



Educación Médica

www.elsevier.es/edumed



El impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad: una perspectiva global

The impact of science and technology in society: a global perspective

José Manuel Sánchez Ron

Real Academia Española, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España

En mi opinión, la ciencia y su hermana, la tecnología, constituyen el principal responsable de que vivamos como lo hacemos en el presente y no como lo hacían nuestros antepasados varios miles de años atrás, e incluso hace poco más de un par de siglos. Es cierto que el progreso ha ido cobrando impulso según pasaba el tiempo; no se avanzó con parecida celeridad entre el siglo xv, el de Copérnico y Vesalio, y el xvii, la centuria de aquel gigante llamado Isaac Newton, con quien nació la ciencia verdaderamente moderna, y de otros científicos en absoluto menores, como Robert Boyle, William Harvey o Robert Hooke, o en los siglos xix y xx, y lo que llevamos del xxi. Pensemos, por ejemplo, en cómo vivía Newton a comienzos del siglo xviii, en sus sin duda frías habitaciones del Trinity College de Cambridge, viajando con dificultad y lentitud entre Cambridge y Londres, y cómo vivían las personas, al menos las de un nivel de confort medio en Europa, dos siglos después, hacia 1900. No hace falta ser un experto en historia para darse cuenta de que las diferencias son abismales. Pues bien, ¿a qué se debieron tales diferencias? ¿A cambios políticos, en, por ejemplo, ideologías? ¿A las ideas de libertad introducidas por la Revolución Francesa, que acabó con el Antiguo Régimen, encarnado en el absolutista monarca Louis XVI? Sin duda, el nacimiento de sistemas políticos democráticos resultó importante para acercarse a aquello que Karl Marx manifestó en su obra póstuma *Crítica al programa de Gotha* (1891), “De cada cual según sus capacidades, a cada cual según sus necesidades”, pero lo que cambió el mundo fue el desarrollo científico-tecnológico.

Si se trata de evaluar el “impacto” de la ciencia y la tecnología en la sociedad, bien podemos comenzar por el siglo xix, cuando ese impacto se hizo particularmente notorio.

Y en este punto, para adquirir una cierta perspectiva, las referencias son, sobre todo, tres naciones: el Reino Unido, Francia y Alemania.

Fue en el Reino Unido donde, durante el siglo xviii y gracias a las iniciativas de, entre otros, Thomas Savery, Thomas Newcomen y James Watt, comenzó una nueva era en la historia de la humanidad, la de la Revolución Industrial y la máquina de vapor, una revolución que cambió drásticamente —no siempre para bien— industrias de todo tipo, las condiciones de trabajo, la faz de ciudades y los medios de transporte. Recordemos, por ejemplo, a George Stephenson, quien construyó una locomotora —bautizada con el apropiado nombre de *Locomotion*— que alcanzaba una velocidad de casi 20 km por hora, con la que en 1825 comenzó a transportar el carbón extraído de la zona minera de Witton a Stockton, en el estuario del río Tees, a lo largo de un ramal con una única vía de 38,7 km de longitud. Cuatro años después construyó una nueva locomotora, conocida como *The Rocket* (*El Cohete*), que llegaba a los 40 km/h; con ella se inauguró el 15 de septiembre de 1830 la primera línea de la historia que transportaba pasajeros: cubría el trayecto Liverpool-Manchester.

El Reino Unido fue también pionero en la “electrificación del mundo”, proceso en el que ciencia y tecnología se dieron la mano. Si tuviera que elegir un momento particularmente representativo de esa electrificación, escogería cuando en 1866, con capital británico, se logró completar la unión telegráfica submarina entre las Islas Británicas y Norteamérica. Ya nada sería igual en el futuro en lo que a comunicaciones se refiere. Y ya sabemos lo que las comunicaciones, la transmisión de información, significan en las relaciones políticas y económicas, así como en las, simplemente, individuales.

Correo electrónico: jmsron@rae.es

La física del electromagnetismo, la responsable de esa “electrificación del mundo” a la que me acabo de referir, no solo generó nuevos y poderosos mercados industriales, sino que esas mismas aplicaciones cambiaron aspectos esenciales de la vida social: pensemos, por ejemplo, en la “telegrafía sin hilos”, que luego llamamos “radio”, que aún nos acompaña, junto a la posterior televisión, otra hija de la física del electromagnetismo. Con diferencias, lo mismo sucedió con una revolución aparentemente, solo aparentemente, menos llamativa: la que tuvo lugar en la química orgánica. Esta tuvo su gran centro en la Alemania de Justus von Liebig, August Kekulé, Friedrich Wöhler y August Hoffmann, y encontró rápidamente aplicaciones en la industria de los colorantes (o tintes) y farmacéutica. Una muestra de esos avances es que mientras que en 1888 se conocían las fórmulas estructurales de 20.000 compuestos orgánicos, en 1899 el número había crecido llegando a 74.000, 140.000 en 1910. De hecho, no es posible comprender cómo Alemania llegó a convertirse, fue por entonces, en la gran potencia que fue a lo largo de la primera mitad del siglo xx sin tener en cuenta la creatividad de sus químicos orgánicos. El Reino Unido, con Inglaterra a la cabeza, fue la nación de la Revolución Industrial, pero a la postre, y aunque continuó siendo una gran potencia científica, en lo económico e industrial terminó superada por Alemania, que supo aprovechar mucho mejor las posibilidades que abría la tecnociencia decimonónica. Acaso porque Alemania no tenía un gran imperio, la Commonwealth, que mantener, como sucedía con Gran Bretaña.

Algunos datos significativos son los siguientes: en 1827, uno de los alumnos de Liebig, Heinrich E. Merck, fundó en Darmstadt, animado por el propio Liebig, la *Chemische Fabrik E. Merck* para la producción a gran escala de productos farmacéuticos. El éxito de la empresa hizo que fuese extendiéndose, y uno de los lugares en los que se introdujo fue en Estados Unidos, de la mano de un miembro de la familia, George Merck, que se trasladó a Nueva York en 1891, estableciendo allí una tienda que suministraba productos, sobre todo a los farmacéuticos de la ciudad y sus alrededores. En 1897, sus ventas alcanzaron el millón de dólares y contaba con un edificio propio de seis plantas, aunque pronto se instaló en New Jersey. Estrictamente se trataba de una nueva compañía, denominada *Merck & Co.*, de la que la Merck alemana poseía una parte de las acciones. Esta situación se mantuvo hasta 1917, cuando al entrar Estados Unidos en la Gran Guerra (luego Primera Guerra Mundial) el gobierno norteamericano se apropió de las acciones que poseía la firma de Darmstadt. Con la ayuda de inversores de Nueva York, George Merck compró esas acciones al gobierno, comenzando así la historia independiente de la *Merck & Co.* estadounidense, que con el paso del tiempo se convirtió en uno de los gigantes del mundo farmacéutico, la multinacional *Merck, Sharp & Dohme*.

Otro pupilo de Liebig que se convirtió en un industrial importante fue Karl Clemm, que fundó junto con su hermano Gustav una industria dedicada inicialmente a la producción de fertilizantes artificiales; más tarde, sin embargo, ampliaron su campo de intereses a la sosa y el ácido sulfúrico, así como a los tintes. En 1865, la compañía tomó el nombre de *Badische Anilin-und Soda-Fabrik (BASF)*, una de las grandes de la industria química mundial.

El caso francés

¿Y qué pasó con Francia? La pregunta es relevante porque cuando comenzaba el siglo xix, la ciencia francesa se encontraba en una posición de privilegio, que iría perdiendo según avanzaba la centuria, especialmente con relación a Alemania. Este cambio se puede apreciar en la física al igual que en la química. En esta última disciplina, por ejemplo, en enero de 1823 Liebig escribía desde París —a donde se había trasladado procedente de Erlangen para estudiar junto a Joseph Louis Gay-Lussac— que “no existe territorio en el que las ciencias naturales florezcan más de lo que lo hacen aquí, y en donde se involucren más en la vida práctica”.

Francia fue una adelantada en lo que a la institucionalización de la ciencia se refiere. Debido a que sus gobernantes estaban interesados en una buena Administración y preocupados por la Defensa, a lo largo del siglo xviii se crearon una serie de centros educativos de alto nivel científico y técnico: la *École des Ponts et Chaussées* (1715), la *École Royale du Génie* (1748), la *École des Mines* (1783) y, en tiempos de la Revolución Francesa, la *École Polytechnique* (1794). Pero la naturaleza y prestigio de las *grandes écoles* tradicionales probablemente aportó más obstáculos que beneficios, ya que conservaron demasiado del espíritu del siglo que las vio nacer, el xviii; sus graduados construían y vigilaban las minas, puentes, carreteras, instalaciones militares y monopolios estatales de la nación, pero descuidaban el desarrollo de las ciencias aplicadas, que en el siglo xix constituían con frecuencia una vía para contribuir a la propia ciencia, y desde luego un factor importante para su avance e institucionalización (menos del 1% de los graduados de estas escuelas llegaron a ser científicos, mientras que el 80% se colocaban como militares y funcionarios civiles de alto nivel en los diversos *corps d'état*). Los *polytechniciens*, los más prestigiosos de todos los ingenieros, se formaban para ser líderes de la nación, miembros de una élite administrativa, no para convertirse en técnicos o científicos, aunque algunos lo fuesen, como el gran Henri Poincaré.

Otro de los males franceses fue su intenso centralismo administrativo, particularmente notorio en el sistema educativo superior. París era (y continuó siendo) el centro incontestable de la nación, incluyendo a su ciencia. Es difícil imaginar que en Francia ocurriese algo parecido a lo que sucedió en Alemania, en donde Liebig estableció una escuela de investigación en química orgánica en la pequeña ciudad provinciana de Giessen.

La medicina científica

Debo hacer un alto en la narración comparativa que estoy haciendo, porque en ella falta un episodio fundamental, y más cuando se habla del impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad. Y es que no he dicho nada de la medicina, y precisamente el siglo xix fue cuando esta ciencia-técnica-arte comenzó a superar limitaciones que la habían empobrecido durante milenios. El Ochocientos fue, en efecto, la centuria de la medicina científica, la de la fisiología, la teoría microbiana de la enfermedad de Pasteur y Koch, la anestesia, las técnicas de asepsia y la vacunación. No podemos pensar en mayor impacto social que, por ejemplo, poder entrar en un quirófano y no tener que pensar que, como mini-

mo, se sufriría horriblemente, debido a la no existencia de medios anestésicos, o a que se podría contraer una infección que fácilmente podía producir la muerte.

El universo de las relaciones entre la medicina decimonónica y la sociedad es extremadamente amplio, de manera que me detendré únicamente en uno de carácter “organizativo”.

Para ilustrar este punto, recurriré al patólogo alemán Rudolf Virchow (1821-1902), entre cuyos descubrimientos se encuentran los de la leucemia, la mielina, así como estudios experimentales fundamentales sobre la trombosis, flebitis o triquinosis. En su tiempo fue considerado algo así como un “Papa” de la medicina. Fue, asimismo, autor de uno de los grandes libros del siglo XIX: *Die Cellularpathologie in ihrer begründung auf physiologische und pathologische gewebelehre* (La patología celular basada en la histología fisiológica y patológica, 1858). Nadie antes que Virchow había defendido con tanta fuerza, y apoyándose en todo tipo de hechos, el papel central de la unidad celular en la vida. “Al igual que un árbol constituye una masa dispuesta de una manera definida”, escribió en ese texto, “en la que, en todas sus distintas partes, en las hojas al igual que en las raíces, en el tronco al igual que en los brotes, se descubre que las células son los elementos últimos, así ocurre con todas las formas de vida animal. *Todo animal se presenta como una suma de unidades vitales*, cada una de ellas manifestando todas las características de la vida”.

Además de un gran científico, Virchow fue también un hombre profundamente preocupado —un activista, de hecho— por la situación de la salud pública, en general, y de los hospitales y médicos, en particular. Especialmente importante en este sentido es una serie de artículos sobre las reformas médicas en la salud pública que publicó en 1848 en una revista semanal que él mismo fundó junto al psiquiatra R. Leubuscher: *Die Medizinische Reform*, publicación que se convirtió en el portavoz de un movimiento nacional de reforma médica que intentaba que se produjese un progreso administrativo que se correspondiese con, y pudiese explotar, los avances científicos. Allí, en el número 9 de esta publicación (1 de septiembre), defendió ideas que le honran y que muestran lo poco humanitaria que era la época en que lo escribió: “En lo que se refiere a la frase ‘para cada uno según sus necesidades’, en ningún lugar se aplica con mayor claridad y rotundidad que en la atención que se brinda en la salud pública, de la que constituye uno de sus principios básicos [...] La admisión en un hospital debe [...] estar abierta a todo paciente que lo necesite, independientemente de si es judío o ateo. Si alguien solicita la admisión, el único criterio debe ser si está enfermo, y qué circunstancias justifican su admisión en un hospital. Hasta ahora, sin embargo, era lo contrario; la primera pregunta era si la persona podía pagar, o si alguna otra persona era responsable de pagar por él”.

Consecuencia de todo esto fue el aumento de la esperanza de vida. Hace ya más de medio siglo, Pedro Laín Entralgo señalaba lo que habían significado los avances médicos para las expectativas de vida de la humanidad en la *Historia de la medicina*, que publicó en 1954: “Nada más elocuente”, escribió allí, “que las *cifras estadísticas* para advertir la magnitud del cambio operado. Hace doscientos años, morían anualmente de 45 a 50 personas por cada mil habitantes; hoy, en los países cultos, la cifra de los que mueren se halla entre 8 y 15. Con otras palabras: si bajo Felipe IV hu-

biese tenido Madrid la población actual, habrían muerto anualmente más de 70.000; hoy, en cambio, no llegan a 20.000. La mortalidad infantil, que en Nueva York alcanzaba en 1870 la espantosa cifra de 385,5 por 1.000, ha ido descendiendo a 213,6 en 1900, a 98,8 en 1915 y a 35,0 en 1940. Como consecuencia, la vida media de la población ha experimentado un considerable aumento: 39 años en 1870, 49 en 1900, más de 60 en la actualidad”.

Y si la esperanza de vida media era de 60 años en la década de 1950, cuando las condiciones sociales y médicas eran en general peores que las existentes en la actualidad, entrados ya en el siglo XXI, no sorprenderá que esta cifra haya continuado elevándose. Limitándonos al caso de la Unión Europea, tenemos que en 1980 la esperanza de vida rondaba los 70 años (71,2 en Dinamarca, 72,5 en España, 70,2 en Francia, 70,6 en Italia, 67,7 en Portugal y 70,2 en el Reino Unido), mientras que en 1998 las cifras para estos mismos países eran de: 78,8 en Dinamarca, 82,2 en España, 82,3 en Francia, 81,8 en Italia, 78,9 en Portugal y 79,7 en el Reino Unido; es decir, una esperanza de vida de en torno a 80 años; un incremento de 20 años en medio siglo.

Estados Unidos

¿Y de Estados Unidos, qué? Es una pregunta inevitable, habida cuenta de lo que esta nación ha significado en la ciencia del último siglo.

Aunque caracterizar a una nación mediante una frase es tarea harto temeraria y en general condenada al fracaso, si me viera forzado a emplear una en el caso del Estados Unidos decimonónico, escogería dos palabras: *naturaleza práctica*. La colonización del oeste fue una de las fuerzas sociales, al igual que económicas, que dominó el período anterior a la Guerra Civil (1861-1865). Para facilitar esta expansión hacia territorios apenas conocidos, y también para mejorar el conocimiento de los ya habitados, el Gobierno Federal se vio en la necesidad de apoyar trabajos en astronomía, hidrografía, geofísica, magnetismo terrestre, meteorología, estudios topográficos, geología, botánica, zoología y antropología. Estas disciplinas, indispensables para conocer la geografía física y humana de la nación, fueron las únicas apoyadas entonces por el Gobierno. Como señaló Hunter Dupree, el gran estudioso de la ciencia y el Gobierno Federal (*Science in the Federal Government*; 1957): “las ciencias en las que predominaba el trabajo de laboratorio, en las que los descubrimientos se realizaban en tubos de ensayo en lugar de en distantes montañas, no se encontraban entre los intereses del Gobierno”.

A finales del siglo XIX, el avance que experimentaba la industria y el comercio comenzó a transformar la ciencia estadounidense. Al igual que en otras naciones, el conocimiento científico estaba asociado a este desarrollo, y así lo percibieron también los norteamericanos. La industria privada reaccionó más pronto y también con mayor amplitud que el Gobierno Federal ante el valor que la ciencia mostraba para la tecnología (esto es, para los negocios). Thomas Edison, no obstante sus limitaciones personales (recordemos que era un inventor hecho a sí mismo, sin una instrucción sistemática), fue uno de los primeros en darse cuenta, al menos parcialmente, de que sus negocios necesitaban de la ciencia, y en el espléndido laboratorio que construyó, entre 1886 y

1888, en West Orange, New Jersey, Menlo Park, reunió un plantel de colaboradores, que aunque demasiado variado y probablemente lejos de estar equilibrado, incluía un físico especializado en electricidad, químicos que habían obtenido sus doctorados en Alemania y varios antiguos estudiantes que habían asistido a *colleges* en los que la ciencia ocupaba un lugar preferente. Durante la primera década del siglo xx unas cuantas firmas de la industria química (en especial Du Pont, en 1902, y Standard Oil de Indiana) abrieron genuinos laboratorios de investigación. Durante la primera década de la nueva centuria, los laboratorios de General Electric (GE) y American Telephone and Telegraph (ATT), que hasta entonces solo habían estado dedicados a trabajos de rutina, se transformaron en centros de investigación y desarrollo (en, respectivamente, 1900 y 1904).

Así comenzó realmente la historia del poderío científico estadounidense, poderío que se manifestó con claridad en el siglo xx.

El siglo xx

El siglo xx contempló tres grandes revoluciones científicas: la relativista, la cuántica y la biológico-molecular. La primera, asociada al nombre de Albert Einstein, iluminó nuestro conocimiento en apartados básicos y nos ha permitido entender de forma realmente científica el Universo, pero para la vida de todos y de todos los días no tiene las, casi ubicuas, implicaciones que posee la cuántica.

Como es bien sabido, el almacenamiento, manipulación y transmisión de información utilizando medios electrónicos constituyó la gran revolución social de la segunda mitad del siglo xx. Transistores, ordenadores, *chips*, circuitos integrados, fibras ópticas y un sinnúmero de artilugios electrónicos cambiaron, literalmente, el mundo, el mundo de las relaciones entre humanos y sociedades, y el mundo de los negocios. Pues bien, el “átomo” de esa revolución global es un hijo de la física cuántica: el transistor. Fue en los laboratorios Bell —estrictamente los Bell Telephone Laboratories, creados como una compañía subsidiaria de ATT (American Telephone and Telegraph) y Western Electric— donde tres físicos, John Bardeen, Walter Brattain y William Shockley, descubrieron, en diciembre de 1947, el transistor. Pronto las posibilidades que abría el transistor y materiales semiconductores como el silicio y el germanio, se hicieron evidentes. Para compañías emprendedoras, por supuesto, pero también para científicos, que, inmersos en un mundo en el que el dinero y los negocios representaban un valor no solo material, sino cultural también, se decidieron —algunos al menos— a traspasar las fronteras de la academia de una manera mucho más radical que cuando aceptaron trabajar para laboratorios industriales como podían ser los Bell: esto es, convirtiéndose ellos mismos en empresarios. Tal fue el origen del célebre Silicon Valley (Valle del Silicio), situado al sudeste de San Francisco, en cuya constitución desempeñaron papeles centrales Frederick Terman, catedrático y director de la Escuela de Ingeniería de la cercana Universidad de Stanford, y William Shockley, que abandonó los laboratorios Bell de New Jersey buscando horizontes más lucrativos (en 1955 fundó, en lo que entonces era simplemente los alrededores de la bahía de San Francisco, su propia compañía, el Shockley Semiconductor Laboratory). Como es bien sabi-

do, el crecimiento, durante las décadas de 1960 y 1970, de Silicon Valley fue extraordinario, pero no puedo explorar ese crecimiento aquí, solo resaltar el papel simbólico y ejemplificador que desempeñó en la configuración de una “nueva alianza” entre ciencia e industria. Una alianza que creó, y a su vez se vio reforzada, lo que denominamos “mundo digital”, del que forman parte estructuras y medios tan importantes y penetrantes como internet.

En la actualidad, integrados en las tarjetas electrónicas, las nuevas modalidades de transistores desempeñan funciones básicas en los billones y billones de microprocesadores que controlan, por ejemplo, motores de coche, teléfonos celulares, misiles, satélites, redes de gas, hornos microondas, computadores o aparatos para discos compactos. Han cambiado las formas en las que nos comunicamos, relacionamos con el dinero, escuchamos música, vemos televisión, conducimos coches, lavamos nuestra ropa o cocinamos.

Y no nos olvidemos, por supuesto, de internet.

Genoma e industria

La tercera revolución es la biológico-molecular, a la que acompaña la biomédica, en la que las técnicas de imagen, dependientes de la física, desempeñan un papel muy importante (pensemos en los rayos X, las ecografías, la tomografía computarizada, o TC, en la tomografía por emisión de positrones o en la resonancia magnética), sin olvidar desarrollos como los trasplantes, marcapasos, corazones artificiales, fecundación *in vitro* y un sinnúmero de otros ejemplos.

Aunque todavía menos relevante para el bienestar del conjunto de la sociedad, la medicina genómica ha sido la gran novedad de las últimas décadas. El Proyecto Genoma Humano constituyó la plataforma y escaparate de esta nueva medicina. Fue, de hecho, una de las empresas más ambiciosas que ha emprendido la humanidad. Más ambiciosa y, en principio, también más noble, puesto que se trataba de un proyecto público (esto es, financiado por los erarios de varias naciones) destinado a obtener un conocimiento que, además de contribuir al avance de la ciencia, debería tener consecuencias evidentes para la salud: no solo desentrañar mecanismos básicos para la vida, sino también, por ejemplo, averiguar las relaciones entre genes y características determinadas (incluyendo enfermedades) de, en este caso, la especie humana.

Precisamente por esta dimensión del Proyecto Genoma Humano, era evidente que su objetivo tenía interés también para la industria privada. Semejante interés no tardó demasiado en manifestarse: lo hizo a través de una compañía comercial fundada en 1998 denominada Celera Genomics, dirigida por el innovador biólogo molecular Craig Venter.

En 1998, Venter anunció su intención de determinar la secuencia del genoma humano, lo que, evidentemente, implicaba competir con el proyecto público. Para alcanzar tal fin constituyó, aliándose con Applera Corporation, una compañía, Celera Genomics, en la que él era al mismo tiempo presidente y principal oficial científico. El 26 de junio de 2000, Venter y Francis Collins, director del Proyecto Genoma Humano, realizaron un primer anuncio conjunto manifestando que habían completado la secuenciación del genoma humano. A pesar de lo grandilocuente de la declaración, en la que estuvieron presentes el presidente Bill Clin-

ton y el primer ministro británico Tony Blair, aún quedaba bastante que hacer. No se sabía, por ejemplo, nada sobre cuántos genes forman el genoma humano. El 11 de febrero de 2001 se remediaba tal carencia, anunciándose que el ser humano tiene unos 30.000 genes.

Desde entonces, el mundo genómico no ha hecho sino desarrollarse: nos encontramos inmersos en una nueva revolución científica, la tercera que mencioné, y cuando surge una nueva revolución cambian muchas cosas, más aún si es el campo de la medicina, en el que están implicados todo tipo de valores éticos y códigos legales. El derecho a conceder patentes de genes y secuencias genéticas en Estados Unidos fue reconocido en 1980 por la decisión del Tribunal Supremo en el caso “*Diamond versus Chakrabarty*”, que dictaminó que se podían patentar organismos vivos producidos por ingeniería genética. A raíz de esta decisión, a mediados de la década de 1980, la Oficina de Patentes estadounidense (Patent and Trademark Office; PTO) tomó medidas para ampliar el derecho a patentar plantas y animales no humanos: en 1987, por ejemplo, concedió el derecho a patentar animales transgénicos, esto es, creados por ingeniería genética, aunque, afortunadamente, prohibió que se patentasen humanos alterados genéticamente, basándose en una enmienda antiesclavista de la Constitución estadounidense que impide la propiedad de seres humanos. Utilizando el primer acuerdo, el 12 de abril de 1988, se aceptaba la patente de un ratón transgénico que portaba un gen humano que produce cáncer, creado en la Universidad de Harvard. En 1995, la Corte de Recursos declaró que también eran patentables secuencias de nucleótidos parcialmente publicadas. En 2000, el número que la Oficina de Patentes estadounidense concedió a este tipo de secuencias alcanzaba ya los 2.000.

Mirando hacia el futuro

Y ahora, una mirada al futuro, aunque como historiador sé bien que prever el futuro es un ejercicio muy arriesgado. Nadie predijo, por ejemplo, la mecánica cuántica, sobre cuyos pilares se levanta una buena parte del tecnologizado mundo actual. No obstante, voy a hacer un par de predicciones.

Una de las líneas maestras que en mi opinión guiarán, con intensidad creciente, a la ciencia a lo largo del presente siglo y los venideros, es la *interdisciplinariedad*, la reunión de grupos de especialistas —no necesariamente muy numerosos— en disciplinas científicas y tecnológicas diferentes, que, provistos de los suficientes conocimientos generales como para poder entenderse entre sí, colaborarán en resolver nuevos problemas, problemas que por su propia naturaleza necesitan de esa colaboración. La naturaleza, recordemos, es una y no conoce fronteras; somos nosotros, por necesidades prácticas, los que las hemos establecido, constituyendo disciplinas que llamamos física, química, biología, matemáticas, geología, etc. Pero al ir avanzando en nuestro conocimiento de la naturaleza, se hace cada vez más necesario ir más allá de esas fronteras, hacerse ciudadanos de la interdisciplinariedad.

Una muestra magnífica de lo que estoy diciendo se encuentra en mi segunda predicción, que en realidad no lo es tanto, puesto que se está poniendo en marcha: el Pro-

yecto del Mapa de la Actividad Cerebral (Brain Activity Map Project), cuya puesta en marcha anunció el presidente Barak Obama en su discurso del Estado de la Unión del 12 de febrero de 2013, y en abril de forma oficial. Se trata de un proyecto destinado a establecer un mapa de la actividad cerebral, con el propósito de estudiar todas las señales enviadas por las neuronas y determinar cómo los flujos producidos por esas señales a través de redes neuronales se convierten en pensamientos, sentimientos y acciones. Al defender el proyecto, Obama citó cifras de un informe preparado por Battelle Technology Partnership Practice, en el que se argumentaba que la inversión de 3.800 millones de dólares que costó el Proyecto Genoma Humano había producido un impacto económico de 796.000 millones de dólares y la creación de 310.000 puestos de trabajo en Estados Unidos. Si son ciertas, constituyen evidentemente un buen impacto de la ciencia biológico-molecular en la sociedad. “Según los científicos”, informaba el *New York Times* el 17 de febrero de 2013, “este proyecto abrirá el camino para desarrollar tecnologías esenciales para comprender enfermedades como el alzhéimer y el párkinson, al igual que para encontrar nuevas terapias para diversas enfermedades mentales. Además, el proyecto alberga el potencial de ayudar en el avance de la inteligencia artificial”.

En el plano científico, el llamamiento a favor de semejante proyecto apareció en 2012 en la revista *Neuron*, en un artículo titulado “The Brain Activity Map Project and the Challenge of Functional Connectomics”, firmado por seis científicos: A. Paul Alivisatos, Miyoung Chun, George M. Church, Ralph J. Greenspan, Michael L. Roukes y Rafael Yuste, que es quien más ha impulsado la idea. Una simple mirada a los lugares de trabajo de estos autores revela lo interdisciplinar del proyecto: División de Ciencia de Materiales y Departamento de Química de Berkeley (Alivisatos), Departamento de Genética de Harvard (Church), Instituto Kavli del Cerebro y de la Mente (Greenspan), Instituto Kevin de Nanociencia y Departamento de Física del California Institute of Technology (Roukes), y Departamento de Ciencias Biológicas de Columbia (Yuste).

Este proyecto durará años y, aunque le vaya mal, los resultados que se obtengan de él marcarán una época, como lo está marcando el Proyecto Genoma Humano.

Adviértase, por cierto, la presencia de la nanotecnología en el proyecto del mapa de actividad cerebral. Si existe un lugar donde confluyen las ciencias de la naturaleza y las tecnologías que se basan en ellas, ese es, ciertamente, el mundo atómico, ya que a la postre, los átomos y las unidades (protones, neutrones, electrones, quarks, etc.) que los forman constituyen los auténticos “ladrillos del mundo”. Ahora bien, hasta hace relativamente poco no se había desarrollado un campo de investigación en el que semejante base común manifestase una potencialidad de aplicaciones en campos disciplinares diferentes. Me estoy refiriendo a la “nanotecnología” y la “nanociencia”, campos de investigación y desarrollo que deben su nombre a una unidad de longitud, el nanómetro (nm), la milmillonésima parte del metro. La nanotecnología engloba cualquier rama de la tecnología o de la ciencia que investiga o hace uso de nuestra capacidad para controlar y manipular la materia en escalas comprendidas entre 1 y 100 nm.

Gracias a los avances logrados (sobre todo, por físicos y químicos) en el mundo de la nanotecnología, se ha conseguido fabricar nanomateriales que están comenzando a ser utilizados en todo tipo de ámbitos. Así, se puede utilizar una disolución de nanopartículas de oro de unos 35 nm de tamaño para localizar y detectar tumores cancerígenos en el cuerpo (hay una proteína presente en las células cancerígenas que reacciona con esas nanopartículas actuando como marcadores biológicos). De hecho, la medicina es un campo particularmente adecuado para utilizar la nanotecnología, y así ha surgido la nanomedicina, que es posible dividir en tres grandes áreas: el nanodiagnóstico (desarrollar técnicas de imagen y de análisis para detectar enfermedades en sus estadios iniciales), la nanoterapia (encontrar terapias a nivel molecular, yendo directamente a las células o zonas patógenas afectadas) y la medicina regenerativa (crecimiento controlado de tejidos y órganos artificiales).

Se puede, por otra parte, utilizar tubos nanoscópicos de carbono, observados en 1976 por Morinobu Endo y sobre los que llamó la atención en 1991 Sumio Iijima, para fabricar materiales más resistentes que el acero y entre 6 y 10 veces más ligeros, que seguramente revolucionarán los mundos de la electricidad, electrónica y computación. Se trabaja en la actualidad en preparar artificialmente, utilizando nanotécnicas, estructuras que se encuentran en la naturaleza y que poseen características muy útiles, como, por ejemplo, el abulón, un molusco cuya concha es extraordinariamente resistente a las roturas, o el pie del lagarto gecko, que es un adhesivo soberbio, controlado voluntariamente (esto es, se trata de un material de propiedades adhesivas reversibles).

En fin, un mundo, por venir o que ha llegado, inmenso, que alterará, como lo ha hecho ya, nuestros modos y expectativas de vida. ¿Es posible imaginar impacto social mayor de la ciencia y la tecnología?