actuaciones científicas se recoge en el siguiente fragmento de la cédula que otorgaba la protección real a la expedición de Nueva Granada y señalar como principal objetivo: «*el examen y conocimiento metódicos de las producciones naturales de mis dominios de América, no sólo para promoverlos progresos de las Ciencias físicas sino también para desterrar las dudas y alteraciones que hay en la Medicina, tintura y otras artes importantes, y para aumentar el comercio y que se formen herbarios y colecciones de productos naturales, describiendo y delineando las plantas que se encuentran en aquellas mis fértiles provincias, para enriquecer mi Gabinete de Historia Natural y Jardín Botánico de la Corte, remitiendo a España semillas y raíces vivas de las plantas y árboles más útiles, señaladamente de las que se empleasen o merezcan emplearse en la Medicina y en la construcción naval, para que se connaturalicen en los varios climas conducentes de esta Península, sin omitirlas observaciones geográficas y astronómicas que se puedan hacer de paso en adelantamiento de estas ciencias*». Se intentaba asegurar, pues, la coordinación entre las intenciones de las instituciones peninsulares y las de las expediciones. Coordinación que, hasta entrado el s. XIX, ejerció un amplio protagonismo científico, docente, cultural y profesional, tanto a escala de la política científica nacional como internacional.

También será importante considerar la singular posición epistemológica que la química, autónoma de la producción artesanal, ocupaba en las últimas décadas del s. XVIII. Así, en la «*Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers*» (1751-1772), la famosa *Enciclopedia* de Diderot, el artículo «*Química*», a cargo del químico y médico Gabriel-François Venel, alumno del patriarca de la química Hilaire Rouelle, aparecido en el tercer volumen, en 1753, estableció por primera vez su múltiple identidad como aglutinador de conocimiento científico, de filosofía y de política. En el mismo año de 1753, Diderot llevó a cabo un análisis semejante en los «*Pensées sur l'interprétation de la nature*» en el que aboga por que los que piensan se dignen asociarse a los que actúan, los que tienen *muchas ideas y ningún instrumento* aprendan a colaborar con los que tienen *muchos instrumentos y pocas ideas*; y en el que denuncia el menosprecio que los que piensan demuestran hacia los que aprenden a partir de la experiencia. El mismo Diderot, en los «*Principes philosophiques sur la matière et le mouvement*», señaló en 1770: «*¡Qué me importa que consideréis la materia homogénea o heterogénea! ¡Qué me importa que, haciendo abstracción de sus cualidades y limitandoos a su existencia, la consideréis én reposo! ¡Qué me importa que, como conse-*

cuencia, busquéis la causa de su movimiento! Haréis de la geometría y de la metafísica lo que os plazca; pero yo, que soy físico y químico, que tomo los cuerpos de la naturaleza y no de la imaginación, compruebo su existencia, su diversidad, los veo dotados de propiedades y de acción, agitándose en el Universo como en el laboratorio (..) Para que la materia entre en movimiento, se dice también, precisa una acción, una fuerza; si exterior a la molécula o inherente, esencial, íntima a la molécula, que constituya su naturaleza de molécula ígnea, acuosa, nitrosa, alcalina, sulfurosa (..) La fuerza que actúa sobre la molécula se agota; la fuerza íntima no es agota jamás. Es inmutable, eterna». Estos sentimientos de Diderot no eran sino un reflejo de la pasión por el objeto y las singularidades de la química; reconocimiento, en primer lugar, de su incorporación a la cabeza de la ciencia moderna; exaltación, en segundo término, de los secretos y las leyes de la naturaleza; y venganza, seguramente también, del menosprecio y los ridículos sociales de la época alquimista. Tampoco hubo que esperar demasiado, y quizá no fuera difícil imaginarlo, para ver a la química, ya en los comienzos y a lo largo del s. XIX, modelo de ciencia positiva –en torno al cual se articulan la ciencia pura y sus aplicaciones– vanagloriarse de ser una ciencia autónoma y desinteresada, fiel a sus inquietudes y planteamientos racionales, aunque para ello tenga desde entonces que mantenerse en el filo de la navaja que pueda deslindar la independencia de sus aplicaciones y su sometimiento a los intereses sociales y económicos.

Y es muy posible que a estas circunstancias no fueran ajenos los descubrimientos de elementos químicos realizados por españoles en esta época –y nunca más repetidos ni en nuestra historia ni en la del sistema periódico de los elementos químicos–: el *wolframio* por los hermanos Elhuyar; el eritronio –más tarde rebautizado como *vanadio*– por Andrés Manuel del Río, y el *platino* por Ulloa cuando participaba en la expedición hispanofrancesa de La Condomine.

Ejemplos también que añadir a los ya mencionados de la misma época y considerados como de una marcada *aceptación política* de la ciencia en España. Todo lo cual ni es tan obvio, ni tan fuera de lugar en nuestra búsqueda de la *comprensión pública*. No es tan obvio, porque no hubo sino que esperar unos cuantos años, entrar en el s. XIX, y observar dónde estaban los acontecimientos semejantes y las referencias críticas de lo sucedido; tampoco tan fuera de lugar, porque pareciera que esta *aceptación política y sus acciones* correspondientes constituyen una etapa imprescindible a la *educación en la ciencia*, a su *difusión y popularización*, y, por ende, al grado de su *comprensión pública*.

No era, en efecto, tan obvia la *aceptación política* cuando los materiales de todas las expediciones se vieron sujetos a los mismos avatares y, de igual manera, se dispersaron y pignoraron. Entre sus variadas causas, el superior empeño de Francia por el aislamiento de los productos naturales, y, con la gran tradición química de Francia, su extraordinario interés por el análisis y la determinación de las estructuras químicas, y la aplicación de los productos de interés farmacológico. Además, porque esa *aceptación* exigía ya entonces una política de la ciencia con una concepción añadida a la de las prácticas tecnológicas al uso en las explotaciones mineras; obligaba a otro tipo de tratamientos, distintos de aquellos de las expediciones ultramarinas y a superar el simple inventario de la naturaleza, con predominio del espíritu coleccionista, exaltador de la naturaleza; y se imponía la interacción multidisciplinar, esencial a la evolución del conocimiento, ya en marcha en Europa, principalmente entre las nuevas ideas y métodos de la química orgánica y la biología. Y así, cuando cada día se descubría una nueva molécula de las plantas, nuestra distancia con la ciencia de otras naciones europeas continuó incrementándose a lo largo del s. XIX, de tal manera que uno de nuestros mejores representantes en estos campos, Rodríguez Carracido –Rector de la Universidad Central y Presidente de la Real Academia de Ciencias entre 1922 y 1928– ha dejado escrito: «Desde el año 1887 hasta 1901 ¡durante catorce años! Se explicó la *Química Biológica* como si fuera *Metafísica* (..) Al encargarme de esta enseñanza sólo disponía de una silla para la exposición oral de las pláticas de *Química Biológica*, careciendo de todo elemento de trabajo».

Bastarán seguramente estos cuantos detalles que, aunque desviados un tanto del esquema central del argumento, serán válidos para nuestra particular consideración a la hora de medir los múltiples esfuerzos realizados por España, en la segunda mitad del s. XX, en pos de la reincorporación científica a la marcha europea.

La Gran Ciencia Europea y Mundial Introducción

Iniciada en el s. XVII la ciencia moderna, cabe destacar, durante los siglos siguientes, la notable presencia europea en la *revolución industrial*, en la gran *química orgánica* del s. XIX, y en el formidable *desarrollo de la física* en el s. XX; hechos que figuran a continuación muy resumidamente.

Tres tipos de factores dieron lugar en el s. XVII al lanzamiento de la *ingeniería* y el *diseño*, y, luego, a la *industrialización*. En primer lugar, la naturaleza de la *ciencia contemporánea* y, en particular, la fundación de la *Royal Society* en 1660 con la intención baconiana de hacer la ciencia aplicable a la tecnología, aunque por siglos marcharan por caminos y constituyeran mundos independientes; si bien, después, la ciencia habría de contribuir eficazmente a la instrumentación y a la medida como ingredientes fundamentales del nuevo *método experimental*. En segundo lugar, el predominio de las pequeñas compañías deseosas de mejorar sus actividades rutinarias y de conseguir un aumento de escala. En tercer término, la *mecanización* de la época como paradigma de la emergente tecnología y la posibilidad de operar sobre bases continuas.

Bajo estas premisas, fue aún en la última década del s. XVII (1690) cuando Papin comenzó el desarrollo de las *máquinas de vapor* y, con ello se pudo, de un lado, instalar el *maquinismo* como condición precisa de la industrialización, y, de otro, dar lugar al nacimiento de la *ciencia aplicada* en íntima relación de reversibilidad con la *ciencia pura*. Y, pocos años después, en 1709, se utilizó por primera vez el coque en los altos hornos, para que, en la década 1712-22, Réamur estudiase la composición del acero y la conversión hierro-acero. En 1735 tuvo lugar la primera *extracción de petróleo*; en 1747 se comenzaba la *producción industrial de ácido sulfúrico*; y en 1790 Leblanc desarrolló el proceso de fabricación artificial de la sosa. A finales del s. XVIII se empleaba la primera locomotora de vapor por carretera (1797), se desarrolló una máquina para la fabricación de papel (1798) y la primera prensa de imprimir metálica (1800), y Watt fabricó más de 300 máquinas en Inglaterra y el resto de Europa. Ya entrado el s. XIX se fundaron las acerías Krupp (1811), se industrializó el telar (1811), se introdujo la locomotora de vapor sobre raíles metálicos (1814), se comenzó la fabricación industrial del jabón (1823), y se instaló en Inglaterra la primera línea de ferrocarril pública (1825).

Y sin que, como prueba de la gran cultura integrada, deba dejarse constancia de que en la misma época, en la década de los 50, se publicó *Madame Bovary* de Flaubert; en la década de los 60 *Los miserables* de Victor Hugo; en los 70 *Una temporada en el infierno* de Rimbaud; en los 80 *Los hermanos Karamazov* de Dostoievski; y en los 90 *Cirano de Bergerac* de Rostand. De puertas adentro y en estas mismas décadas, la espléndida transición entresiglos de nuestra literatura se hizo bien patente en *La Regenta* de Clarín, *Pepita Jiménez* de Valera, *Misericordia* y *Tristana* de Galdós, y *Los Pazos de Ulloa* de Pardo Bazán.

Durante el s. XIX se introdujo una separación entre *ciencia pura* y *ciencia aplicada*, un tanto arbitraria y ligada a las divisiones artificiales del conocimiento que dieran lugar al aislamiento administrativo de las disciplinas científicas, e intentando ignorar los mutuos orígenes y sus fuertes conexiones. Si la *ciencia pura* ha tenido frecuentemente un origen industrial y se ha tenido siempre que servir de los métodos instrumentales soportados por la tecnología, la *ciencia aplicada* ha gozado de idéntica lógica, y los mismos métodos y razonamientos de la ciencia académica. Cada vez, por otro lado, se interpenetran más ambos conceptos y se distancian menos en el tiempo, lo que tiene cierta importancia al objeto de la integración social de la ciencia a través de su uso tecnológico. Así, en cuanto al tiempo transcurrido desde un descubrimiento científico hasta su empleo práctico y plenitud social, fueron necesarios 112 años para la fotografía, 56 para el teléfono, 46 desde la síntesis bruta del ácido acetilsalicílico por el francés Gerhardt (1853) a la fabricación industrial de la aspirina por la Casa Bayer (1899); 35 para la radio; 15 para el radar; 6 para la bomba atómica; 5 para el transistor, 3 para los circuitos integrados; y solamente unos cuantos meses para la utilización de las enzimas de restricción en la tecnología biológica del DNA-recombinación y en una gran colección de usos biotecnológicos.

En las últimas décadas del s. XIX se fundaron abundantes sociedades para la investigación industrial, dedicadas a la producción de electricidad, hierro y acero, fertilizantes, azúcar, productos farmacéuticos, colorantes y petróleo. Así, datan, de 1875, la creación de *Pennsylvania Railroad*; de 1876, la *Menlo Park* de Thomas Edison; de 1886 la *Estmann Kodak*; de 1889, la *Standard Oil*; de 1890, la *Du Pont de Nemours*; de 1900, la *General Electric*, en Shenectady; y de 1903, la *Westinghouse*. Esta creación de empresas de investigación industrial en los Estados Unidos de América ya en esta época, sin un soporte previo significativo de aportaciones básicas originales en los campos de la física o de la química, supondría la iniciación de un doble tratamiento –comercial y científico– que habría de ser pieza clave en la rápida e impresionante presencia americana en la ciencia y la tecnología del s. XX. Y en las mismas décadas, tuvo lugar la I Convención internacional de patentes (1879) y se crearon la *Sociedad* matemática de Nueva York y el *National geographic magazine* de Nueva York (1888), y la *Sociedad* americana de geología (1889). Comenzaba, pues, la inquietud científica y comercial americana que comenzó a dar respuestas a las interrogantes de la investigación industrial.

En la historia de esta *conjunción* científico-económica en los Estados Unidos, hay que señalar la presencia de otros factores decisivos, al esti-

lo de la aparición de áreas especiales, las variadas exigencias de una *re-conversión industrial*, y la presencia de capital riesgo. Conjunción empresarial *científico-económica*, fundamentada en el interés que muestran sus orígenes con la presencia y la fe del capital en su propia ciencia, y en la conexión permanente con universidades y centros de investigación como garantía indudable de innovación y, por tanto, de éxito comercial.

Desarrollo de la química

En cuanto al desarrollo de la química orgánica, a lo largo del s. XIX se aíslan y caracterizan en Europa, en Francia principalmente, una colección de alcaloides de origen vegetal. Por ejemplo, la morfina se aisló del opio en 1803 por Derosne; la *quinina* de las cortezas de los árboles de la quina, y la *colchicina* de los bulbos de *Colchicum autumnale*, en 1820, por Pelletier y Caventou; la cafeína del café, en 1820, por Runge, y Pelletier y Caventou; la *nicotina* y una docena de bases más de las hojas del tabaco *Nicotiana tabacum*, en 1828, por Posselt y Reimann; la *codeína* del opio, en 1832, por Robiquet; la atropina y sus derivados de la belladona, *Atropa belladonna*, en 1833; la *tebaína* del opio, en 1835 por Pelletier; la cocaína de las hojas de *Erythroxylon coca*, en 1860, por Niemann; la ergotamina y otros derivados del ácido lisérgico del hongu *Claviceps purpurea*, en 1875, por Tanret; la *efedrina* de diversas especies del género *Ephedra*, en 1887, por Nagai; y la pilocarpina de las hojas de jaborandi, *Pilocarpus jaborandi*, en 1875, por Gerard y Hardy.

La segunda mitad del s. XIX contempló el lanzamiento definitivo de la química orgánica: el modelo de Kekulé, la resolución del problema de la posición de los sustituyentes con Bayer y Fittig, y la gran versatilidad de los *fenómenos* de condensación conducentes a los nuevos compuestos orgánicos de síntesis. Todos ellos fueron los pilares sobre los que se edificó el impresionante desarrollo de la química orgánica del s. XX, y, por tanto, de la gran serie de productos naturales y de síntesis sobre los que se ha construido la moderna farmacología.

En su totalidad, la ciencia tuvo en gran desarrollo en esta segunda mitad del s. XIX. Así, tuvo lugar el gran desarrollo de la síntesis orgánica por Berthelot (1860), y la síntesis de productos naturales como la del índigo por Bayer (1879). En esta segunda mitad, Pasteur disputó con Pouchet sobre la *generación espontánea* (1861); se descubrió el *hombre* de Neanderthal (1856); Maxwell diseñó la teoría *dinámica de los campos* electromagnéticos (1864); Nobel descubrió la *dinamita* (1866); Mendel in-

vestigó sobre la *hibridación* de las plantas (1865); Solvay describió un procedimiento para la fabricación de la sosa (1863); en 1869, Mendeleiev agrupó los elementos químicos en la tabla periódica; Golgi estudió las fibras nerviosas (1873); con Le Bell y Vant'Hoff se iniciaron los estudios sobre la estereoquímica y la química molecular (1874); en 1877, Boltzmann estableció la teoría cinética de los gases; durante los años 1880-2, Charcot descubrió las *enfermedades del sistema nervioso*, Pasteur obtuvo la vacuna contra el *carbunco*, y Koch descubrió el bacilo de la tuberculosis; en 1885, Pasteur curó a J. Meister de la rabia; y Behring y Kitasato obtuvieron un suero *antitetánico* (1890). En 1895, Röntgen descubrió los rayos X, y, al año siguiente, Becquerel lo hizo de la *radiactividad*; y, antes de concluir el siglo, se desarrollaron la teoría de los *conjuntos* de Cantor y los cuerpos de *Hilbert*, las funciones abelianas de Appel, el análisis *funcional* de Volterra, el cálculo tensorial de LeviCivita, la lógica matemática de Frege y los nuevos métodos de la mecánica celeste de Poincaré; se descubrieron el efecto Zeeman, la licuación del *hidrógeno* por Dewar, las *radiaciones* α y β de Rutherford, y la medida de la relación carga/masa del electrón por Thomson.

Desarrollo de la biología y la medicina

Esta segunda mitad del s. XIX constituyó un periodo especialmente brillante en las ciencias básicas de la Biología, incluida la humana, merced sobre todo a la hibridación lograda entre la química orgánica y la fisiología. A ello contribuyeron de forma singular Claude Bernard en Francia y Justus von Liebig en Alemania. Ambos hicieron posible la vinculación de la química, sus principios y herramientas, a los fenómenos de la vida; ambos fueron el origen de la extraordinaria nómina de científicos que se aplicaron en Europa a estos problemas. Las escuelas francesa y alemana, por este orden, sacaron indudable ventaja a la inglesa; y en cualquier caso, fueron los modelos europeos los que vieron nacer, a su semejanza, la fisiología americana. Con estos antecedentes, la patología pudo comenzar a interpretarse en la segunda mitad del s. XIX en los mismos términos químicos y biológicos que la fisiología. Así nació la fisiopatología, y así nacieron numerosas situaciones interdisciplinarias, al estilo de la patología celular y la anatomía patológica. En la misma época, la nueva microbiología permitiría uno de los logros más brillantes en este campo: la etiología basada en las ciencias de la naturaleza. Todo ello dio lugar a que la *investigación* de laboratorio fuera la principal fuente de la ciencia médica y el fundamento de la práctica clínica en el últi-

mo tercio del s. XIX. Investigación que se vio reforzada por el inicial desarrollo en la misma época de la *bacteriología* y la *inmunología*.

La Perspectiva española

La visión crítica con que hoy contemplamos aquella época española, ya era bien patente dentro de ella. En este sentido se expresó don Cipriano Segundo Montesinos, Duque de la Victoria, miembro de la Real Academia de Ciencias durante la segunda mitad completa del s. XIX y Presidente de la Institución en las dos décadas finales del siglo (1882-1901), con motivo de su contestación al discurso de don Práxedes Mateo Sagasta, en 1897: «...cuando nuestros Gobiernos se afanaban solícitos y generosos por restaurar y fomentarlos estudios en España, sorprendiéndonos este tumultuoso y en todos sentidos agitadoísimo siglo XIX, en cuyo primer tercio bastante hicimos con lograr salvarnos de la borrasca política y administrativa que en contra nuestra muy en sus albores se desató, y que en diversas ocasiones nos puso muy a punto de perecer, y amagó concluir más de una vez con la personalidad y la vida de la nación española». Y si, en efecto, bastante hicimos con salvarnos de la borrasca política, la ciencia, la técnica y la misma universidad lograron descender hasta confundirse con el ruido de fondo social de las décadas centrales del siglo.

De todas maneras, este espíritu crítico de unos cuantos personajes de la ciencia fue capaz de sembrar una cierta inquietud por un despeque de ese ruido de fondo al que nuestra ciencia y nuestra técnica permanecían adheridos. Inquietud crítica puesta de manifiesto nuevamente por Rodríguez Carracido, en sus *Estudios histórico-críticos de la ciencia española*. Entre sus numerosos comentarios, bien merece subrayarse uno por su permanente vigencia: «La idea de la inexcusable colaboración del medio social es la que conviene inculcara todas las clases de nuestra patria para que presten su concurso al cultivo de la ciencia, y así cuando florezca y fructifique podrán llamarla suya».

La Ciencia en el Siglo XX

Tras el descubrimiento de los rayos X vino el de las sustancias radiactivas por Becquerel (1852-1908) y el de los nuevos elementos *polonio*

y radio por Pierre (1859-1906) y María Curie (1867-1934). Y a la vez se fueron estudiando las *radiaciones ionizantes* que emiten. Ernest Rutherford (1871-1937), en 1899, distinguió los rayos α y los rayos β ; y Villard, en 1900, los rayos γ . Los rayos β fueron muy pronto identificados como electrones iguales a los descubiertos por J.J. Thomson (1856-1940). En 1903, Rutherford y Soddy (1877-1956) concluyeron que la emisión de las radiaciones α o β por un átomo lleva consigo su conversión en un elemento químico distinto; proceso que termina cuando la desintegración da lugar a un átomo no radiactivo. Consecuencia de todo ello fue la formulación en 1911 de la hipótesis atómica de Rutherford, que se vio confirmada posteriormente, y sobre la cual, en 1913, Niels Bohr (1885-1962) propuso la teoría del átomo de hidrógeno, mezcla de física tradicional y de elementos cuánticos. Los espectros de rayos X, estudiados en 1913 por H. Moseley, confirmaron el modelo de Rutherford y la teoría de Bohr. Su desarrollo y generalización fue obra de A. Sommerfeld (1868-1951) en 1915, al proponer las condiciones generales de cuantificación. Al año siguiente, 1916, Einstein expuso la *teoría de la relatividad general*.

A partir de 1925, los fenómenos atómicos se describieron mediante un nuevo cuerpo de doctrina, la *mecánica cuántica*, desarrollada por dos vías diferentes: la de Werner Heisenberg (1901-1976) a partir del *principio de correspondencia* y la *mecánica de matrices*; y la de Louis de Broglie (1892-1987), basada en la extensión a la materia de la *dualidad onda-corpúsculo*. A partir de esta idea, Erwin Schrödinger (1887-1961) creó, en 1926, la *mecánica ondulatoria*. Cuando intentaba encontrar el contenido intuitivo de la mecánica cuántica, Heisenberg descubrió, en 1927, el *principio de indeterminación* que impide determinar con precisión la posición y la velocidad de un electrón. Desde entonces, la *mecánica cuántica* ha sido aplicada con éxito a innumerables problemas relativos a átomos, moléculas, núcleos atómicos y partículas elementales. Las partículas que se describen mediante funciones de onda simétricas o antisimétricas son, respectivamente, los *bosones* –en honor de Satyandra Nath Bose (1894-1974)– y los *fermiones* –en honor de Enrico Fermi (1901-1954)–; y las formas de tratar estadísticamente estas partículas se refieren, respectivamente, como estadísticas de *Bose-Einstein* o de *Fermi-Dirac*.

Cuando en la década de los 20, el advenimiento de la *mecánica cuántica* supuso el desmoronamiento de uno de los más viejos y firmes pilares de la ciencia –con la caída de la causalidad, el determinismo y hasta la simple visualización de las piezas elementales de la naturaleza–, se tenía la sensación de que la ciencia había alcanzado un nuevo nivel de abstracción, próximo al mundo abstracto de las ideas en el arte. Y al lado de

este movimiento estrictamente europeo, también Europa conoció el nacimiento, a finales del s. XIX, de la *Gran Ciencia* con el Instituto Imperial de Física y Tecnología (Physikalisch-Technische Reichsanstalt), a tres kilómetros de la Puerta de Brandeburgo, merced a los esfuerzos económicos de Werner von Siemens y bajo la presidencia de Hermann von Helmholtz (1821-1894). De esta manera, en 1887, este Instituto fue el primero que cumplió una misión de normalización de instrumentos físicos, catorce años antes de la fundación en los Estados Unidos del Nation al Bureau of Standards.

El enigma de la composición de los núcleos atómicos se resolvió en 1932 con el descubrimiento de los previstos *neutrones* por James Chadwick (1891-1974), lo que culminó un laborioso proceso experimental en el que intervinieron alemanes –Bothe y Becker–, franceses –el matrimonio Joliot-Curie– e ingleses del laboratorio de Rutherford. Las reacciones nucleares producidas por los neutrones fueron estudiadas con detalle, en 1934, en Roma, por Fermi. Entre las reacciones nucleares producidas por los neutrones destaca, por su importancia económica y militar, la *fisión del uranio*, descubierta en 1938 por Otto Hahn (1879-1968) y Fritz Strassmann (1902-1980). Dada la gran cantidad de energía que se desprende en la fisión del uranio, se pensó inmediatamente en la posibilidad de encadenar las fisiones para conseguir la fisión de todos los núcleos de un trozo de uranio. La tarea de conseguir una reacción en cadena resultó más difícil de lo esperado porque, de los dos isótopos más abundantes del uranio, sólo el ^{235}U –que se encuentra en una proporción baja, del 0.7 por ciento– se fisiona por neutrones de cualquier energía, en tanto que el otro isótopo, ^{238}U , absorbe fuertemente los neutrones por debajo de una cierta velocidad. El equipo de Joliot y sus colaboradores Hans Halban y Lew Kowarski, del Collège de Francia, en 1940, previeron la posibilidad de provocar una reacción en cadena que abriría el camino hacia nuevos descubrimientos científicos y hacia una nueva técnica para producir energía en cantidades ilimitadas. Ocurría, sin embargo, que en un bloque de uranio metálico natural, la reacción en cadena no se producía; pero, si como ideó Fermi en Chicago, en 1942, las barras de uranio se disponían entre bloques de grafito, la reacción en cadena se conseguía mantener. El reactor del Laboratorio Metalúrgico de Chicago contenía 400 toneladas de grafito, 6 toneladas de uranio metálico y 58 toneladas de óxido de uranio; y en él tuvo lugar la primera reacción en cadena automantenida de la historia el 2 de diciembre de 1942.

En la década de los 30 se habían cumplido grandes progresos en las técnicas experimentales, que transformaron la *física nuclear* en una em-

presa técnica e industrial de una envergadura gigante tanto en sus aspectos económicos como tecnológicos. Buscando instrumentos capaces de suministrar cada vez mayor energía a partículas atómicas para que estas pudiesen chocar con los núcleos atómicos y averiguar la estructura de los distintos elementos, los físicos británicos primero y después los americanos abrieron la puerta de la *Gran Ciencia* a las técnicas de la física nuclear. En pocos años se perfeccionaron los contadores Geiger-Müller y nacieron los *aceleradores de partículas*. Primero fue el *acelerador RC en cascada* –Cockcroft y Walton, 1932– que utilizaba un multiplicador voltaico que alcanzaba los 125 000 voltios para observar la desintegración de los átomos de litio; luego el *generador Van der Graff*, en 1933, producía energías de 5 millones de voltios; y el *ciclotrón* de Lawrence, en 1932-3, fue el primer instrumento de la gran ciencia en la *física de partículas elementales*. Estos primeros aparatos nucleares podían caber en una habitación de tamaño mediano y acelerar partículas hasta unos pocos MeV. Así, en 1932, Lawrence puso en funcionamiento su primer ciclotrón de unos 30 cm de diámetro, que alcanzaba el millón de voltios. En 1939, se construyó en Berkeley un ciclotrón de 150 cm de diámetro, en el que los electrones podían alcanzar una energía equivalente a 16 MeV. En 1940, la Fundación Rockefeller donó \$1.4 millones para la construcción de un ciclotrón de 45 cm de diámetro. Dato interesante en la comparación con el proyectado *acelerador SSC –Supercolisionador Superconductor–* a construir en Texas, según un túnel subterráneo de 86 km de perímetro para estudiar colisiones de protones a 40 millones de MeV, con un proyecto de presupuesto de \$8 millardos.

Para que la energía de una reacción en cadena se desprenda súbitamente es preciso disponer de ^{235}U puro o de otra sustancia con propiedades análogas, como el 131% que se produce en los reactores nucleares por transmutación de ^{238}U con neutrones. Ambos métodos se utilizaron en las dos bombas atómicas lanzadas sobre Japón en agosto de 1945. Y como señala Schwarzenberg *«la humanidad presencié la terminación de una época que va desde Demócrito a Gandhi, desapareciendo en la millonésima parte de un segundo»*. Momento este que ha marcado en la reciente historia de la ciencia el punto de inflexión más importante de la confianza pública en el progreso científico.

Momento este que, efectivamente, marca el final del periodo de investigación *«pura»* en física nuclear, a partir del cual la ciencia nuclear se acompaña de situaciones políticas, militares y sociales, impensables en todas las grandes etapas anteriores de la evolución del conocimiento científico. Desde este momento, la ciencia y la técnica se hicieron im-

prescindibles para las armas de vanguardia y, por tanto, para el ordenamiento tecnológico y militar: los cohetes balísticos, el armamento nuclear, el radar, los ordenadores, la teledirección, la biotecnología militar, etc. Señala también esta época un punto de inflexión trascendental en el ordenamiento social de la ciencia. Si durante las etapas que dieron lugar a la *revolución cuántica* y a la *revolución relativista*, la ciencia tuvo un asiento total europeo, en los años que antecedieron a la II Guerra Mundial y durante el medio siglo siguiente gran parte de la elite de la ciencia mundial se acogió a la libertad política y al engrandecimiento económico de los Estados Unidos, con lo que cambió por completo el escenario en el que habían de surgir las nuevas ideas de la ciencia y de la técnica. Fueron primero los emigrantes judíos que huían del nazismo, entre los que se encontraba una formidable selección de la física centroeuropea, los que llevaron a los Estados Unidos la mejor siembra de la ciencia europea; y después de la guerra, el biendo de la devastación y el empobrecimiento europeos aventaron hacia América las elites científicas de los nuevos campos de la física y la biología.

La historia de la aplicación militar de la fisión nuclear –y, por tanto, la historia del proyecto Manhattan–, de la separación de isótopos, de la reacción en cadena de la pila de uranio enriquecido en ^{235}U , de la moderación de neutrones, de la metalurgia del uranio, de la producción de plutonio a gran escala, de la construcción de reactores atómicos autosostenidos, y de muchos otros campos de la física nuclear americana, está llena de nombres de científicos europeos –entre otros muchos, los de Fermi, Teller, Weisskopf, Wigner, Peierls y Bethe– y también de formidables proyectos tecnológicos, adaptados o creados de novo, sin los que no hubiera sido posible llevar a buen fin ni el proyecto Manhattan, ni tampoco los desarrollos que van desde los computadores, el radar, el máser y el láser, hasta las diferentes versiones del inicial proyecto conocido como la iniciativa de defensa estratégica, transformado recientemente en el escudo antimisiles.

A propósito de estas consideraciones no deja de ser interesante observar, de un lado, la indiscutible presencia de la ciencia europea –quiere decir de los científicos europeos– en la elaboración de la singular política de la ciencia de los Estados Unidos de América a partir del segundo tercio del s. XX. Y de otro, y dentro de esta política, tanto la facilidad con que la ciencia básica y sus aplicaciones ejercen una inmediata influencia mutua, traducida en la rápida respuesta de creación de nuevos Centros de Desarrollo –el formidable «Radiation Laboratory» en el *Massachusetts Institute of Technology*, y los mismos laboratorios Bell, por ejemplo–,

como el traspaso insensible entre campos aplicados del conocimiento y de estos con la ciencia fundamental –el proyecto del radar con el descubrimiento del transistor y la física del estado sólido; los láseres y las aplicaciones militares o médicas; la espectroscopía de microondas y los avances en cosmología y astrofísica–.

Entre las aportaciones de una *cosmología* totalmente renovada, sabemos hoy que pertenecemos a un planeta de una estrella llamada Sol, similar a cientos de millones de estrellas que forman nuestra galaxia, la Vía Láctea, y semejante a 14 000 de otras galaxias solo entre las más cercanas; que el tamaño de nuestra galaxia es tal que una luz encendida en un extremo tardaría 30 años en llegar al extremo opuesto; que se ha detectado la presencia de CO en los cuasares, los astros más lejanos conocidos; que se han detectado agujeros negros con dos mil millones de veces la masa del Sol; que el diámetro de las nuevas galaxias se mide por docenas de años-luz; que los modernos telescopios de neutrinos son capaces de detectar dos interacciones al día, mediante reacciones nucleares cloro-argón; que pueda conocerse cómo a los 10-35 s de la Gran Explosión tuvo lugar una expansión del Universo, equivalente a la que experimentara el volumen de un núcleo atómico que alcanzase unas 500 veces la masa del Sol; que conozcamos que los fotones que ahora recibimos proceden de una explosión cuando el Universo tenía solamente 300 000 años; que el satélite COBE (Cosmic Background Explorer) lanzado en 1989, ha probado la anisotropía del Universo; que el proyecto COBRAS-SAMBA, satélite capaz de medir las radiofrecuencias indicadoras del nacimiento mismo del Universo, realizó su primera observación en 1965 por Penzias y Wilson. Y, dentro del Universo, el hombre y la naturaleza de nuestro planeta; y cómo la interacción débil del Universo pudo distinguir entre izquierda y derecha y conferir la helicidad a las moléculas de DNA, al poder ser la simetría la determinante de las clases de fuerza; con la terapia génica como nueva forma de medicina molecular extendida ahora a las enfermedades adquiridas como cáncer, sida y trastornos neurodegenerativos tipo Parkinson y Alzheimer; con los imprevisibles éxitos de las especies transgénicas, animales y vegetales, con propiedades modificadas, como sistemas de producción de materiales humanos y como modelos de enfermedades humanas; con las grandes perspectivas de manipulación de los vectores virales, las vacunas-DNA, la acción inhibidora de los antisentidos, la terapia celular y los biomateriales; con las variadas posibilidades farmacológicas que abren los conocimientos de los nuevos mecanismos de transducción de señales celulares; con la grandiosa eficacia de la manipulación de células sexuales y embriones fecundados *in vitro*; con las nuevas técnicas de las micromatrices de DNA; con los retos del desa-

rrollo y la evolución, de las redes neuronales y la lógica borrosa, de los sistemas de gran complejidad –cerebro, organismo, biosfera y el universo mismo–, de la realidad virtual, la biodiversidad y la nanotecnología con la electrónica molecular como alternativa al silicio. Y como parte de la más rabiosa actualidad, las nuevas áreas de conocimiento –por ejemplo, la *genómica*, la *proteómica* y la *bioinformática*–, nacidas como consecuencia de los proyectos y logros en la secuenciación del genoma humano; y las expectativas, si no inmediatas sí fantásticas, que se abren a la industria biofarmacéutica. Sin dejar de lado las disquisiciones científicas y éticas acerca de la utilización de *células madre* con finalidades terapéuticas o de reproducción, y el campo abierto de la obtención de *células madre* a partir de células adultas sin la necesidad de atravesar por los estadios embrionarios, sede de las principales objeciones éticas. Áreas nuevas construidas sobre la impresionante base de las *ciencias de la computación* y las *computadoras superrápidas* con posibilidades de cálculo de cientos o miles de millones de operaciones por segundo; hechos que han cambiado por completo no sólo las áreas de investigación y los hábitos de los científicos, sino la faz misma de una sociedad globalizada –las comunicaciones, el comercio, el empleo, etc.

Los sistemas de investigación, el descubrimiento y la innovación

En pleno desarrollo conceptual de la ciencia moderna, a finales del s. XVII, tuvo lugar el descubrimiento de la *máquina de vapor*, quizá el mejor ejemplo del comienzo de la nueva era de la *mecanización* tanto como paradigma de la emergente *tecnología*, como condición precisa de la *industrialización* y substrato fundamental del ejercicio de la *ingeniería*. Lo que quiere decir que la creación científica lograda por la *investigación básica* –dirigida tan solo a la ampliación del conocimiento comienza pronto a distinguirse de la *investigación aplicada* –cuya finalidad es la creación de conocimiento útil para el desarrollo de nuevos productos o procesos–; distinción que, a lo largo del s. XX, se va ejemplificando con multitud de nuevos casos. Conocimiento adquirido a través de ambas, *investigación básica* e *investigación aplicada*, y de la experiencia práctica, que puede utilizarse bajo la forma de *investigación de desarrollo* para la innovación creadora de nuevos productos o procesos o la mejora de los ya existentes. Distinción conceptual que, evidentemente, ofrece áreas solapantes y reversibles, y que pudiera hacer pensar que la mejor descripción del proceso de *innovación* podría ser un *modelo lineal* del tipo: *investigación básica*

ca –investigación aplicada-desarrollo. Proceso de innovación, sin embargo, que con gran frecuencia no procede de semejante manera secuencial, ni siquiera unidireccional, y que más bien ofrece una relación compleja e indirecta. Lo que obliga a manejar el *proceso de innovación* en su conjunto; y lo que, a su vez, no quita para que puedan señalarse como características generales de los *avances tecnológicos*:

- el soporte de una rica y muchas veces extraordinaria historia previa de *ciencia básica*, cuyos beneficios son amplios, dispersos y utilizables en campos muy diversos;
- la combinación de sus efectos sobre diversos campos; por ejemplo, los rayos X, las ecuaciones diferenciales y la tecnología de la computación se reúnen en el desarrollo de la tomografía computarizada (TC);
- su empleo en el desarrollo de nuevos descubrimientos básicos por medio de nueva instrumentación o en la propuesta de nuevos avances conceptuales básicos.

Y en cualquier caso un simple análisis retrospectivo puede evidenciar el papel fundamental de la *investigación básica* tanto en el desarrollo de muchas innovaciones tecnológicas como en la favorable repercusión académica, económica y social de los países. El conocimiento de *nuevos mecanismos biológicos* en el metabolismo, la defensa, la replicación viraj, la transducción de señales, el ciclo celular, la apoptosis, etc. ha dado lugar a la identificación de blancos de acción para el diseño de nuevos medicamentos. Los láseres tienen una enorme herencia de investigación básica que ya puso Einstein de manifiesto en 1917 con su teoría de las *emisiones estimuladas*, y con posterioridad las emisiones estimuladas con longitudes de onda cortas y la construcción del primer láser en los laboratorios Belj en 1960; para alcanzar actualmente una enorme gamma de aplicaciones que incluyen la cirugía, las telecomunicaciones, las herramientas de precisión, etc. Los *semiconductores*, descubiertos en 1886 por el químico alemán Clemens Winkler han permanecido durante muchos años como una curiosidad de laboratorio hasta el advenimiento, en 1948, de los *transistores* –desarrollados en los laboratorios Belj por los físicos americanos Walter Brattain, John Bardeen y William Shockley– que, al desplazar a las válvulas de vacío, revolucionaron la electrónica hasta el punto de estar presentes en todos los dispositivos eléctricos imaginables –instrumentos de diagnóstico, radio, televisión, teléfono, ayudas a la navegación aérea, robots, etc.–; desplazamiento posterior de los transistores por los circuitos integrados y los microprocesadores. La *superconduc-*

tividad a altas temperaturas, demostrada en 1986 por los investigadores de IBM Georg Bednorz y Alex Müller, constituyó el comienzo de una carrera de trabajos académicos e industriales, desde la transmisión eficiente de energía a la levitación de los ferrocarriles. Las contribuciones matemáticas del físico Cormack hicieron posible la revolución que en la imagen clínica ha supuesto la tomografía computarizada (CT) de rayos X; aplicación que se ha extendido a la detección de defectos de fatiga en materiales y en conjuntos de microcircuitos electrónicos. La clásica *resonancia magnética nuclear* descrita en 1946 por Felix Bloch, de la Universidad de Stanford, y Edward Purcell, de la Universidad de Harvard, se aplicó inicialmente a la física y a la química analítica; y de la misma manera que en el caso de la CT de rayos X, gracias al empleo de potentes herramientas matemáticas se logra reconstruir la imagen (MRI) que discrimina con precisión entre los diferentes tipos de tejidos y entre los tejidos sanos y los patológicos, y que está logrando hoy el estudio en tiempo real de ciertas *funciones* (fMRI), como las vasculares y las cerebrales; desarrollos que conducen incluso a la localización cerebral de las funciones cognitivas. Las iniciales *aplicaciones industriales y militares del ultrasonido*, de la que fue ejemplo el desarrollo del SONAR utilizado durante la II Guerra Mundial, condujeron en la década de los 50 a la cooperación de ingenieros y clínicos norteamericanos para el desarrollo de *técnicas ultrasónicas diagnósticas* en condiciones normales y patológicas, cuyo especial valor en ginecología y obstetricia fue rápidamente reconocido y es en la actualidad una prueba rutinaria en los controles obstétricos.

Ciencia y Sociedad

Estas y otras muchísimas aportaciones científicas son la causa de la afirmación de Stewart Brand: «La ciencia es lo único noticiable. Cuando uno ojea un periódico o una revista, todos los contenidos de interés humano son el mismo él-dijo-ella-dijo de siempre, la política y la economía los mismos lastimosos dramas cíclicos, las modas una patética ilusión de novedad, y hasta la tecnología es previsible si uno sabe algo de ciencia. La naturaleza no cambia demasiado, la ciencia sí y los cambios se acumulan alterando el mundo de manera irreversible».

Y, de esta manera, la ciencia con todo su bagaje conceptual y metodológico, continúa día a día ganando terreno a lo desconocido; sigue acumulando datos y teorías cuyo valor no puede ponerse en duda; aunque si

quepa preguntarse: ¿es consciente la sociedad de que ella es receptora de la acción de la ciencia?, o lo que es igual ¿se contempla a la ciencia en tanto que producto social?; y, además, ¿en qué medida la cultura de la sociedad, nuestra sociedad actual es capaz de asimilar, o simplemente de tomar noticia de los descubrimientos de la ciencia y la tecnología? ¿relaciona nuestra cultura social la calidad de vida moderna con los hechos de la ciencia fundamental?, ¿es adecuada la alfabetización científica de la sociedad, tanto de la macrosociedad como de sus sectores particulares, en cuanto a la necesaria comprensión para la toma de decisiones políticas relacionadas? ¿intenta compartir la educación científica, al lado de la tradicional cultura literaria, la importancia que ocupa en cualquiera de las actividades de la vida moderna? Interrogantes de las que hay que dejar constancia; de un lado, porque forman parte de la interpretación social de la ciencia y de ese formidable debate epistemológico que dominó las controversias de los últimos años 60 y 70, con la participación de la escuela de Francfort y las tesis un tanto iconoclastas y provocadoras de Lakatos y Feyerabend; y de otro, porque constituyen un importante ingrediente de la moderna investigación de las ciencias sociales.

Es inevitable al llegar a este punto dejar constancia de cómo esa inocente imagen de la ciencia se ha visto alguna vez enturbiada por circunstancias como aquella de la que surgió la sentencia del filósofo Passmore: «*los físicos han conocido el pecado*». Lo cierto es que, de vez en cuando, se alivian los grandes entusiasmos por la ciencia y se suscitan inquietudes y desconfianzas lógicas, ante, por ejemplo, el posible asalto a las libertades individuales y a la ética social por las manipulaciones informáticas y genéticas. Desconfianzas y hasta peligros que, mucho más que las complacencias y los éxitos, exigen una renovada conciencia cultural de la sociedad. Aquella a la que se refiere el historiador Pierre Thuillier cuando asegura: «...la ciencia, conforme a una *tradicón bien establecida*, es una empresa que, por su racionalidad y su acción *liberadora*, engrandece al hombre. Sería una gran catástrofe si, por algún motivo, mañana conociera su declive». En cualquier caso, el cientifismo es ya una confianza y un ambiente; es la impregnación por la ciencia de multitud de hechos familiares; es su total vinculación a los problemas económicos, sociales y culturales. Y es en este ambiente, irreversible, repleto de impresionantes logros científicos y de avances tecnológicos, con sus beneficios y riesgos hipotéticos o reales, en el que comienza a jugar un papel decisivo la estructura de la organización nacional e internacional de la creación científica, de la promoción de la investigación y de sus aprovechamientos.

A pesar de todo ello, no deja de ser notable –quizá mejor dicho, de seguir siendo notable– el enfrentamiento entre la cultura tradicional, al apropiarse en exclusiva el término cultura, y los conocimientos científicos, como si el edificio intelectual del *mundo* físico no fuera el más maravilloso trabajo colectivo del *pensamiento* y la *imaginación* del hombre. Y si la voz y la idea de cultura han venido respondiendo tan sólo de la cultura *tradicional* no es menos cierto que durante bastantes décadas –que alcanzan hasta nuestros mismísimos días– el término intelectual se ha circunscrito esencialmente a la gente de letras, excluyéndose de él a físicos del tipo de Einstein, Bohr y Heisenberg, a los matemáticos Gódel y Volterra y a los biólogos Fleming y Dogmagk. Uno de los científicos modernos de mejor formación literaria clásica, el Nobel británico Peter Medawar, se refería al sinsentido de que un científico sin conocimientos de la música o del arte fuera considerado como analfabeto, mientras que las gentes de letras no se han sentido nunca obligadas, para considerarse cultas, a conocer los rudimentos de la ciencia. Y a este propósito, podríamos sacar a relucir infinidad de casos en los que se refleja esta contradicción. ¡Sólo una de ellas, a modo de ejemplo! De un lado, es bien conocido como en los últimos años ha emergido una intelectualidad científica que investiga y, a través de su propia obra, difunde con solvencia las cuestiones más importantes de nuestros días, y conecta directamente con el público, sin intermediarios, y con estilo literario. Así, entre los iniciadores del estilo figuran Monod –con ‘El azaryla *necesidad*’– y Jacob –con ‘*La estatua interior*’–, entre otros muchos ejemplos, Penrose –con ‘*La nueva mente del emperador*’–, Gelj-Mann –con ‘*El quark y el jaguar*’–, Dawkins –con ‘*El gen egoista*’ y ‘*El relojero ciego*’–, Gould –con ‘*El dedo pulgar del panda*’ y ‘*La vida maravillosa*’–, Margulis –con ‘*Microcosmos*’– y Davis –con ‘*Los mitos de la materia*’–. Frente a la idea anterior nos encontramos con la publicación ‘*Peut-on encore débattre en France?*’, en la que, hace unos pocos meses solamente, «los principales intelectuales franceses» –entre los que, obviamente, no aparece ninguna de las grandes figuras científicas del momento– responden a la elección de los temas del *debate* intelectual de Francia. Los grandes debates de nuestro tiempo serían, a juicio de los intelectuales franceses: la *mundialización*, el liberalismo y el análisis del pasado totalitario.

Lo cierto es, sin embargo, que en los últimos años la relación ciencia-sociedad identifica como sus componentes principales una serie de principios que pueden concretarse en los siguientes:

- la necesidad de crear una nueva cultura de diálogo entre los científicos y el público con el objetivo principal de que la *sociedad* se implique en la empresa científica;

- la necesidad de prestar atención a los valores y actitudes del público, así como al papel de las ciencias sociales en el análisis de los fenómenos que afectan a la sociedad;
- la necesidad de adaptar las políticas científicas a las necesidades de la sociedad y fomentar la participación de sus componentes en las distintas etapas de la empresa investigadora;
- la necesidad de que los científicos colaboren con los medios de comunicación;
- la existencia de una cierta crisis de confianza del público en cuanto al consejo científico a los Gobiernos; y
- la necesidad de que todos los organismos e instituciones implicados en el asesoramiento científico y en la toma de decisiones que afectan a las áreas de la ciencia y la tecnología ofrezcan la mayor claridad en sus aportaciones.

Ante la evidente necesidad social de la *comprensión* pública de la ciencia, cabe ya, finalmente, que nos aclaremos brevemente acerca de la naturaleza de esta *comprensión*; de la idea del público destinatario; del objeto, la ciencia, a comunicar; y de las variaciones y características de esta transmisión.

La noción de *comprensión* tiene como significado general de su contenido el del *conocimiento* científico o la naturaleza de la ciencia como *imprescindible ingrediente* cultural. Contenidos científicos y tecnológicos, y las formas de su transmisión y comunicación que han de experimentar una gran variación de acuerdo con el fragmento social receptor –la naturaleza de público– y sus necesidades culturales y profesionales de ciencia en general o de aspectos particulares de la ciencia. Porque las necesidades de los contenidos científicos no habrán de ser las mismas si el público es un experto en una rama de la ciencia que necesita los conocimientos de los campos de conocimiento limítrofes, por ejemplo un experto en nuevos materiales que debiera conocer la biogénesis del hueso, o un experto en legislación de patentes que debiera estar al día en los avances de la biotecnología; si el *público* pertenece a instituciones de gobierno o de decisión política que pueden referirse a muy variadas cuestiones: energéticas, biológicas –transplantes, transgénesis, empleo de células embrionarias, fecundación *in vitro*, etc.–, ambientales, etc.; si el *público* pertenece a una clase social de rango cultural a la que debieran serle familiares contenidos científicos medios –resolución de la ecuación de segundo grado, contenidos en vitaminas de los alimentos, mecanismos de

acción de antibióticos, concepto de radiactividad y radiaciones, etc.– y estar al tanto de los avances de la ciencia, la tecnología y la organización y administración de la ciencia –la exploración del espacio, la evolución humana, las partículas subatómicas, la biotecnología, las nuevas imágenes médicas, las modalidades energéticas y el medio ambiente, los biomateriales, las políticas de I+D, la política y la gestión del agua, etc.–; si el *público* pertenece a sectores profesionales, el profesorado de la enseñanza media por ejemplo, a los que favorece en gran medida el conocimiento de los avances científicos en los campos de las matemáticas, la física, la química y la biología; si el *público*, tal como el preuniversitario, puede necesitar información relativa a los nuevos campos del conocimiento científico –la bioinformática, los nuevos materiales, las ciencias de la computación, el ambiente, la proteómica, la biotecnología, etc.–; si el *público* conforma una media estadística de lo que puede considerarse la opinión pública, ignorante del conocimiento científico y, a la vez, deseosa de alcanzarlo, habrá que instruirle principalmente en todos aquellos aspectos que dominan la cultura actual y que participan en las condiciones habituales de vida, lo que le permitirá poseer su propio criterio en cuestiones de sanidad, nutrición, avances tecnológicos –energía nuclear y energías renovables, telecomunicaciones, ingeniería génica, riesgos geológicos, etc.–.

No harán falta muchos más esfuerzos para dejar bien patente que la ciencia y la tecnología se sitúan en el corazón de la economía y del funcionamiento de la sociedad e influyen cada día en mayor medida sobre la vida de los hombres, y puede que no existan problemas planteados a los ciudadanos cuya solución no pueda encontrarse encomendada, en mayor o menor medida, a la ciencia y a la tecnología. Aceptación que se comparte con un cierto grado de escepticismo sobre las consecuencias sociales y éticas del progreso del conocimiento. Tendencias que deberán considerarse, de un lado, a la vista de los *ámbitos* y las *disciplinas* que se van elaborando con motivo de los avances del conocimiento científico y tecnológico; y, de otro, desde el ángulo de las relaciones mutuas entre los *cambios sociales* y los *intereses políticos, económicos, financieros y comerciales* asociados a este progreso del conocimiento.

En dependencia del concepto de público, así deberá ser la interacción del *científico* con la sociedad *no científica* destinataria de la información; lo que obligará al científico a construir el cuerpo de doctrina de manera didácticamente adecuada, según sea también el medio utilizado –conferencias, prensa, radio, televisión, museos, etc.–.

En todo caso, la función del *público*, es decir de la *sociedad*, no se deberá detener en la adquisición de una base del conocimiento científico, sino que tendrá asimismo que ser objeto de su preocupación –sobre todo de la de los *responsables políticos*– *la elaboración de políticas de investigación que respondan a las necesidades auténticas de la sociedad, la administración de los posibles riesgos, y la necesidad de conjugar los imperativos de libertad de investigación y de acceso al conocimiento con los aspectos éticos del progreso tecnológico.*

El desarrollo de todos los ingredientes que comportan estas relaciones es algo imprescindible por todo lo que incide sobre la *calidad de vida* del hombre en su conjunto y, en particular, sobre la competitividad, el crecimiento y el empleo. Y es, precisamente, la importancia de esta *comprensión pública de la ciencia* lo que ha llevado a la Unión Europea a la creación del proyecto «*espacio europeo de la investigación*», en calidad de componente básico de la economía y la sociedad del conocimiento europeas.

En la revista *Science* (276, 1997) el Presidente Clinton publicó un editorial titulado «*Science in the 21st Century*» en el que, entre otras ideas, se expresan las siguientes:

Imagine a new century, full of promise, molded by science, shaped by technology, powered by knowledge. We are now embarking on our most daring explorations, unraveling the mysteries of our inner world and charting new routes to the conquest of disease. We have not and we must not shrink from exploring the frontiers of science. But as we consider how to use the fruits of discovery, we must also never retreat from our commitment to human values, the good of society, our basic sense of right and wrong.

Science often moves faster than our ability to understand its implications, leaving a maze of moral and ethical questions in its wake. The Internet can be a new town square or a new Tower of Babel. The same computer that can put the Library of Congress at our fingertips can also be used by purveyors of hate to spread blueprints for bombs. The same knowledge that is developing new lifesaving drugs can be used to create poisons of mass destruction.

Science has no soul of its own. It is up to us to determine whether it will be used as a force for good or evil. We must decide together how to apply ethical and moral principles to the dazzling new discoveries of science. Here are four guideposts.

First, science and its benefits must be directed toward making life better for all Americans, never just a privileged few. Its opportunities and benefits should be available to all. Science must not create a new line of separation between the haves and the have-nots, those with and those without the tools and understanding to learn and use technology.

In the 21st century, a child in a school that does not have a link to Internet or the student who does not have access to a computer will be like the 19th-century child without school books. That is why we are ensuring that every child in every school, no matter how rich or poor will have access to the same technology by connecting every classroom and library to Internet by the year 2000. (..)

Second, none of our discoveries should be used to label or discriminate against any group or individual. With stunning speed, scientists are now moving to unlock the secret of our genetic code. Genetic testing has the potential to identify hidden inherited tendencies toward disease and to spur early treatment. But that information could also be used, for example, by insurance companies and others to discriminate against and stigmatize people.

Third, technology should not be used to break down the wall of privacy and autonomy free citizens are guaranteed in a free society. The right to privacy is one of our most cherished freedoms. (..)

Fourth, we must always remember that science is not God. Our deepest truths remain outside the realm of science. We must temper our euphoria over the recent breakthrough in animal cloning with sobering attention to our most cherished concepts of humanity and faith. (..)

If we hold fast to those principles, we can make this time of change a moment of dazzling opportunity for all Americans. Science can serve the values and interests of all Americans, but only if all Americans are given a chance to participate in science.

Ideas que pueden hacerlas suyas todos los países y todos los ciudadanos.