

LA CIENCIA Y LOS RETOS DE NUESTRO TIEMPO

UNA REFLEXIÓN SOBRE EL PAPEL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

PERE PUIGDOMÈNECH ROSELL

La ciencia se ha desarrollado como una actividad intelectual de forma especialmente extensa e intensa desde final del siglo XIX. Sus resultados y los de un conjunto complejo de tecnologías están marcando la vida de nuestros ciudadanos e influyen en algunos de los parámetros globales del planeta. En esta situación los profesionales de la ciencia se plantean los objetivos de su trabajo en términos de las problemáticas a las cuales se enfrentan sus disciplinas por su propia dinámica interna, pero también por las demandas que la sociedad plantea. Reflexionar sobre estas diferentes perspectivas para definir las actividades de la investigación es una necesidad para los científicos. De este modo tendrían que participar también en la reflexión social sobre aquellas cuestiones que pensamos que son importantes para el futuro de nuestra sociedad.

Palabras clave: ciencia y sociedad, retos de la ciencia, ciencias de la materia, ciencias de la vida.

■ INTRODUCCIÓN

Los individuos de la especie humana tardamos mucho en crecer. Cuando nace un ternero o un potro, animales muy próximos a nosotros, pasan muy pocos minutos hasta que se ponen de pie y corren y tardan muy pocos años en ser fértiles y llegar a adultos. Nuestros niños tardan meses en andar, años en ser fértiles y muchos más hasta que los consideramos preparados para convertirse plenamente en miembros de nuestra sociedad. Los diferentes grupos humanos han gestionado este proceso, vital para su supervivencia, de una forma que les ha permitido adaptarse a su entorno. Y este ha cambiado profundamente durante los siglos y milenios y varía de una parte a otra del planeta. Es muy probable que los individuos adultos y los más mayores se hayan preguntado siempre cómo se las arreglarán los pequeños que van creciendo para sobrevivir en el mundo que les dejen. En este momento de la historia esta es una pregunta central de nuestros debates y para resolverla no podemos dejar de acudir a una de las principales

«UNA DE LAS SENSACIONES QUE TENEMOS EN ESTOS INICIOS DEL SIGLO XXI ES QUE VIVIMOS EN UN MUNDO ACELERADO»

herramientas que hemos desarrollado para tratar de comprender el mundo en que vivimos y que denominamos ciencia.

Una de las sensaciones que tenemos en estos inicios del siglo XXI es que vivimos en un mundo acelerado. Y esto es cierto en algunos aspectos, por ejemplo, en los cambios de todo tipo que nos está trayendo el uso sistemático de los artefactos basados en la electrónica y que no hace más de cincuenta años que han entrado en nuestras vidas. También es cierto que los números con que contamos a los miembros de nuestra especie, sobre todo en nuestras ciudades, han aumentado de manera acelerada últimamente (DESA, 2017). En consecuencia,

ha ido creciendo la necesidad de recursos de todo tipo que tenemos los humanos. Al mismo tiempo también cambia con gran rapidez la estructura de nuestra sociedad y en particular la de nuestras familias. Si volvemos al mundo de los niños, en las sociedades más opulentas, el número ha bajado radicalmente en el último siglo; las familias con uno o dos hijos son mayoría, mientras que aumentan las parejas que deciden no tener hijos y

aquellas que tienen diez o doce, lo que era corriente hace un tiempo, ahora son muy pocas. Este hecho se acumula con el aumento continuado de la esperanza de vida y todo ello proporciona una estructura social que se basa en una composición por edades desplazada hacia la gente más mayor, un cambio que se está dejando sentir fuertemente en las sociedades europeas. Los efectos de los resultados de la medicina y en particular de los anticonceptivos, pero también de los antibióticos, entre otros factores, tienen mucho que ver con estos hechos.

Como consecuencia de esta situación, en la actualidad la pregunta de qué mundo es el que dejaremos a nuestros hijos y nietos la sentimos con una cierta urgencia. Las sociedades de los siglos anteriores con toda seguridad estaban preocupadas por si les venía una guerra como aquella que acababan de sufrir, o por si una mala cosecha les impedía producir bastante alimento o por si aparecía una epidemia en la que perderían algún miembro de la familia. En todas ellas había individuos que salían en las noches claras a seguir el movimiento de las estrellas o que se preguntaban qué había detrás de las montañas que despuntaban en el horizonte o cómo vivía la gente de los países lejanos. Y, de manera más concreta, había quién trataba de resolver alguno de los problemas que tenía y de transmitir lo que había encontrado a su descendencia. De algún modo, ahora no nos encontramos en una situación diferente, lo que pasa es que somos muchos, estamos todos conectados de una forma u otra y hemos creado una sociedad compleja que nos da muchas soluciones pero que también nos crea muchas necesidades. Tenemos también la conciencia de que sabemos mucho más sobre el mundo en que vivimos y tenemos que tratar de encontrar la forma de usar lo que sabemos para resolver las cuestiones globales, regionales y personales que nos planteamos (Puigdomènech, 2016).

■ LAS CIENCIAS DE LA MATERIA

El siglo XX ha sido el siglo de la física. Hacia final del siglo precedente alguien había dicho que ya conocíamos todo de las fuerzas que aparecen entre los objetos



Thiago Barletta / Unsplash

El aumento de la esperanza de vida y la bajada de la natalidad en las sociedades más opulentas da como resultado una estructura social que se basa en una composición por edades desplazada hacia la gente más mayor. Un cambio que se siente fuertemente en las sociedades europeas.

**«HEMOS CREADO
UNA SOCIEDAD COMPLEJA
QUE NOS DA MUCHAS
SOLUCIONES PERO QUE
TAMBIÉN NOS CREA MUCHAS
NECESIDADES»**

materiales como la gravedad, la electricidad y el magnetismo. Y ya habían sido formuladas, sobre todo por la naciente disciplina que denominaremos química, algunas de las ideas que dieron lugar a la teoría atómica de la materia. Pero las limitaciones de las teorías clásicas de la física aparecieron muy pronto a principios del siglo, y en el periodo que va hasta la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron grandes concepciones nuevas de la física: lo que denominamos mecánica cuántica o la teoría de la relatividad. Estas teorías nos han acabado proporcionando un marco de una gran complejidad para explicar el mundo material, desde el universo en su conjunto hasta los componentes más básicos de la materia. Estos conceptos teóricos han tenido consecuencias importantes para nuestra concepción del mundo, pero también para la manera como vivimos. Solo hay que recordar que la comprensión y el desarrollo de los semiconductores necesita las teorías cuánticas



Patrick Hendry / Unsplash



NOAA Photo Library

Las ciencias de la materia se dirigen a aquellos que buscan soluciones en la producción de energía sin efectos en el clima o a los que quieren disminuir los residuos de todo tipo que producimos de forma excesiva. En la imagen, restos de plástico y otros tipos de residuos en la playa de la bahía de Kanapou, en Hawái (EEUU).

y que también en estas encontramos el origen de la electrónica y la microelectrónica en que basamos las aplicaciones digitales que revolucionan nuestro mundo. El desarrollo de las ciencias de la materia ha sido, por lo tanto, deudor de la visión global que la física nos proporciona de las fuerzas que gobiernan la materia y ha sido esencial para que hayan aparecido aplicaciones tecnológicas que han cambiado la vida de las sociedades humanas de forma radical en los últimos siglos.

Los éxitos de las actuales teorías físicas no tienen que esconder sus lagunas. La carencia de una teoría global que incluya cuántica y relatividad, la carencia de explicación de la asimetría materia-antimateria, el desconocimiento de la naturaleza de la materia y la energía oscura del universo son ejemplos de lagunas en el edificio teórico actual de la física. En el terreno más aplicado, el control de la fusión nuclear para obtener una fuente intensa y no contaminante de energía, el desarrollo de aplicaciones de la luz, los ordenadores cuánticos o los nuevos materiales son algunos de los retos en que se trabaja en varias disciplinas de la física. Evidentemente, a las ciencias de la materia, incluyendo la física y la química, se dirigen aquellos que buscan soluciones en la producción de energía sin efectos en el clima o los que quieren disminuir los residuos de todo tipo que producimos de forma excesiva y que constituyen uno de los problemas esenciales de nuestra sociedad, que se pregunta si dejaremos a nuestros descendientes un mundo en el cual podrán vivir con niveles de bienestar parecidos a los nuestros.

■ LAS CIENCIAS DE LA VIDA

En la segunda mitad del siglo XX, las ciencias de la vida han tomado de alguna manera el relevo de las ciencias de la materia como adalides en la creación de ideas científicas. Por un lado, conceptos que se formularon en el siglo XIX como la evolución biológica, las leyes de la transmisión hereditaria o la teoría celular pusieron la base a unas concepciones coherentes del funcionamiento de los organismos vivos. Por otro lado, aproximaciones que venían de la física o la química han sido aplicadas a los materiales y a las poblaciones biológicas y han proporcionado un alud de información nueva que permite estudiar desde el detalle más profundo de los organismos vivos hasta el comportamiento de los



Las fuentes de energía más importantes en la actualidad son las fósiles y su uso masivo es una de las causas de los cambios que observamos en el clima de nuestro planeta. En la imagen, refinería en West Bountiful (Utah), en los EEUU.

grandes sistemas ecológicos. De este modo ha sido posible formular una visión coherente del origen y la evolución de las especies biológicas, incluida la especie humana. Hemos ido entendiendo de manera progresiva las patologías que se presentan sobre todo en nuestra especie y estamos tratando de entender las consecuencias de nuestra actuación sobre el conjunto de las especies que pueblan el planeta, actuación que ejercemos de una manera intensa, ya sea directa o indirectamente.

En estos momentos del siglo XXI se continúan presentando retos importantes de la biología en las fronteras de su investigación. Por un lado, vamos explorando los detalles de los componentes de materia biológica y de sus interacciones en el entorno celular hasta llegar al nivel atómico. En estos momentos, el conocimiento que hemos acumulado durante el último medio siglo es de tal magnitud que ya se puede combinar en su complejidad para proporcionar visiones integradas del funcionamiento de los seres vivos. Por otro lado, tratamos de entender el comportamiento de los grandes sistemas biológicos y de su interacción con el medio ambiente. Todo ello permite integrar datos de procedencia muy diversa que proporcionan una visión de conjunto del funcionamiento de las células, los organismos o de los ecosistemas a un nivel que era imposible hasta hace poco tiempo. Es posible que los grandes desarrollos metodológicos que se han dado en los últimos años hayan sido producidos por la aparición de un conjunto de aproximaciones nuevas en el análisis de las grandes moléculas que constituyen los organismos vivos, en particular el ADN. Estas novedades se han acelerado en los últimos años, especialmente en la secuenciación del ADN y de sus análisis bioinformáticos, pero también en los análisis de imágenes que tienen influencia en muchos campos de la biología incluyendo el análisis de grandes poblaciones animales y vegetales. Este conjunto de métodos ha permitido que se planteen cuestiones de gran impacto social. Dos ejemplos son los análisis genéticos en los individuos humanos y su traducción en decisiones médicas, y los resultados de los estudios sobre los cambios que se producen en el clima a escala planetaria.

«NUESTRA SOCIEDAD TIENE REQUERIMIENTOS MUY SUPERIORES A LOS QUE TENÍAN SOCIEDADES DE HACE MENOS DE UN SIGLO»

Actualmente nuestra sociedad tiene unas necesidades que no existían en sociedades de hace menos de un siglo, como por ejemplo el acceso a la energía o a las redes de comunicación digitales. En la imagen, fotografía nocturna de la Tierra realizada desde el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA, donde se aprecian los patrones de asentamiento humano en el planeta a partir de la presencia de red eléctrica.

■ LOS RETOS DE LA CIENCIA

Las ciencias de la materia y las ciencias de la vida son las dos grandes divisiones de la ciencia actual. Podríamos evidentemente participar en la discusión sobre si hay que considerar dentro de las ciencias aquellas disciplinas que se ocupan de la sociedad humana, o sobre el estatus de las matemáticas o el de las ingenierías en este contexto. Esta discusión es especialmente relevante hoy en día, cuando las fronteras entre disciplinas se hacen cada vez más difusas. Pero existe otra perspectiva que no podemos olvidar en absoluto. Se puede argumentar que la ciencia, o la filosofía natural, como también se denominó hasta la Ilustración, procede de la curiosidad humana que lleva a la gente

NASA Earth Observatory images by Joshua Stevens, using Suomi NPP VIIRS data from Miguel Román, NASA's Goddard Space Flight Center





a preguntarse sobre el porqué de las cosas. Pero hay que aceptar también que la ciencia es al mismo tiempo, sobre todo en nuestro mundo actual, un elemento esencial para aportar respuestas a los principales problemas que se plantean los humanos como individuos y como sociedad.

Estos retos generales han sido objeto de reflexión en las instituciones de alcance planetario que se crearon a partir de la Segunda Guerra Mundial y han dado lugar recientemente a la formulación de lo que se conoce como los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), aprobados por las Naciones Unidas en septiembre del 2015 (UN, 2015). Se trata de diecisiete objetivos que entre ellos son muy diferentes en cuanto a alcance y posible impacto en la definición de retos para la ciencia. Está muy claro que acabar con el hambre o incrementar la salud de los humanos son dos objetivos que han estado siempre presentes en la investigación en las ciencias de la vida. Conseguir un

**«UNO DE LOS RETOS
DE LA CIENCIA ES DAR AL
CIUDADANO INFORMACIÓN
PARA QUE PUEDA
TOMAR LAS DECISIONES
NECESARIAS»**

cuando podemos datar el inicio de la sociedad neolítica. Lo que nos encontramos actualmente es, por un lado, que nuestra sociedad tiene unos requerimientos muy superiores a los que tenían sociedades de hace menos de un siglo. Pensemos, por ejemplo, en lo que consideramos la necesidad de acceso a la energía o a las redes de comunicación digitales, dos recursos que están disponibles no hace más de un siglo. Por otro lado, la población humana ha crecido de una forma exponencial durante los últimos cien años y sus actividades de todo tipo se han desarrollado de forma que los impactos ambientales se empiezan a dejar sentir a una escala planetaria.

Estas problemáticas son en parte debidas a la aplicación de nuestro conocimiento. Por ejemplo, una de las razones, no la única, del aumento de la población humana es la aplicación de nuestro conocimiento médico, que nos hace vivir más años y en un mejor estado de salud. Y el aumento de la población humana es uno de

acceso suficiente al agua y a la energía son objetivos constantes de la investigación física, como también lo son los relacionados con los impactos de la actividad humana en los equilibrios del planeta como el clima o la vida submarina o terrestre. Actualmente nos preguntamos de forma particular cuál será el posible impacto de las nuevas tecnologías digitales y de la robótica sobre el acceso al trabajo. Por otro lado también hay que tener en cuenta que la propia investigación solo se puede desarrollar en un entorno de libertad y de paz, y tiene que tener como objetivo reducir las desigualdades entre las poblaciones humanas y muy en particular las desigualdades de género como reclaman los Objetivos para el Desarrollo Sostenible.

Desde un punto de vista más general hace falta también argumentar que el hambre, las intemperies o las enfermedades son problemas que los humanos siempre han tratado de resolver mediante el conocimiento y la investigación de soluciones posibles. Y estos problemas no son muy diferentes en su raíz a aquellos que se les presentaban a nuestros antecesores hace 12.000 años,

los factores que acaban produciendo un mayor impacto sobre nuestra sociedad y sobre la demanda de recursos de todo tipo. Por ejemplo, uno de los recursos imprescindibles es el de alimentos, una necesidad básica para toda persona; y la demanda de alimentos produce una presión sobre la producción agrícola y ganadera, la cual a su vez se basa en la ocupación de terrenos y el uso de agua, de abonos y de productos de tratamientos contra plagas para mantener la producción (FAO, 2018). Nuestra sociedad se ha ido adaptando a disponer de fuentes de energía muy accesibles en las que se basan actividades esenciales para nuestra vida actual como son el transporte de personas y mercancías o el funcionamiento de un conjunto de máquinas que llenan nuestras casas, nuestras industrias y nuestras vidas (IEA, 2017). Entre los sistemas más comunes están aquellos que nos permiten utilizar tecnologías digitales basadas en sistemas electrónicos con los cuales tratamos todo tipo de datos y con los que nos comunicamos de forma extensiva. Las fuentes de energía más importantes en la actualidad son las fósiles, y su uso masivo es una de las causas de los cambios que observamos en el clima de nuestro planeta (IPCC, 2014). Lo mismo podríamos decir de recursos como los metales o los materiales para la construcción. Y todo ello produce una cantidad de residuos que en muchos casos no sabemos cómo tratar.

Aumento de la población, uso masivo de energía y otros recursos, producción de residuos y sus efectos sobre el clima o sobre la diversidad biológica... Como consecuencia de estos factores se plantea la necesidad de reflexionar sobre la forma en que utilizamos el conocimiento y las nuevas tecnologías. Como hemos visto anteriormente, este conocimiento se ha enriquecido de una forma considerable en los últimos años. En las disciplinas de las ciencias de la vida hemos explorado los mecanismos más íntimos de las funciones celulares y su relación con la transmisión de la información genética. Este conocimiento ha dado lugar también a un conjunto de posibilidades de actuar sobre esta información, es decir, de modificar los genes de diferentes organismos biológicos. Esta posibilidad se ha estado empleando en bacterias, hongos, plantas y animales en el marco de las regulaciones en los diferentes países y de debates intensos. El debate sobre la modificación genética de la especie humana hasta ahora ha permanecido cerrado y esta ha sido rechazada excepto en casos muy concretos de tejidos que se podían modificar de forma externa al cuerpo humano. La aparición de



Alex Kotlarsky

Nos hemos acostumbrado a utilizar tecnologías digitales con las que tratamos todo tipo de datos y con las que nos comunicamos de forma extensiva.

nuevas metodologías de modificación genética más dirigida ha puesto este debate otra vez sobre la mesa. En el otro extremo del análisis biológico, el de la dimensión planetaria o de los entornos ecológicos, las posibilidades de actuar o de dejar de actuar son también objeto de debate.

En estos primeros decenios del siglo XXI nos encontramos, por lo tanto, en la situación de que las aspiraciones de la especie humana de acceso a los recursos básicos de su vida están garantizadas de una forma que nunca se había dado en su historia para una parte de la población. Y unas posibilidades muy diversas, por ejemplo, en la energía o las telecomunicaciones han ido apareciendo y dando lugar a dimensiones nuevas de la vida humana que parecen convertirse en nuevos derechos que hay que garantizar. Al mismo tiempo, la dimensión de la actividad humana ha crecido de forma exponencial y está dando lugar a efectos planetarios que pueden incidir en la posibilidad de que las generaciones futuras puedan lograr niveles de bienestar similares a aquellos de los que disfruta al menos una parte de la población humana, mientras que sabemos que hay grandes minorías que no tienen toda-



Ryoji Iwata / Unsplash



National Institutes of Health, USA

Una de las razones del aumento de la población humana es la aplicación de nuestro conocimiento médico, que nos permite vivir más años y en un mejor estado de salud. En la imagen, laboratorio del Centro de Investigación de Vacunas de los Institutos Nacionales de Salud de los EEUU.



El aumento de población humana es uno de los factores que han producido un impacto más grande sobre nuestra sociedad y sobre la demanda de recursos. En la imagen, vista aérea de una calle de Shibuya, en Japón.

vía acceso a esos niveles de bienestar. Nos encontramos, por lo tanto, en la situación de tomar decisiones complejas a las cuales a menudo no tenemos mecanismos para responder, mientras que nuestro conocimiento es más vasto y profundo que nunca y, por tanto, tendríamos que estar más preparados para afrontar los retos de todo tipo que se presentan.

En este entorno, las demandas de los ciudadanos hacia aquellos que cultivan la ciencia son muchas y a menudo contradictorias. Uno de los retos de la ciencia en este momento es dar al ciudadano información de la mejor calidad posible para que pueda tomar las decisiones necesarias y proporcionar, cuando sea posible, las herramientas para actuar en las direcciones que la sociedad decida. También es un reto hacer que los resultados de la investigación lleguen lo más pronto posible a aquellos que pueden ser los receptores. Esto se hace mediante la actividad industrial, que tiene una dinámica y unos intereses propios, lo que puede dar lugar a conflictos de intereses que son preocupantes para la credibilidad de la ciencia frente a los ciudadanos. La reflexión sobre los retos de la ciencia no se puede aislar de las preocupaciones del conjunto de la sociedad. Es la misma convicción de que muchas de las cuestiones que se le plantean de forma global a nuestra sociedad no tienen solo una solución científica y tecnológica, sino también que, sin disponer del mejor análisis científico y sin aplicar las mejores tecnologías disponibles, no habrá solución a la mayoría de ellas. 🔄

REFERENCIAS

- DESA. (2017). *World Population prospects: The 2017 revision. Key findings and advance tables*. Nueva York: United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Consultado en <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>
- FAO. (2018). *The state of food security and nutrition in the world, Building climate resilience for food security*. Roma: FAO. Consultado en <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/en/>
- IEA. (2017). *World energy outlook 2017*. París: International Energy Agency. Consultado en <https://www.iea.org/weo2017/>
- IPCC. (2014). *Climate change 2014. Synthesis report*. Ginebra: IPCC. Consultado en <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Puigdomènech, P. (2016). *Desafíos del futuro. Doce dilemas y tres instrumentos para afrontarlos en el duodécimo milenio*. Barcelona: Crítica.
- UN. (2015). *About the Sustainable Development Goals*. Consultado en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

Pere Puigdomènech Rosell. Licenciado en Física y doctor en Biología. Es profesor de investigación del Centro de Investigación en Agrigenómica (CSIC-IRTA-UAB-UB) de Cerdanola (Barcelona, España). Ha trabajado en los dominios de la biofísica, la biología molecular y la genómica, y actualmente su investigación se centra en las plantas. La comunicación de la investigación a los ciudadanos, la política científica y la integridad de la ciencia han sido objeto de sus publicaciones. Ha tenido funciones de dirección en centros de investigación y es miembro activo de instituciones académicas de ámbito europeo y de habla catalana. ✉ pere.puigdomenech@cragenomics.es