
¿Será el futuro un país extraño? Ciencia y tecnología en el siglo XXI

José Manuel Sánchez Ron

The past is a foreign country: they do things differently there.

L. P. HARTLEY, *The Go-Between* (1953)

Vivimos a caballo entre el pasado y el futuro, con el presente escapándosenos constantemente de las manos, como una sombra evanescente. El pasado nos da recuerdos y conocimientos adquiridos, comprobados o por comprobar, un tesoro inapreciable que nos facilita el camino a seguir. Ahora bien, en realidad no sabemos hacia dónde nos conducirá ese camino en el futuro, qué características nuevas aparecerán en él, si será fácilmente transitable o no. Por supuesto, estos comentarios tienen su correlato evidente e inmediato en la vida, en las biografías individuales y colectivas, pero también en la ciencia y la tecnología, las actividades humanas con mayor capacidad de hacer que el futuro sea muy diferente al pasado.

Precisamente por la importancia que para nuestras vidas y sociedades tiene el futuro, una cuestión que ha surgido una y otra vez es la de si es posible predecirlo; predecirlo disponiendo de sólidos conocimientos de aquello que nos ofrece el pasado y el presente. Y si importante es hacerse una idea de hacia dónde se encaminarán los acontecimientos históricos e individuales, más lo es en lo que se refiere al futuro científico y tecnológico. Y lo es porque, no lo olvidemos, el conocimiento científico y las construcciones tecnológicas constituyen elementos centrales en el futuro de esos individuos y sociedades, en el futuro de la humanidad.

Futuros inesperados

Desde esta perspectiva, parece que sería importante poder prever el futuro de la ciencia. En realidad, predecir es el propósito último de la ciencia, que busca determinar la evolución futura de los fenómenos que tienen lugar en la naturaleza; la ciencia no es, en mi opinión, sino la elaboración de sistemas lógicos con capacidad de predicción. Pero una cosa es la capacidad predictiva de las teorías científicas y otra, muy diferente, la de los científicos para predecir los cambios que experimentarán sus disciplinas en el futuro. La síntesis de electricidad y magnetismo completada por James Clerk Maxwell durante la segunda mitad del siglo XIX, proporciona un buen ejemplo en este sentido. Una vez que se dispuso de esta construcción teórica se extendió entre los físicos la idea de que con la dinámica newtoniana y la electrodinámica maxwelliana quedaban completas las bases teóricas para describir la naturaleza. Así, se adjudican al más que notable físico estadounidense Albert Abraham Michelson –recibió el Premio Nobel de Física en 1907 (fue el primer estadounidense en recibirlo)– unas frases que aparentemente pronunció, el 2 de julio de 1894, en un discurso

durante la inauguración del Laboratorio de Física Ryerson de la Universidad de Chicago, al menos así aparecen en el correspondiente artículo que lleva su firma:

Parece probable que la mayoría de los grandes principios básicos hayan sido ya firmemente establecidos y que haya que buscar los futuros avances sobre todo aplicando de manera rigurosa estos principios [...] Las futuras verdades de la Ciencia Física se deberán buscar en la sexta cifra de los decimales.

Un año después de que Michelson pronunciase estas rotundas, y a la postre equivocadas, palabras, en 1895, Wilhelm Röntgen descubriría los rayos X y el año siguiente Henri Becquerel la radiactividad, que nadie sabía cómo encajar en el aparentemente tan firme, sólido y cerrado edificio de la física conocida, a la que ahora denominamos «física clásica».

Lo más valorado en ciencia es lo sorprendente, lo inesperado. Nadie predijo, y esta constatación es fundamental a la hora de cualquier consideración sobre la posibilidad de predecir el futuro científico, la mecánica cuántica, sobre cuyos pilares se levanta una buena parte del tecnologizado mundo actual. Y no debemos sorprendernos ya que se trata de una teoría entre cuyos fundamentos se incluyen apartados tan sorprendentes como: (a) el que los objetos físicos se describen mediante funciones de onda (definidas en el campo de los números complejos) cuyo cuadrado representa no la historia posterior del objeto en cuestión, sino la probabilidad de que siga tal o cual historia; (b) el colapso de la función de onda (en el acto de medir-observar se selecciona, con cierta probabilidad, una u otra parte de la función de onda, esto es, de la realidad que *se produce*); y (c) el principio de incertidumbre de Heisenberg.

Y también fue una sorpresa mayúscula el descubrimiento observacional de que sólo alrededor del tres por ciento del universo está formado por masa ordinaria, mientras que el treinta por ciento es

un tipo de materia desconocida (denominada *materia oscura*) y el 67 por ciento por una forma de energía también desconocida (*energía oscura*).

Predicciones tecnológicas

Vislumbrar el futuro es más factible en el dominio de la tecnología que en el de la ciencia, como señaló muy acertadamente uno de los grandes gurús de la nanotecnología, Eric Drexler en su libro *Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology*, publicado en 1986. Drexler escribió allí:

La predicción del contenido de un nuevo conocimiento científico es lógicamente imposible, porque no tiene sentido afirmar *saber* ya los hechos que *aprendemos* en el futuro. Predecir los detalles de la tecnología futura, por el contrario, solamente es difícil. La ciencia apunta a conocer, pero la ingeniería apunta a hacer; esto permite al ingeniero hablar de logros futuros sin que resulte paradójico [...] Los científicos pueden predecir (y lo hacen) la calidad de las imágenes de los anillos de Saturno del *Voyager*, por ejemplo, aunque no su contenido sorprendente.

Por supuesto, aunque sean más factibles las predicciones tecnológicas, también podemos encontrar largas listas de errores, como advirtió el distinguido ingeniero aerodinámico Theodore von Kármán en un artículo que publicó en 1955, titulado precisamente «Los próximos cincuenta años», en el que citaba la siguiente predicción aparecida en un artículo de 1908 de la revista *Engineering News*:

Es imposible imaginar que el transporte aéreo de carga y de pasajeros pueda entrar en competición con el transporte por superficie. El campo de la navegación aérea está, por consiguiente,

limitado a las aplicaciones militares y deportivas; mientras que éstas últimas son casi seguras, las militares son aún dudosas.

En cualquier caso son muchos los ejemplos que muestran que, efectivamente, es más seguro realizar predicciones tecnológicas que científicas. Uno de ellos, importante ya que sus predicciones se refieren al mundo digital (en el que ya vivimos), soporte de la denominada Sociedad de la Información y de la Globalización, es Nicholas Negroponte, fundador y director del Media Lab (Laboratorio de Medios) del Massachusetts Institute of Technology. En 1995, Negroponte publicó un libro, *Being Digital*, en el que, visto retrospectivamente, atinó con mucho de lo que había de venir:

A medida que nos interconectemos entre nosotros mismos, muchos de los valores del Estado-Nación cambiarán por los de Comunidades Electrónicas, ya sean éstas pequeñas o grandes. Nos relacionaremos en comunidades digitales en las que el espacio físico será irrelevante y el tiempo jugará un papel diferente.

O este otro ejemplo, también de Negroponte:

En el próximo milenio, hablaremos tanto o más con máquinas que con seres humanos [...] La miniaturización hará que esta omnipresencia del habla avance más deprisa que en el pasado. Las computadoras son cada vez más pequeñas y es muy probable que mañana llevemos en la muñeca lo que hoy tenemos en el escritorio y ayer ocupaba toda una habitación.

Esos relojes, por cierto, ya han llegado.

Nanotecnociencia

En la base de avances como los anteriores se encuentra la miniaturización, un proceso tecnocientífico en marcha desde hace

tiempo, en el que ahora se está profundizando a través de la denominada «nanotecnología», campo que debe su nombre a una unidad de longitud, el nanómetro (nm), la milmillonésima parte del metro. La nanotecnociencia engloba cualquier rama de la tecnología o de la ciencia que investiga o hace uso de nuestra capacidad para controlar y manipular la materia a escalas comprendidas entre 1 y 100 nm. Drexler también se refirió a ella en *Engines of Creation*, donde escribió:

Los productos basados en la nanotecnología penetrarán en las vidas cotidianas de la gente que elija usarlos. Algunas consecuencias serán triviales; otras pueden ser profundas.

Aunque Drexler se convirtió en uno de los profetas de la nanotecnología, el auténtico pionero del pensamiento que condujo a ella fue uno de los grandes físicos del siglo XIX, uno particularmente querido y admirado por sus colegas, Richard Feynman. En una conferencia titulada «There's plenty of room at the botton» («Hay mucho lugar en el fondo»), que pronunció en la reunión anual de la American Physical Society el 29 de diciembre de 1959 –veintisiete años, por tanto, antes de que Drexler publicase *Engines of Creation*–, Feynman alertó a los científicos acerca de la posibilidad y el interés de trabajar en dimensiones mucho más pequeñas de las frecuentadas entonces. Las escalas que consideraba Feynman llegaban a las atómicas:

Puedo considerar sin miedo a equivocarme la cuestión final de si, en última instancia –en un futuro lejano–, podremos manipular los átomos de la forma en que queramos, ¡los mismísimos átomos, todo el camino hasta ellos! Qué sucedería si pudiésemos manipularlos uno a uno de la manera que quisiésemos (dentro de lo razonable, por supuesto; no podemos colocarlos, por ejemplo, de forma que sean químicamente inestables).

Manipular átomo a átomo es lo que la nanotecnología ha logrado, lo que en realidad es su fundamento. Claro que para lograr esto fue necesario algo que Feynman también reclamó en su conferencia: mejores microscopios que los electrónicos entonces disponibles. Y éstos llegaron: en 1981, dos físicos que trabajaban en los laboratorios de IBM en Zúrich, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer, desarrollaron el microscopio de efecto túnel, un instrumento que puede tomar imágenes de superficies a nivel atómico. Sin él, la nanotecnología sería todavía un sueño borroso, apenas definido, como lo era cuando Feynman pronunció su famosa conferencia.

Ciencia y tecnología en el siglo XXI

No parece, por consiguiente, que en lo referente a las tecnologías de las que dispondremos, mucho de lo que nos deparará el siglo XXI sea completamente sorprendente. Dicho de otra manera: el futuro no será un país extraño, lo que no significa que no se vayan a hacer las cosas de manera diferente, muy diferente, y que las posibilidades tecnológicas que vislumbramos, cuando no las estamos ya introduciendo, no impliquen profundas consecuencias sociales. Klaus Schwab, fundador del Foro Económico Mundial que se reúne anualmente en Davos (Suiza), ha acuñado el término «Cuarta Revolución Industrial» para el proceso que se inició a comienzos del siglo XXI y que se basa en las posibilidades del mundo digital; según ha señalado:

Se caracteriza por un Internet más ubicuo y móvil, por sensores más pequeños y potentes y que son cada vez más baratos, y por la inteligencia artificial y el aprendizaje de la máquina.

Las anteriores revoluciones industriales fueron, apunta: la primera, la que tuvo lugar desde, aproximadamente, 1760 hasta 1840,

provocada por la invención de la máquina de vapor, que trajo consigo el ferrocarril; la segunda, que se produjo entre finales del siglo XIX y comienzos del XX, se caracterizó por la producción en masa gracias al desarrollo de la ciencia electromagnética y la cadena de montaje; y la tercera, la de la globalización, posible debido a las técnicas digitales y las computadoras, se inició en la década de 1960 y fue propulsada por el desarrollo de los semiconductores, la invención del transistor, la informática e Internet.

Ciencia

En lo que se refiere a la ciencia, entre las principales incógnitas a desvelar –las que podemos imaginar– en el futuro, se encuentran las siguientes. En física entender qué son la materia oscura y la energía oscura, ésta última responsable de que el Universo se expanda con mayor velocidad de la esperada. Creíamos que conocíamos eso que llamamos Universo y resulta que es un gran desconocido, porque no sabemos qué son ni la materia oscura ni la energía oscura. Es muy probable que la solución de este problema afecte al conocimiento de la estructura de la materia, lo que significa que implicará al denominado «modelo estándar», uno de los grandes logros de la ciencia del siglo XX, que permite entender bastante bien lo que ahora conocemos de los componentes de la materia y la radiación. Ahora bien, no obstante su éxito, el modelo estándar no es «la teoría final» (¿lo puede ser alguna teoría?). Por una parte, porque la interacción gravitacional queda al margen, pero también porque incluye demasiados parámetros que hay que determinar experimentalmente. Se trata de las, siempre incómodas pero fundamentales, preguntas del tipo «¿por qué?». ¿Por qué existen las partículas fundamentales que detectamos? ¿Por qué esas partículas tienen las masas que tienen? ¿Por qué, por ejemplo, el tau pesa

alrededor de 3.520 veces lo que el electrón? ¿Por qué son cuatro las interacciones fundamentales, y no tres, cinco o sólo una? ¿Y por qué tienen estas interacciones las propiedades (como intensidad o rango de acción) que poseen?

También en física, hay otros problemas importantes. Mencionaré algunos. ¿Qué son, cuál es su estructura, los agujeros negros?, objetos cósmicos que ahora sabemos abundan en el Universo, por ejemplo, en el centro de las galaxias, incluida la nuestra, la Vía Láctea. A propósito de los agujeros negros, es obligado recordar que hace poco se abrió una nueva ventana que permitirá dar un paso más en el conocimiento del contenido del Universo. Me refiero a la interferometría láser. En 11 de febrero de 2016 un representante del proyecto LIGO (*Laser Interferometric Gravitational Wave Observatories*; esto es, Observatorios de Interferometría Láser para Ondas Gravitacionales) anunció que entre septiembre y diciembre de 2015 se habían detectado ondas gravitacionales, una de las más elusivas predicciones de la relatividad general, teoría que describe la interacción gravitacional. Las ondas gravitacionales detectadas entonces provenían de la colisión de dos agujeros negros, lo que significa que se podía obtener valiosa información sobre estos objetos. Quién sabe qué encontraremos en el futuro a través de las ondas gravitacionales.

Así mismo dentro del campo de la física, pero con una fuerte componente tecnológica, hay dos problemas abiertos, que poseen profundas consecuencias socioeconómicas: conseguir controlar la fusión, para la producción de energía, y que la computación cuántica sea factible.

Si pasamos ahora a las ciencias biológicas, en mi opinión el mayor reto es comprender el cerebro, entenderlo como una unidad, no «por partes». Junto al Universo, nuestro cerebro es probablemente el «objeto» más complejo que conocemos: contiene cien mil millones de células, las neuronas, cada una conectada a otras

diez mil neuronas que, una vez estimuladas, crean influjos nerviosos que, a su vez, engendran mediadores químicos que atraviesan el espacio intercelular para llegar a otras neuronas. Cien mil millones de neuronas, cada una con posibilidades de tener de una a diez mil conexiones sinápticas con otras neuronas, dan lugar a un conjunto de interconexiones de, aproximadamente, ¡diez mil billones!

Cada vez sabemos más sobre el cerebro, pero es sobre todo en lo que se refiere a propiedades o características de sus partes. En 2016, por ejemplo, se avanzó en el conocimiento de la corteza (o córtex) cerebral, la delgada capa de tejido que cubre los hemisferios cerebrales. Utilizando técnicas de imagen por resonancia magnética, que miden el flujo sanguíneo que se produce cuando se realiza una tarea mental, un grupo de doce científicos publicaron en julio un artículo en *Nature* en el que presentaban un nuevo mapa del córtex. El inicio del estudio de la cartografía del rugoso córtex data de 1909, cuando el neurólogo alemán Korbinian Brodmann publicó un trabajo memorable, «Estudios comparados de localización en la corteza cerebral, sus fundamentos representados en la base de su arquitectura celular», en el que estableció una arquitectura de la corteza cerebral con 52 regiones, en función de sus estructuras y organizaciones celulares, de ahí que se hable de *cittoarquitectura* (el prefijo *cito* proviene del griego «célula»). En el artículo publicado en *Nature* se estableció un mapa dividido en 180 regiones, habiéndose estudiado por primera vez la estructura y las funciones de 97 de estas regiones.

Sin embargo, avances tan importantes como éstos no permiten responder a la pregunta fundamental de cómo es posible que el cerebro tenga conciencia de sí mismo, aunque sea necesario ya que no es posible comprender algo de manera, digamos, «global», sin saber antes cómo está constituido y cuáles son las funciones de sus partes.

Y si hablamos del cerebro, es obligado citar una de las empresas científicas que constituirán uno de los grandes hitos del siglo XXI: el Proyecto del Mapa de la Actividad Cerebral. La presentación en sociedad de este proyecto tuvo lugar durante el discurso del Estado de la Unión que pronunció el entonces presidente de Estados Unidos, Barack Obama, el 12 de febrero de 2012. Anunció en aquel momento la próxima puesta en marcha de un proyecto para establecer un mapa de la actividad cerebral (Brain Activity Map Project), 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.

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).

Tecnología

Las predicciones para el avance de la ciencia del siglo XXI podrán o no cumplirse. Es previsible, pero no seguro, que se resuelva el problema de la materia oscura y de la energía oscura, que se

produzca una teoría comprobable que unifique las cuatro fuerzas de la naturaleza, aunque tal vez se identifique alguna más, ¿por qué no?; que se logre la fusión controlada y la computación cuántica, y que, por fin, comprendamos verdaderamente el funcionamiento del cerebro, pero mucho más seguro es prever desarrollos tecnológicos que se producirán durante la centuria, por la sencilla razón de que muchos de éstos ya están aquí, aunque aún no se hayan manifestado en toda su potencia.

Las ciencias y tecnologías, o mejor la tecnociencia de los materiales, constituye un magnífico ejemplo. Avances logrados en este dominio han permitido desarrollar nanomateriales y nanodispositivos que ya se están utilizando en ámbitos diversos. Así, es posible emplear una disolución de nanopartículas de oro de unos 35 nm de diámetro para localizar y detectar tumores cancerígenos en el cuerpo, puesto que hay una proteína presente en las células cancerígenas que reacciona con los anticuerpos adheridos a esas nanopartículas, permitiendo localizar las células malignas. De hecho, la medicina es un campo particularmente adecuado para la nanotecnociencia, y así ha surgido la nanomedicina, que, con el afán humano de compartimentar, se divide con frecuencia en tres grandes áreas: el nanodiagnóstico (desarrollo de técnicas de imagen y de análisis para detectar enfermedades en sus estadios iniciales), la nanoterapia (búsqueda de 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 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).

Es posible, por otra parte, utilizar tubos nanoscópicos (nanotubos) de grafeno, observados en 1976 por Morinobu Endo y sobre los que llamó la atención en 1991 Sumio Ijima, para fabricar materiales más resistentes que el acero y entre seis y diez veces más ligeros, que seguramente revolucionarán los mundos de la electricidad, electrónica y computación. El grafeno que acabo de mencionar es un material bidimensional compuesto de átomos de carbono dispuestos según un patrón regular hexagonal. Una lámina de carbono es cien veces más resistente que el acero, siendo su densidad parecida a la de la fibra de carbono, y unas cinco veces más ligera que el aluminio. Sólo la mención de estas propiedades indica las enormes posibilidades industriales que alberga (Andréy Gueim y Konstantín Novosiólov recibieron el Premio Nobel de Física en 2010, «por sus innovadores experimentos relativos al material grafeno bidimensional»). Al igual que lo sucedido en otras ocasiones, uno de los actuales impedimentos para la comercialización de dispositivos que utilizan grafeno es su precio de: gramo a gramo, es uno de los materiales más caros del planeta, pues una hojuela de un micrómetro de grosor cuesta más de 1.000 dólares. Pero este problema lo suele resolver el tiempo —piénsese, por ejemplo, en lo que costó obtener, unos cuantos miles de millones de dólares, el primer mapa de un genoma humano, y lo que cuesta ahora, en torno a mil dólares—, con la mejora de las técnicas implicadas en la producción. Cuando el grafeno tenga un precio competitivo, tendrá un impacto muy significativo en las industrias de fabricación e infraestructura.

Y si hablamos de materiales, un campo extremadamente variado y en el que se desarrolla una gran actividad, hay que mencionar los «*materiales inteligentes*», a los que se puede definir como «aquellos que muestran un efecto observable en una de sus facetas cuando es estimulado desde otra». Ya existen, o pronto existirán, materiales termocromaticos que cambian de color cuando se calientan, otros cuyas propiedades eléctricas varían cuando están

expuestos a determinados productos químicos, polímeros que se degradan, hasta desaparecer, al cabo de un tiempo, después de haber cumplido la función para la que fueron diseñados, o materiales que se autorreparan y limpian ellos solos. Entre las inmensas aplicaciones posibles de estos materiales, solos o integrados en robots, se encuentra, obviamente, la medicina. Un posible ejemplo, de *robótica biointegrada*, que se estima llegará en diez o quince años, es el de una persona a la que se le haya extirpado la laringe (laringectomía) debido a un cáncer, que le impida la capacidad de hablar. Mediante la implantación de un órgano robótico blando de sustitución se podrá restaurar sus capacidades funcionales y permitir que el paciente vuelva a hablar, tragar, toser y disfrutar de la vida.

Si hay un dominio tecnocientífico en el que los humanos estamos interesados, ese es el de la medicina, por razones que no es necesario detallar. Seguramente no existe ámbito en el que se hayan producido tantas y tan profundas innovaciones en las últimas décadas. El descubrimiento (1953) de la estructura –una doble hélice– del ADN, la macromolécula de la herencia, fue un momento especial, al que se suman otros, entre ellos, el desarrollo, en torno a 1970, de las técnicas de cortado y pegado de tiras de ADN, lo que se denomina ADN recombinante, y los conocimientos derivados del Proyecto Genoma Humano. Fue así posible desentrañar la naturaleza de un cada vez mayor conjunto de enfermedades, *genéticas*, como la fibrosis quística o la corea de Huntington. Particularmente relevante a la hora de plantearse qué nos puede reservar el futuro son la *ingeniería genética* y *biotecnología*. Diseñar vida, animal o vegetal, a la carta, es algo que hace tiempo está en marcha. La denominada «biología sintética» proporcionará la posibilidad de personalizar los organismos mediante la configuración del ADN. Plantas y animales podrán ser diseñados para producir productos farmacéuticos. Ya se ha comenzado a diseñar los genomas de cer-

dos para confeccionar órganos adecuados para trasplantar a humanos, un proceso denominado «xenotrasplante». Lo que todavía queda para el futuro, un futuro, en mi opinión, inminente, es la aplicación de esas técnicas a los humanos. No es necesario explicar las consecuencias, legales, éticas, económicas, que semejantes tipos de acciones pueden tener. Hace tiempo leí un escrito de James Watson, codescubridor de la estructura del ADN, que me produjo una gran impresión. Analizando, en una conferencia que pronunció en Milán en 1994, los mundos éticos que abre el conocimiento del código genético, Watson manifestaba:

Incluso en el caso de que existan leyes y normativas satisfactorias, todavía habrá muchos dilemas que no podrán tratarse fácilmente con estos medios. Por ejemplo, ¿qué responsabilidad tiene una persona de conocer su constitución genética antes de decidirse a procrear un hijo? En el futuro, ¿se nos considerará de manera general moralmente negligentes cuando, a sabiendas, permitamos el nacimiento de niños con defectos genéticos graves? Y las víctimas de tales enfermedades, ¿tendrían posteriormente base legal contra sus padres, que no habrían emprendido ninguna acción para evitar que llegaran al mundo con pocas oportunidades de vivir una vida sin dolor y sin sufrimiento emocional?

No es ésta una posibilidad impensable.

Los genomas esconden muchos secretos y posibilidades. La receta, «un gen, una característica», puede ser cierta en algunos casos, pero no menos seguro es que grupos de genes, o la interacción entre genes, tenga también importantes consecuencias. Y éste es un campo en el que todavía resta mucho por explorar, al igual que el de producir vida a partir de elementos químicos, una posibilidad que comenzó a hacerse realidad en 2010, cuando Graig Venter anunció que había conseguido construir un genoma, casi

idéntico al de una bacteria natural, y utilizarlo para producir vida sintética. Fue, en más de un sentido, un resultado similar al obtenido por el químico alemán Wöhler cuando en 1828 produjo urea a partir de los elementos que la componen.

Y no olvidemos otro avance biológico como ha sido el descubrimiento de la existencia de un tipo de células, denominadas «células madre», que poseen la capacidad de convertirse en todo tipo de tejidos de órganos, y que, por consiguiente, pueden tener aplicaciones muy importantes en, por ejemplo, medicina regenerativa, inmunoterapia y terapia génica.

Internet de las cosas, robótica, inteligencia artificial

Mencioné antes que la tercera gran revolución de la historia fue la de la globalización, debida a las técnicas digitales y las computadoras, la informática e Internet. La presente, la cuarta revolución, en realidad consiste en una radical profundización de todas esas técnicas, que se manifestarán, que ya se están manifestando, en unas megatendencias tecnológicas, entre las que destacan la robótica avanzada, combinada con la inteligencia artificial y nuevos materiales, el Internet de las cosas y la impresión 3D, a las que podríamos, y seguramente deberíamos, añadir los vehículos autónomos.

La expresión «Internet de las cosas» es una de las que, junto a *Big Data*, más frecuentemente aparecen últimamente. En el fondo, no es ni más ni menos que la intensificación de la presencia de sensores en todo tipo de objetos y entornos, sensores que tienen acceso a Internet y que se conectan entre sí. Va más allá, en consecuencia, de lo que hasta ahora predominaba: la interacción «individuo-computadora/teléfono inteligente/tableta». Cámaras ubicuas, ropas inteligentes, «relojes» de pulsera, ropas o inodoros que recogen datos sobre nuestra salud y los transmiten a centrales

–también automatizadas e inteligentes– en hospitales, viviendas provistas de sensores que advierten de nuestras necesidades (de alimentación, limpieza, temperatura...) y que actúan en consecuencia, pasando la información a dónde corresponda, y teléfonos móviles implantables son algunos ejemplos de ese «Internet de las cosas», que afectará profundamente a nuestras formas de vida.

La predicción de George Orwell en *1984* (publicada en 1949), en la que el gobierno totalitario del Gran Hermano, que ponía cámaras de vigilancia en cada televisor, es un juego de niños con lo que ya existe, y más aún con lo que existirá.

Es inminente la llegada, la invasión, de máquinas «inteligentes» que superarán de largo a las conocidas y que podrán realizar muchas de las tareas protagonizadas hasta ahora por humanos, con mayor eficacia y seguridad que éstos. En un informe, «Preparándose para el futuro de la Inteligencia Artificial» (octubre de 2016), confeccionado por la Oficina Ejecutiva del Presidente, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el Comité para Tecnología, se explicaba que:

Avances realizados en la tecnología de la Inteligencia Artificial han abierto nuevos mercados y nuevas oportunidades de progreso en áreas como la salud, energía, educación, energía o medio ambiente. En los últimos años han aparecido máquinas que han superado a los humanos en la realización de ciertas tareas específicas, como, por ejemplo, en algunos aspectos del reconocimiento de imágenes.

Una posible forma de reconocer la Inteligencia Artificial es el denominado «test de Turing», propuesto por el genial y nada afortunado (se suicidó después de ser condenado por homosexualidad y haber aceptado, para evitar la cárcel, un tratamiento hormonal de castración química) matemático inglés Alan Turing, en un artículo titulado «Ingeniería computacional e inteligencia», publi-

cado en 1950 en la revista filosófica *Mind*. Sostuvo allí que una máquina es inteligente si una persona que la interroga, pero no la puede ver, es incapaz de deducir por sus respuestas si se trata de una máquina o de un humano. Turing, por cierto, no hablaba de «Inteligencia Artificial», término acuñado en 1955 por John McCarthy, sino de «si una máquina puede pensar».

Para el tipo de inteligencia implícita en el test de Turing podrían bastar dispositivos muy sofisticados pero estáticos, del tipo de *Deep Blue*, la computadora de IBM que derrotó en 1997 a Gary Kasparov, campeón mundial de ajedrez. Más reciente, enero de 2017, y mucho más significativo son las victorias de una máquina, *Libratus*, construida en la Universidad Carnegie Mellon, de Pittsburg, por dos matemáticos, Noam Brown y Tuomas Sandholm, en una partida de póker ante cuatro campeones mundiales de ese juego. Y digo «significativa», porque el póker no es como el ajedrez, basado en reglas lógicas, en millones y millones de posibilidades, pero todas obedeciendo a unas reglas fijas, sino que en el póker desempeñan un papel central las iniciativas de las personas, incluidos los «faroles».

Vivimos ya rodeados de innumerables dispositivos inteligentes de esta clase, aunque de inteligencia limitada, especializada, que realizan multitud de tareas. Dispositivos inteligentes como, por ejemplo, los *smartphones*, o «teléfonos inteligentes». Este tipo de Inteligencia Artificial ya está ayudando a resolver, o al menos a aliviar, algunos de los problemas que afectan hoy a la humanidad: vehículos —existen prototipos— que no necesitan de un conductor, que salvarán miles de vidas cada año y que incrementarán la movilidad de ancianos y discapacitados; edificios inteligentes que permiten economizar los gastos energéticos y reducir las emisiones de dióxido de carbono; servicios médicos automatizados, presenciales o a distancia; o sistemas para mejorar la enseñanza en todos los niveles educativos. Los ejemplos de máquinas como éstas, que no sólo respondan a preguntas sino que reaccionen ante el en-

torno, que tomen decisiones ante situaciones inesperadas y que puedan aprender de «experiencias» anteriores, son ya muy numerosos y lo serán mucho más en poco tiempo.

Por supuesto, también están los sistemas inteligentes «móviles», los *robots* que podrán mantener –ya existen algunos– otros tipos de relación, más personales y afectivas, con los humanos, y de apariencia más similar a ellos. No dudo de que todo esto llegará, más pronto que tarde. Y el problema, el motivo principal por el que ahora se habla de estos avances tecnológicos, es por cómo afectará al mercado laboral. Algunos estudios pronostican que en dos décadas el 47 por ciento de los empleos en Estados Unidos se verán sustituidos por procesos automatizados. El empleo crecerá en puestos de trabajo cognitivos y creativos de altos ingresos, y en ocupaciones manuales de bajos ingresos, pero disminuirá con fuerza para los empleos rutinarios y repetitivos de ingresos medios.

Leí hace poco un comentario esperanzado en el que se dice que en épocas anteriores de cambio tecnológico, el balance para el mercado laboral siempre resultó ser positivo. Ignoro si ocurrirá así con esta revolución, pero sí sé que la historia no ofrece necesariamente lecciones inmutables, sólo formas racionales de comprender el pasado. De lo que estoy seguro es de que muchas personas sentirán lo mismo que los luditas de los siglos XVIII y XIX, que trataron de combatir las máquinas de hilar que amenazaban sus trabajos en los nuevos telares industriales. Pero los luditas perdieron la batalla, como la perderán, si es que aparecen, quienes intenten luchar contra la robotización en curso. Recientemente se ha propuesto la idea de que los robots coticen a la Seguridad Social por los trabajadores que restan a las empresas. Aunque problemática –si cotizan, ¿tendrán luego «derechos laborales»; por ejemplo, acceso a sistemas de «salud», esto es, a ser reparados?–, es una manera de ayudar a un debate que es imperativo. Por el momento, lo que es

seguro es que los sistemas educativos deberán preparar a niños y jóvenes en las ciencias y tecnologías de la computación, porque serán ellas, *personificadas* en robots inteligentes y otras máquinas, las que condicionarán poderosamente el futuro.

El futuro, en definitiva, será interesante, muy interesante, e innovador. Que no se nos escape de las manos a la humanidad es tarea de todos.

J. M. S. R.

Este artículo está basado en una conferencia que pronunció el autor en la Fundación Tatiana Pérez de Guzmán el Bueno en febrero de 2017.

