

# CSIC INVESTIGA



Revista de ciencia

Número 4 · Julio-diciembre 2022

# SOCIEDAD DIGITAL

CIENCIA DE DATOS

**Algoritmos para la salud y la energía**

FOTÓNICA

**Motor de la innovación tecnológica**

CUÁNTICA

**Computación para sectores estratégicos**

ROBÓTICA

**Exoesqueletos para la salud**

SALA BLANCA DEL IMB **El templo donde se forjan los chips para viajar a las células y al espacio**

# Hacia la soberanía digital para sostener la sociedad futura

por **Roberta Zambrini** y **Gemma Rius**



**Revista CSIC Investiga**  
Departamento de Comunicación  
Gabinete de Presidencia  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Calle Serrano 117. 28006 Madrid  
Email: [comunicacion@csic.es](mailto:comunicacion@csic.es)

**Jefe de Comunicación:**  
Abel Grau

**Consejo de redacción:**  
Alejandro Parrilla García, Esther M. García Pastor

**Redactores:**  
Mónica Lara del Vigo, Javier Granda Revilla, Belén Remacha, Alejandro Parrilla García, Esther M. García Pastor, Sergio C. Fanjul, Marta García

**Fotógrafos:**  
César Hernández, Álvaro Muñoz Guzmán, Joan Costa, Lorenzo Plana y Andrea González Masa

**Infografía:**  
Martín García

**Diseño y maquetación:**  
David Pamplona

**NIPO:**  
833-21-013-8

**Depósito Legal:**  
M-16089-2022



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

**E**ntre los cambios más profundos de las últimas décadas, la digitalización masiva, el big data, y la inteligencia artificial (IA) destacan por su inconmensurable impacto y ubicuidad. Abarcan toda actividad humana, desde la investigación fundamental hasta nuestra cotidianidad. Por ello, los retos científicos y tecnológicos que entrañan la digitalización y la inteligencia artificial necesitan un enfoque multi e interdisciplinar.

Partiendo de los avances de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), la investigación aborda aspectos diversos: la conectividad y seguridad en las comunicaciones, el procesamiento y almacenamiento de información y el acceso y gestión de datos, el aprendizaje automático y la robótica, entre otros. Engloba el desarrollo tanto en dispositivos físicos como en ámbitos virtuales.



Su capacidad transformadora ha sido muy evidente al generar, por ejemplo, nuevos modelos de negocio, como el comercio electrónico, o la administración digital, y ha ampliado las posibilidades en salud y medio ambiente. Estos cambios tienen implicaciones socio-políticas que llegan a alcanzar los derechos individuales y colectivos, la inclusión social, y la paz.

En los últimos años, las inversiones en desarrollo científico e innovación en este campo por parte de China y EEUU, y más recientemente de Europa, demuestran su carácter estratégico. La viabilidad de políticas y economías pasa por garantizar la soberanía tecnológica y digital.

Un ejemplo es la reciente crisis de los semiconductores, en que la deslocalización de la fabricación y discontinuidades en la cadena de valor han llegado a bloquear la producción en industrias esenciales como la automoción, y que está impulsando el diseño, desarrollo y producción de lo que se conoce como el Chip Europeo.

El grado en desarrollo digital de cada Estado y de la UE en conjunto se monitoriza desde 2014 con el Digital Economy and Society Index, que contempla capital humano, conectividad,

integración de la tecnología digital, servicios públicos digitales e I+D en las TIC. España es novena en 2021 en servicios públicos digitales y conectividad, por encima de la media europea, mientras que la presencia de especialistas en TIC es mejorable. Destacan puntos débiles en la integración de las tecnologías digitales, y en la falta de implantación de la IA, el big data y la nube.

En los últimos años, la digitalización ha emergido como una prioridad para España y desde 2020 el Ministerio de Economía incluye entre sus competencias la Transformación Digital, así como una Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial. También se ha aprobado la hoja de ruta España Digital 2025, que abarca de forma transversal innovación, comunicaciones, seguridad, inteligencia artificial y derechos de la ciudadanía.

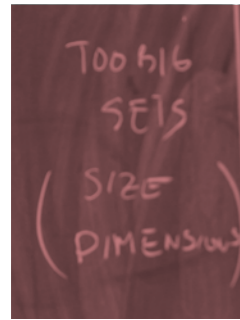
El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia español incluye ambiciosas reformas e inversiones en el ámbito digital, destinando a este apartado casi un tercio del total. De este presupuesto, un 10% corresponde a apoyar la I+D, así como la implantación de las tecnologías digitales. La estrategia nacional en IA se ve reforzada con iniciativas coordinadas y un presupuesto de 500 millones de euros.

El CSIC es un actor fundamental para aglutinar esfuerzos a nivel nacional y se ha dotado de una red de investigación, denominada Hub IA, con 35 centros que impulsan la colaboración y la atracción de talento. El organismo recoge los retos de la década en dos libros blancos: *Inteligencia Artificial, Robótica y Ciencia de Datos*, e *Información Digital y Compleja*, que abordan cuestiones como la ciencia ciudadana, humanidades digitales, ciencia abierta, el internet de las cosas, comunicaciones seguras, óptica y computación cuántica. En este último ámbito, un ejemplo de iniciativa a nivel nacional de tecnologías emergentes que impulsan la digitalización es el proyecto Quantum Spain. El CSIC, además, ha creado una plataforma temática interdisciplinar en tecnologías cuánticas.

En definitiva, las tecnologías digitales son transversales en la mayoría de las plataformas de investigación del CSIC, como palanca para propulsar el avance del conocimiento hacia una sociedad más segura, inclusiva y sostenible. ●

**ROBERTA ZAMBRINI** es doctora en Física. **GEMMA RIUS** es doctora en Física.

INVESTIGACIÓN

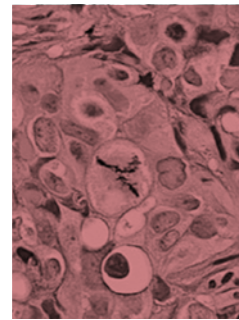


**06**

CIENCIA DE DATOS

**La revolución de los flujos de información**

La actividad en dispositivos digitales se aplica a la investigación en epidemiología, agricultura y ciberseguridad



**12**

ALGORITMOS PARA MEDICINA

**Aprendizaje automático en tratamientos**

Los investigadores buscan aplicaciones para hacer frente a enfermedades como el cáncer y el Alzheimer

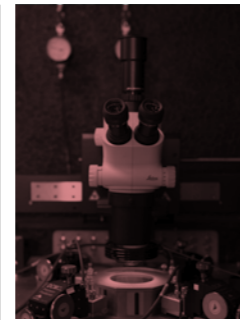


**16**

FOTÓNICA

**La tecnología transformadora del siglo**

Podría aplicarse para acelerar la comunicación, la computación y las prometedoras redes neuronales



**20**

INFRAESTRUCTURAS

**La Sala Blanca del IMB, donde se forjan los chips**

Fabrica micro y nanodispositivos para estudiar las células y el cerebro y para viajar a Mercurio y al Sol

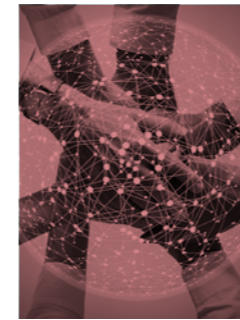


**26**

CUÁNTICA

**Tecnología disruptiva para sectores estratégicos**

Varios proyectos buscan aplicar este tipo de computación para impulsar las finanzas, la energía y la defensa



**30**

SOCIEDAD

**La tecnología digital empodera a la ciudadanía**

La pandemia de covid-19 ha impulsado a las redes sociales como herramientas de cooperación



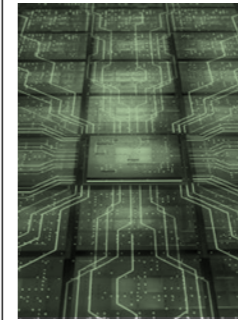
**34**

DETECTORES DE BULOS

**'Apps' contra la desinformación**

Permiten identificar 'fake news' y educar a los usuarios en el uso de las tecnologías de la información

INTERNACIONAL



**48**

**Computación en la nube para impulsar la ciencia**

'Software' de investigadores del CSIC para impulsar la investigación en imagen médica, teledetección y cambio climático

FORMACIÓN

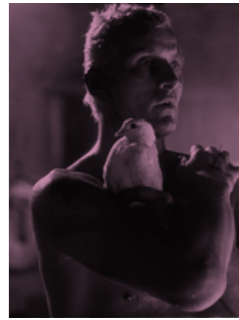


**52**

**Datos para mejorar la medicina y diseñar robots**

Jóvenes investigadores del CSIC aplican la inteligencia artificial para garantizar la privacidad y prevenir la xenofobia

CULTURA CIENTÍFICA



**56**

**Ventana de cine para la ciencia futura**

Cuatro expertos en robótica e inteligencia artificial comentan las ficciones proyectivas

**44**

TRANSFERENCIA

**Primer exoesqueleto pediátrico del mundo**

Robots que ayudan en la rehabilitación de la atrofia muscular y la parálisis cerebral



Y ADEMÁS

**ÉTICA:** Riesgos y promesas de las tecnologías **P38**

**ENTREVISTA:** Agnès Ponsati: "La ciencia abierta incrementa la eficiencia de la investigación" **P42**

# La revolución de los datos

La ciencia de datos se nutre del constante flujo de información que generan los usuarios de dispositivos móviles y redes sociales, y promete propulsar la investigación en campos como la salud y la energía. Equipos del CSIC estudian su aplicación en ciberseguridad, agricultura y epidemiología

Por **Mónica Lara del Vigo**

**E**n solo un minuto, Google recibe más de cuatro millones de peticiones de búsqueda. Cada día Facebook recoge 300 millones de fotos y Twitter acumula 400 millones de tuits. Amazon cuenta ya con 278 millones de clientes de los que registra datos y comportamientos de compra. Son cifras extraídas del libro *Big data. Conceptos, tecnologías y aplicaciones* (CSIC-Catarata), en el que los investigadores **David Ríos** y **David Gómez-Ullate** analizan el potencial de este *mar de datos* y los retos que plantea su utilización. Cada mail, *whatsapp*, descarga, compra online o interacción en redes sociales deja rastro: un torrente de información sobre cómo actuamos, nos sentimos, nos movemos o reaccionamos ante problemas personales, nuevos

productos de consumo o ciertas decisiones políticas. Son miles de millones de datos –big data– que despiertan un interés creciente en Gobiernos y empresas, y que se caracterizan por su gran volumen, la velocidad a la que se producen y la variedad de formatos que presentan.

“Al hablar de big data con frecuencia se pone el énfasis en el volumen de datos y en la capacidad de almacenarlos y procesarlos; sin embargo, para mí lo relevante es extraer valor de esos datos, emplear adecuadamente algoritmos para su procesamiento que permitan aprender de ellos y tomar decisiones mejores. Se trata de que la aplicación que se desarrolle en cada caso pueda predecir comportamientos futuros y realizar tareas que entendemos como inteligentes”, explica David Ríos, del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT) del CSIC.

Este es el enfoque que vertebra el proyecto de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, junto a la

Real Academia de la Ciencia, que Ríos ha coordinado: “Ayudamos a elaborar el Programa Estatal de Seguridad Operacional, centrado en mejorar la asignación de los recursos para reducir la probabilidad de que se produzcan incidentes de seguridad y, si se producen, disminuir su impacto”, afirma. Para ello han construido modelos matemáticos de toma de decisiones y modelos de predicción complejos que contemplan consecuencias múltiples, “desde lograr que haya menos muertes a que el efecto sobre la imagen de país sea el menor posible”, detalla. Este trabajo ha redefinido la gestión de riesgos de seguridad aérea y ha permitido al Estado ahorrar 800 millones de euros en costes de seguridad equivalentes.

En los últimos años, los avances tecnológicos y la mayor disponibilidad de datos han propiciado un despegue del big data sin precedentes, una tendencia que tiene su reflejo en la investigación. Los



libros blancos del CSIC *Digital & complex information*, coordinado por **Roberta Zambrini** y **Gemma Rius**, e *Inteligencia artificial, robótica y datos*, coordinado por **Carles Sierra** y **Sara Degli Esposti**, analizan los desafíos de la actual sociedad digital y describen proyectos relacionados con el big data en los que están implicados decenas de institutos del organismo.

La temática es muy variada, pero hay dos ámbitos en los que Ríos cree que la ciencia de datos será especialmente relevante: salud y energía. En el primero, el big data se utilizará, por ejemplo, para descubrir nuevos fármacos. Él mismo participa en un proyecto del ICMAT en el que "se reemplazan actividades experimentales muy costosas, como diseñar una molécula y probarla, por la construcción de modelos matemáticos que permiten predecir las propiedades que interesan de esas moléculas. Así el proceso de fabricación de un medicamento es más rápido", señala.

En el campo de la energía, muchos esfuerzos se orientan a la predicción de hábitos de consumo. "Va a ser habitual la figura de los *prosumidores* [consumidores que también producen], es decir, habrá muchos pequeños productores de energía y la gestión de esos datos será fundamental para tener mercados más eficientes", afirma. En este sector, además, el big data se relaciona con el ahorro energético y la sostenibilidad: "Tengo amigos que tienen ultrasensorizadas sus casas para saber con detalle cuál es la temperatura de cada habitación y las horas de mayor consumo. Toda esa información sirve para construir modelos de predicción y lograr un consumo más eficiente".

### Exfiles: big data contra la delincuencia

Otras áreas en las que el big data ya se aplica intensamente son la agricultura y la ciberseguridad. En este último ámbito se inscribe



David Ríos, investigador del Instituto de Ciencias Matemáticas del CSIC. / ALVARO MUÑOZ GUZMÁN

el proyecto europeo Exfiles, en el que participan los investigadores **Salvador Hidalgo** y **Jofre Pallarès**, del Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM). Ambos resumen el propósito de esta iniciativa con un ejemplo hipotético: la policía consigue el móvil de un sospechoso de pornografía infantil. Una orden judicial permite que el teléfono se abra para tener evidencias del delito, pero está encriptado. Ahí entran en juego las herramientas que se están desarrollando en el proyecto: distintos métodos hardware y software para extraer datos de *smartphones* usados por delincuentes que puedan servir como evidencias forenses en un proceso judicial.

"En un móvil moderno de alta gama el contenido de la memoria

está encriptado. Es necesario encontrar la clave de encriptación para poder acceder a esa información. Generalmente, esta clave se almacena dentro de su procesador principal; para su recuperación, debemos desmontar el circuito integrado capa a capa, analizando su funcionalidad hasta localizar el lugar donde se guarda la información que nos permitirá descryptar la memoria", explica Hidalgo.

En Exfiles hay varios grupos de investigación que están trabajando en diversos métodos para acceder a los chips de los dispositivos. En este proceso, el análisis de cantidades masivas de datos es ineludible: "A veces se introduce en el teléfono una clave de encriptación inventada, y al comprobar que no es correcta, nos devuelve

un mensaje de error. Esta acción se repite miles de veces para observar cuál el consumo de energía del chip en esas operaciones. Después, analizando esos datos, se puede llegar a descubrir cuál es la clave secreta. Pero necesitamos un ordenador que repita este ciclo una y otra vez durante horas", cuenta Pallarès.

El proyecto aglutina a un consorcio integrado por centros de investigación —el CSIC y su homólogo francés, el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)—, universidades, empresas de ciberseguridad y grupos forenses de cinco agencias policiales de Noruega, Países Bajos, Alemania, Francia y España. Una especificidad de Exfiles es que se enmarca en un ámbito estrictamente legal;

su objetivo es lograr pruebas que puedan utilizarse en un juicio.

"Los usuarios de estas técnicas, que podrán aplicarse en investigaciones sobre pederastia, terrorismo o crimen organizado, son forenses de fuerzas de seguridad públicas. Las herramientas desarrolladas en el proyecto se usarán solo para obtener evidencias probatorias, siempre con una orden judicial que permita su uso", recalcan.

La principal aportación del CSIC es que el grupo de trabajo del IMB-CNM es de los pocos en Europa que puede aunar el diseño y la producción de este tipo de tecnología, gracias a infraestructuras como la Sala Blanca de Micro y Nanofabricación de su instituto. Los objetivos de Exfiles

son complejos: "Cada chip tiene su propio *dibujo*, una serie de formas geométricas que definen los diferentes transistores y funcionalidades lógicas. Con big data e inteligencia artificial aplicamos procedimientos matemáticos que facilitan la identificación de los componentes e interconexiones del circuito, reduciendo el tiempo necesario para su estudio y reconstrucción".

Por otro lado, los fabricantes, que hacen dispositivos cada vez más seguros, son reacios a colaborar con la policía. Pallarès recuerda cuando, en 2016, el FBI se incautó del teléfono móvil del sospechoso de un ataque terrorista. "Era un iPhone con información encriptada. Apple se negaba a revelar sus medidas de seguridad y al final el FBI pagó a una empresa israelí que tenía software para burlar esa seguridad. Pero fue una solución temporal. En la siguiente generación de móviles, Apple neutralizó el software israelí. Es como el juego del gato y el ratón", describe. Esta situación explica las cláusulas de confidencialidad del proyecto. "Lógicamente, nunca se publicará qué chips estamos analizando ni qué soluciones estamos encontrando", comentan.

### Agricultura de precisión a bajo coste

El proyecto Morera (Sistema para la monitorización del riego eficiente y el rendimiento agrícola) ejemplifica el uso del big data para lograr una agricultura más sostenible. Su objetivo es optimizar la productividad agraria en un contexto de escasez de agua. Impulsado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), en él participan varias empresas y organismos públicos de investigación, entre ellos el Instituto de Agricultura Sostenible (IAS) del CSIC. Ahí trabaja el equipo que coordina **Victoria González** con una misión clara: "Desarrollamos algoritmos de inteligencia artificial y big data necesarios para



## El proyecto Exfiles desarrolla tecnología para ayudar a las fuerzas policiales en la recuperación de información encriptada

identificar la dosis óptima de riego en función de las necesidades de los cultivos y de la cantidad de agua disponible”, explica la investigadora.

Con la ayuda de instrumentos ópticos a bordo de satélites miniaturizados, Morera pretende monitorizar la evapotranspiración de los cultivos [cantidad de agua que usa la planta] a partir de las imágenes obtenidas con una cámara térmica de gran resolución. De este modo se lleva a cabo un seguimiento personalizado de cada parcela y es posible evitar a tiempo niveles de estrés hídrico excesivos que pongan en peligro las cosechas. Los agricultores podrán aplicar “la agricultura de precisión a bajo coste con un sistema que les proporcionará una medida periódica del estado de los cultivos. También les dará recomendaciones personalizadas de riego y previsiones de rendimiento basadas en nuestros algoritmos”, detalla González.

En el escenario actual, con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU como meta y un sinfín de recomendaciones europeas en torno a la sostenibilidad y la seguridad alimentaria, estos propósitos cobran especial relevancia. “El campo se enfrenta a muchos retos: caída de precios, subida de costes de producción y, por encima de todo ello, el cambio climático”. En consecuencia, González considera que los agricultores se enfrentan a “la necesidad de producir más con menos recursos”. “Y si hay un recurso limitado en la agricultura mediterránea, ese es el agua”, añade. Este proyecto podría reducir hasta un 25% la necesidad hídrica en los cultivos al integrar datos de múltiples fuentes. More-

ra, que comenzó a desarrollarse el pasado año, se prolongará hasta finales de 2023 y cuenta con un presupuesto de más de 5,3 millones de euros.

### Big data y propagación pandémica

En el ámbito de la salud, la tecnología big data tiene múltiples aplicaciones: desde la provisión de técnicas de imagen y ayuda al diagnóstico de enfermedades, hasta herramientas capaces de extraer, filtrar y analizar la información relevante para estudios en epidemiología y salud pública. En su libro, Ríos y Gómez-Ullate ponen como ejemplo la detección temprana de melanomas, algo crucial para que el tratamiento posterior sea eficaz. Tal y como relatan, en poco tiempo tendremos de una *app* en el móvil “en la que podremos hacer una foto del lunar y nos dirá inmediatamente de qué se trata” descifrando los píxeles de la imagen a partir del análisis de miles de datos.

Dentro de los estudios epidemiológicos, y enmarcado en las actividades de la plataforma Salud Global del CSIC, el proyecto Face usa herramientas para el modelado y análisis de datos en relación con la propagación epidémica. Su coordinador, **José J. Ramasco**, es investigador del Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos (IFISC), ubicado en Palma de Mallorca. Ramasco lleva 15 años trabajando en big data, en particular analizando los efectos de la movilidad sobre la propagación de epidemias.

“Cuando comenzó la pandemia, tiramos de datos y trabajos previos, no tanto para hacer predicciones

como para entender los patrones de propagación del SARS-CoV-2. Partíamos del supuesto de que a una población comenzaban a llegar personas infectadas y simulábamos distintos escenarios para entender cómo se comportaría la epidemia en esa zona”, explica. Para ello se basaban en información empírica sobre la cantidad de gente que viajaba de un sitio a otro. “Vimos que si en ese contexto no cortas la movilidad, a nivel local habrá olas mayores, la enfermedad avanzará más y se producirán picos más fuertes que pondrán el sistema sanitario en riesgo de colapso”, añade.

Con Face buscan ir más allá de la construcción de un modelo y abrir el proyecto a la ciudadanía. “Queremos desarrollar un ecosistema de datos que pueda utilizar todo el mundo siguiendo la filosofía de la ciencia participativa. Cualquier persona podrá ver, a partir de datos de todo el país, qué pasaría si en un lugar comienza una epidemia que provoca X enfermedad (covid, gripe, tuberculosis u otra). El modelo dará unos resultados, los analizará con gráficos y se podrán descargar”, apunta Ramasco.

La idea es que la gente acceda a los datos y pueda cambiar variables dentro de esos modelos, simulando sus propios escenarios. La siguiente fase de Face consistiría en que cualquiera pueda subir sus propios datos para después analizarlos con distintas herramientas y, en algunos casos, bajarlos. “Así se facilitará la reusabilidad de la información. Cuando finalice el proyecto, nos gustaría que los usuarios den vida a la herramienta”, comenta.

Face aún a tecnología big data y machine learning. En este caso, los datos masivos proceden de los usos de teléfonos móviles y redes sociales. “Nos sirven para entender cuánta gente se mueve y cómo lo hace. En las epidemias conocer esto es muy importante. Además, hay que disponer de otra información como el lugar de re-



El proyecto Face usa herramientas de modelado de datos sobre propagación epidémica. /ISTOCK

sidencia de la población o dónde trabaja, para después cruzar todos esos datos”, señala Ramasco.

Junto al IFISC, que coordina el proyecto y se dedica al modelado de datos, hay otros tres institutos del CSIC implicados en Face: el Instituto de Física de Cantabria IFCA (CSIC-UC), también coordinador del proyecto y que asume la parte de computación, el Instituto de Economía, Geografía y Demografía, que aporta datos sociales, y el Centro de Estudios Avanzados de Blanes, que investiga sobre la posibilidad de que determinados vectores, como los mosquitos, influyan en la transmisión de las enfermedades.

### Ventajas y riesgos

Para Ramasco, la principal ventaja del big data es que “antes los datos sociales eran bastante escasos, prácticamente solo se basaban en encuestas y entrevistas. Hoy, la utilización de los datos que proceden del uso de teléfonos móviles y redes sociales abre muchas oportunidades”.

Aunque en su opinión pesan más los aspectos positivos, como todas las tecnologías, esta no está exento de riesgos. En los datos personales puede ser peligroso todo lo que afecta la privacidad. “Existen leyes al respecto y en nuestras investigaciones la información ya está anonimizada o tratada de forma agregada. Pero hay millones de datos que están en las redes sociales en manos de empresas con intereses muy diferentes”, subraya. Ese lado oscuro se materializa también en las *fake news*, que se construyen con modelos de aprendizaje automático que han sido entrenados con millones de datos.

La pandemia, sobre todo al principio, evidenció otro asunto importante. “Ante una situación así, los Gobiernos necesitan cierta información de forma crítica para salvaguardar la salud pública. Es esencial saber qué hace la gente, dónde va, qué necesita, etc. Estos datos tienen un valor para el interés común, pero hay que establecer protocolos para saber

exactamente en qué momento deben utilizarse y a qué datos puede accederse en estas situaciones”, apunta.

La velocidad a la que se producen los desarrollos tecnológicos hace difícil predecir escenarios futuros. No obstante, el momento actual indica que el big data es un campo de estudio con un potencial enorme. Con todo, incluso quienes se dedican a descubrir sus potencialidades, advierten contra las exageraciones: “Esta tecnología no es ninguna panacea. Hay proyectos de big data que no se sabe realmente para qué se hacen. En realidad, estamos hablando de modelos estadísticos, pero de dimensiones mucho mayores que han requerido nuevos desarrollos matemáticos e informáticos para poderlos implementar”, sostiene Ríos.

El devenir del big data lo marcarán esos desarrollos: no solo se trata de diseñar más aplicaciones, sino de avanzar en las metodologías científicas de la estadística y del aprendizaje automático, la base del big data. ●

# ‘Machine learning’ para impulsar la medicina de precisión

La combinación de inteligencia artificial y tecnologías de aprendizaje automático permite augurar un futuro con diagnósticos más fiables y personalizados para tratar con mayor eficacia enfermedades como el cáncer, el Alzheimer y los ictus cerebrales

Por **Belén Remacha**

**U**na radiografía cada dos años para todas las mujeres de entre 50 y 69 años. Desde 1990, ese el mayor reto de cribado del Sistema Nacional de Salud, y su objetivo es prevenir uno de los cánceres con más incidencia de España, el de mama. El método son rayos X que detectan zonas potencialmente cancerígenas; si se observa algo sospechoso, a esa prueba le siguen más pruebas, a menudo con altas posibilidades de falsos positivos, lesivas y costosas. Su tortuosidad es el principal motivo por el que los cribados están limitados a los grupos de máximo riesgo. Sumando algoritmos predictivos a las mamografías, las zonas de riesgo de los senos de la paciente se acotarían y la fiabilidad de los

diagnósticos subiría hasta el 90%. Por tanto, podrían hacerse con más frecuencia y el rango de edad de las mujeres a las que se dirigen podría ampliarse.

Es un proceso que ya existe, que usa inteligencia artificial, y que desarrolla un equipo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), concretamente del Instituto de Física Corpuscular (IFIC). Forma parte del ámbito del machine learning (aprendizaje automático) en medicina de precisión, y de una red de investigaciones que buscan aumentar la eficacia con la que se trata a cada paciente y optimizar los recursos sanitarios.

Para entender cómo, hay que entender primero los conceptos que entran en juego. El primero es el de inteligencia artificial. “La capacidad de un ordenador

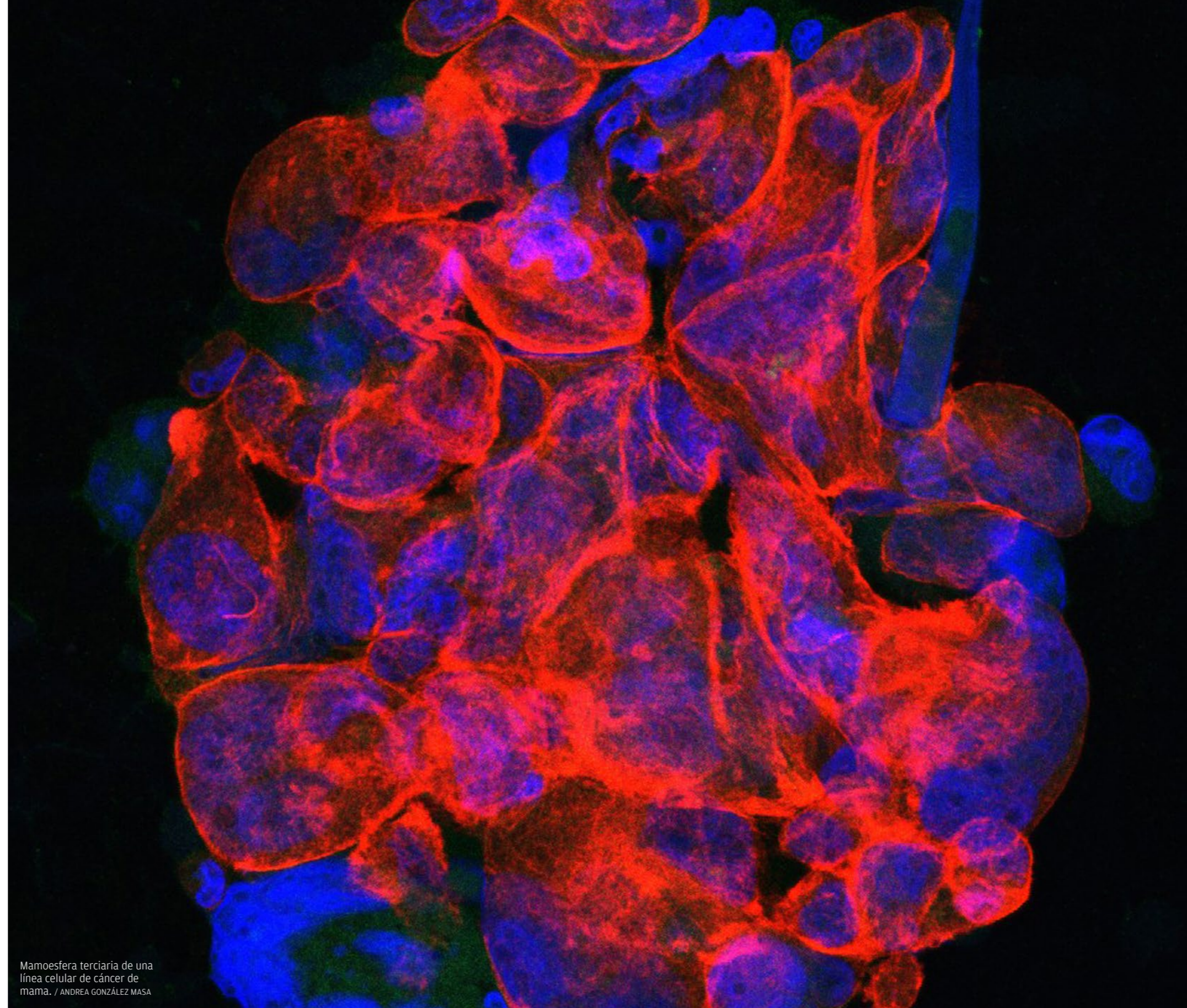
o robot para realizar tareas generalmente asociadas con seres inteligentes”, según la definición de **Sara Degli-Esposti y Carles Sierra**, autores del libro blanco del CSIC sobre esta disciplina. Es decir, son los procedimientos

que se emplean para sustituir el trabajo de los seres humanos por el de los robots, con el objetivo de que lo lleven a cabo con mayor precisión y más eficacia.

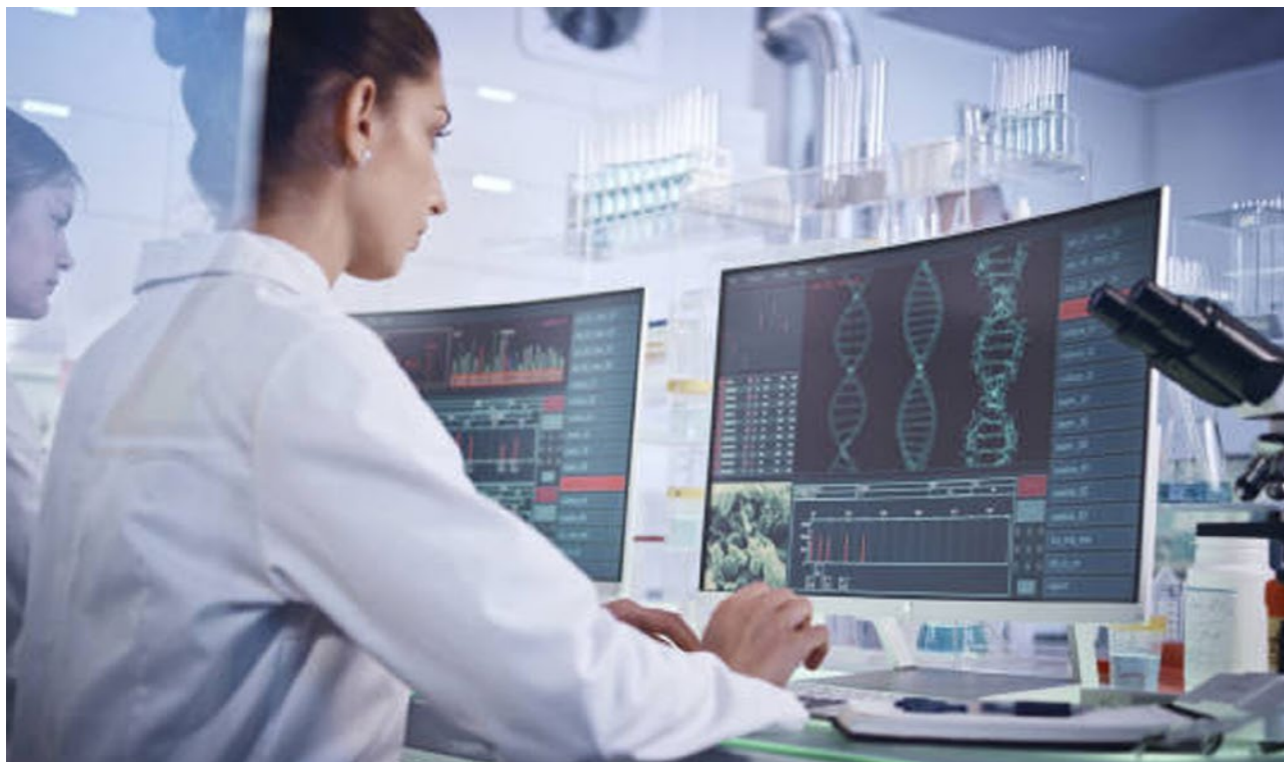
¿Y dónde puede actuar hoy la inteligencia artificial en

medicina? “En varios frentes”, responde **Dolores del Castillo**, investigadora del Centro de Automática y Robótica del CSIC, “desde el administrativo hasta la gestión de la documentación clínica. Y, de forma más especializada, en

el análisis de imágenes, o en la monitorización y seguimiento de pacientes”. ¿Y dónde hay todavía limitaciones enormes? Sobre todo, “en el campo del cuidado de la salud, en los aspectos legales y éticos a la hora de abordar casos



Mamosfera terciaria de una línea celular de cáncer de mama. / ANDREA GONZÁLEZ MASA



La medicina de precisión se enfoca a enfermedades como el cáncer y el Alzheimer / iStock

críticos". Y además todavía falta, señala Del Castillo, que trabaja entre otros en proyectos sobre trastornos neurológicos del movimiento, formación para gran parte del personal sanitario.

Con sus ventajas y sus carencias, como subcampo de la inteligencia artificial encontramos el segundo concepto: machine learning. Podría traducirse como aprendizaje automático. Esto es, aquella inteligencia artificial que funciona a través de ordenadores que detectan patrones en grupos poblacionales. Con esos patrones se elaboran predicciones sobre qué es lo más probable que suceda. El machine learning traduce datos en algoritmos.

Y tras la inteligencia artificial y el machine learning, hay un tercer concepto: la medicina de precisión. Aquella que se adapta al individuo, a sus genes, a sus antecedentes, a su estilo de vida, a su socialización. Un modelo que ha de ser capaz primero de anticiparse a la enfermedad; segundo, sigue Francisco Albiol, del IFIC, de "valorar a cada paciente, aplicar las mejores terapias basadas en la evidencia

clínica, discernir los casos más complejos y valorar su inclusión en programas de gestión". Tiene sentido para enfermedades de alto impacto, y no tiene sentido para enfermedades graves; por ejemplo, para distinguir en atención primaria una gripe de un constipado, porque los beneficios no compensarían el esfuerzo que requiere.

La clave del uso de inteligencia artificial en medicina es también la optimización de los costes, muy importante en la sanidad pública. La población española se ha incrementado de 42 a 47 millones de personas entre 2003 y 2022, esto es, más del 10%. Y de 2005 a 2022, la edad media de la población ha pasado de 40

años a 44. Cada vez somos más, y más viejos. Por eso, "los proyectos mejor valorados y, por tanto, susceptibles de ser financiados, son aquellos que incorporan tecnologías de inteligencia artificial para abordar la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas, cáncer y obesidad", dice Dolores Del Castillo, pero "también se presta especial atención a las propuestas sobre medicina personalizada y domiciliaria, asistencia a ancianos y nuevos medicamentos". "La necesidad de la sanidad se ha incrementado por nuestra demografía, y el objetivo ha de ser reducir y hacer más

**“El machine learning permite analizar grandes cantidades de datos (genómicos, bioquímicos, sociales, imagen médica...) y modelarlos juntos para poder ofrecer diagnósticos adaptados al individuo y aplicar tratamientos más eficaces”**

Lara Lloret (IFCA)



La medicina de precisión se adapta al perfil individual de cada paciente. / iStock

sencillos los retos con tecnología. Lo intentamos con machine learning", resume Albiol.

Albiol es uno de los científicos que ha liderado el programa para mejorar la detección del cáncer de mama a través de algoritmos. Defiende, como otros investigadores, que si mezclamos machine learning con medicina de precisión, de lo que deberíamos hablar es de *medicina 4p*. La que conglomerará cuatro características: "Predictiva, personalizada, preventiva y participativa". Porque los más puristas limitan la medicina de precisión al ámbito de la genética del paciente, y no incluirían en el saco aquella que tiene en cuenta más características. Los que sí, sostienen que hablamos de algo mucho más amplio: "Aplicado a la medicina de precisión, el machine learning permite analizar grandes cantidades de datos de muy diferentes tipos (genómicos, bioquímicos, sociales, imagen médica...) y modelarlos juntos para poder ofrecer diagnósticos adaptados al individuo, más precisos y llevar así a cabo tratamientos más eficaces", sintetiza Lara Lloret Iglesias, investigadora

del Instituto de Física de Cantabria.

Lloret forma parte de la red de científicos que, como Albiol o Del Castillo, se dedica a proyectos sobre machine learning y medicina de precisión. Uno de los que desarrolla su equipo, que lidera junto a la también física **Miriam Cobo Cano**, se llama Branyas. Es en honor a María Branyas, la mujer más longeva de España que consiguió superar la covid-19: lo ha hecho con 113 años. En él aúnan muchas casuísticas de más de 3.000 personas mayores, ni mucho menos solo genéticas: "Se utilizan técnicas de machine learning para establecer perfiles de riesgo de enfermar o fallecer como consecuencia del coronavirus. Hemos obtenido datos a partir del análisis de tres perfiles de riesgo: uno sociodemográfico, uno biológico y uno biológico ampliado, que añadirá información sobre cuestiones como la microbiota intestinal, vacunación y aspectos relacionados con la inmunidad".

Lo explica también **Josep Lluís Arcos**, del Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial. Las enfermedades que se suelen aso-

ciar a la medicina de precisión son el cáncer y el Alzheimer, pero ellos han destacado con el proyecto Ictus. Puesto en marcha en plena pandemia (lo cual ha dificultado las cosas, reconoce), ha tratado con pacientes del hospital de Bellvitge, de Barcelona, que sufrieron un derrame cerebral y, tras la fase crítica y aguda, han pasado a ser crónicos. En concreto, con los que tienen dificultades de movimiento en uno de sus brazos, o en los dos. Han realizado más de 700 sesiones en las que les han pedido a los pacientes que toquen el teclado de un piano electrónico. Luego, han trasladado el análisis de los movimientos de los dedos a resultados para ver cuáles son los patrones de las dificultades, y de las mejoras. Y han obtenido una respuesta especialmente positiva entre los usuarios "porque no solo es hacer un ejercicio, sino que afecta a una parte muy emocional" explica Arcos. El objetivo ahora es extenderlo a hospitales de Reino Unido.

¿Y el futuro? "Creo que el reto de la inteligencia artificial en medicina es el de incorporar los resultados de la investigación de una forma generalizada a la práctica diaria", responde Dolores Del Castillo, pero siempre sin olvidar que "son los expertos los que tienen la última palabra". Para ello, "es necesario que los médicos confíen en estos sistemas y puedan interactuar con ellos de la manera más natural y sencilla posible, ayudando incluso a su diseño". Lara Lloret opina que tendremos que ser capaces de crear "sistemas de predicción generalizables, es decir, que la eficiencia del modelo no dependa de cosas superfluas como en qué máquina se han tomado los datos, o cómo es la calibración". Francisco Albiol pone el foco en un problema que a la larga "se tendrá que resolver": de momento, "los grandes hospitales son favorecidos en estas técnicas respecto a ciudades pequeñas o pueblos. Facilitar y reducir costes también tiene que ver con que lleguen a todos". ●

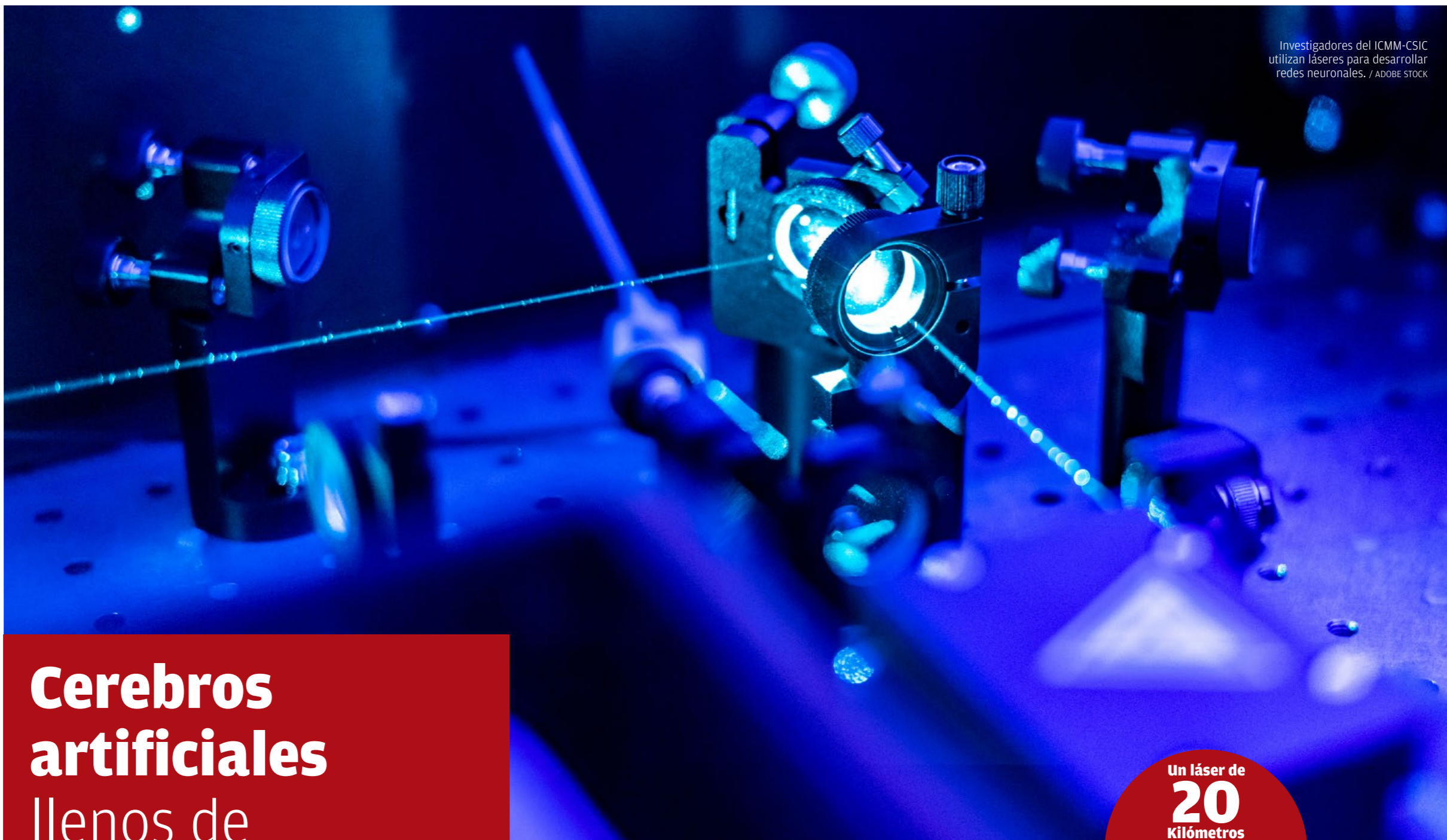


Por Sergio C. Fanjul

Uno de los resultados más conocidos y fascinantes de la física es la naturaleza dual de la luz, que puede presentarse en forma de onda o de partícula, según se mire. La óptica es la ciencia que estudia la luz y, dentro de ella, la fotónica es la rama que estudia la luz cuando se presenta en la forma de esas partículas que postuló Albert Einstein al estudiar el efecto fotoeléctrico: los fotones, los cuantos de luz. Dentro de la fotónica se producen, se controlan, se detectan fotones y se estudia su interacción con la materia. "Al interactuar con la materia, por ejemplo, al arrancar electrones de un átomo, es uno de los momentos en los que mejor se puede observar la naturaleza fotónica de la luz", dice **Javier Aizpurua**, investigador del CSIC y líder del grupo de teoría de la nanofotónica en el Centro de Física de Materiales de San Sebastián.

Dentro de la práctica de la fotónica es común encontrar láseres por todas partes, que se utilizan como fuente de fotones, una luz coherente que concentra mucha potencia en muy poco espacio. "El láser, junto con la fibra óptica, son desarrollos de la segunda mitad del siglo XX que han sido fundamentales para el avance de la fotónica", explica Aizpurua. La fibra óptica, que puede tener un grosor menor que el de un cabello y a través de la cual se transmite la mayor parte de la información del planeta, permite conducir señales fotónicas, luz que contiene información, a través de largas distancias con poca atenuación: la luz se va reflejando por dentro sin abandonar nunca la fibra. Que la velocidad de la luz sea la mayor posible en el universo incide en la rapidez que proporcionan las tecnologías fotónicas.

Las aplicaciones de la fotónica, que es uno de los motores principales de la innovación tecnológica, son muy variadas: desde el desarrollo de la computación fotónica (donde los fotones re-



Investigadores del ICMM-CSIC utilizan láseres para desarrollar redes neuronales. / ADOBE STOCK

## Cerebros artificiales llenos de luciérnagas ultrarrápidas

Grupos de investigación del CSIC ahondan en diferentes ramas de la fotónica, uno de los motores de la innovación tecnológica y de la inteligencia artificial

Un láser de **20 Kilómetros** de largo puede obtenerse de una fibra óptica de la misma longitud enrollada en el espacio que ocupa una caja de zapatos

emplazan a los electrones) hasta las aplicaciones biomédicas o militares, pasando por telecomunicaciones, inteligencia artificial (IA) o síntesis química. En el CSIC hay en torno a 15 grupos de investigación, diseminados por todo el territorio, que investigan en este campo de forma muy especializada. Se avanza en diferentes líneas: desde los materiales que permiten la interfaz entre información óptica y electrónica hasta las

maneras de conseguir circuitos integrados fotónicos, pasando por las redes ópticas con aplicaciones en detección, comunicación o procesamiento de información.

Por ejemplo, dentro de la disciplina de la IA, la fotónica propone sustituir los electrones por fotones dentro de las redes neuronales que tratan de imitar el funcionamiento del cerebro

(tanto para llegar a desarrollar más inteligencia como para conocer mejor su funcionamiento íntimo).

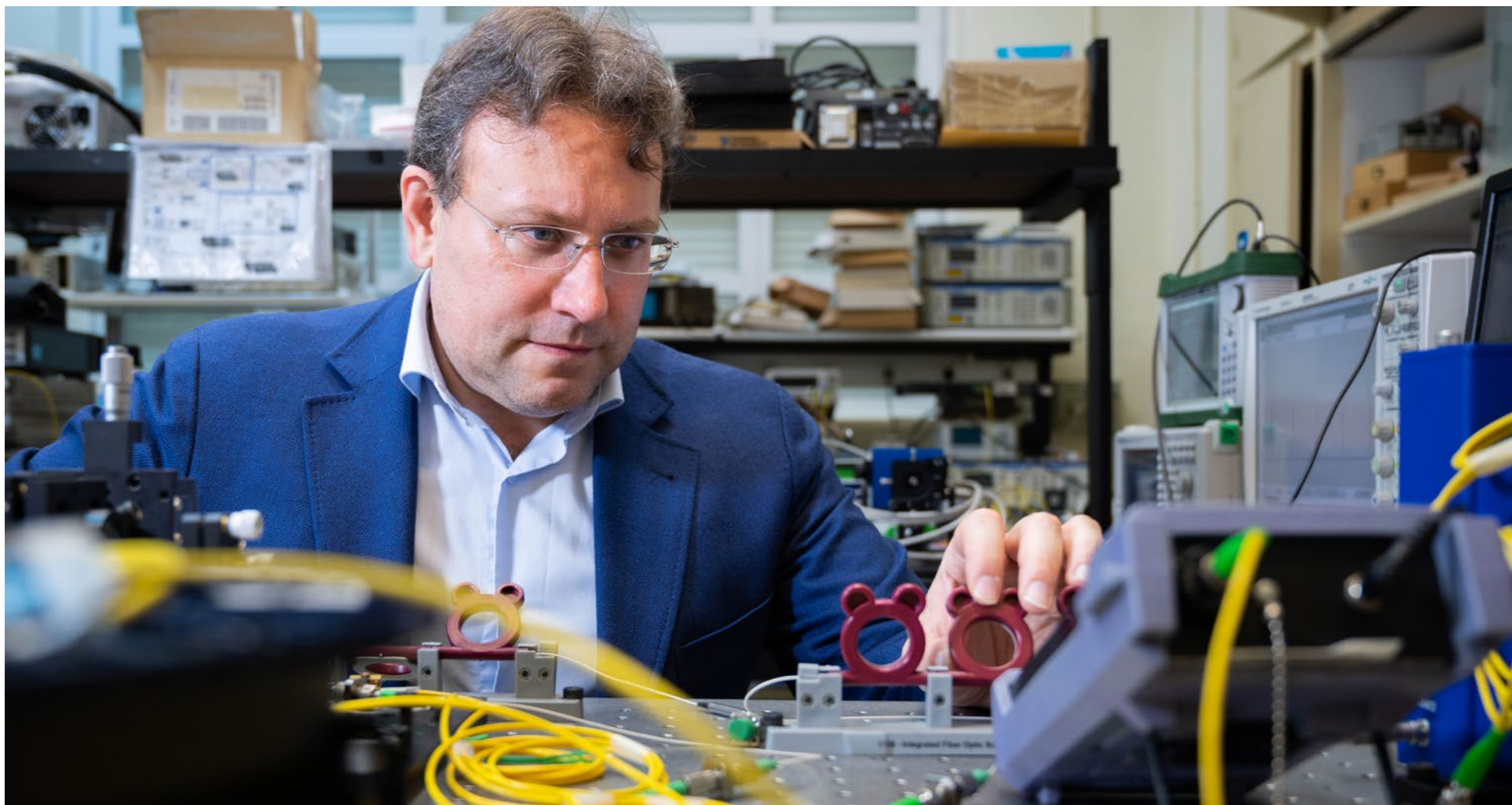
"Los electrones tienen algunos inconvenientes: consumen y disipan energía, e interactúan entre ellos; los fotones son mucho más rápidos, gastan menos y no interactúan", explica **Cefe López**, investigador del Instituto de Ciencia de Materiales de Ma-

drid (ICMM-CSIC), donde utilizan láseres aleatorios (en los que no se puede predecir qué frecuencias incluirán) para desarrollar redes neuronales. Estas redes, que no utilizan los transistores de silicio habituales, pueden simular la no linealidad de las neuronas, es decir, el hecho de que solo disparan un impulso cuando el input que reciben llega a cierto valor, y que es fundamental en el funcionamiento cerebral. La arquitectura óptica desarrollada en el ICMM presenta baja complejidad y menor coste, con lo cual es una buena candidata para desarrollos posteriores en el campo de la IA. Si un cerebro humano está plagado de impulsos eléctricos, estas redes neuronales funcionan a base de pulsos de luz. Algo así como cerebros artificiales llenos de luciérnagas rapidísimas.

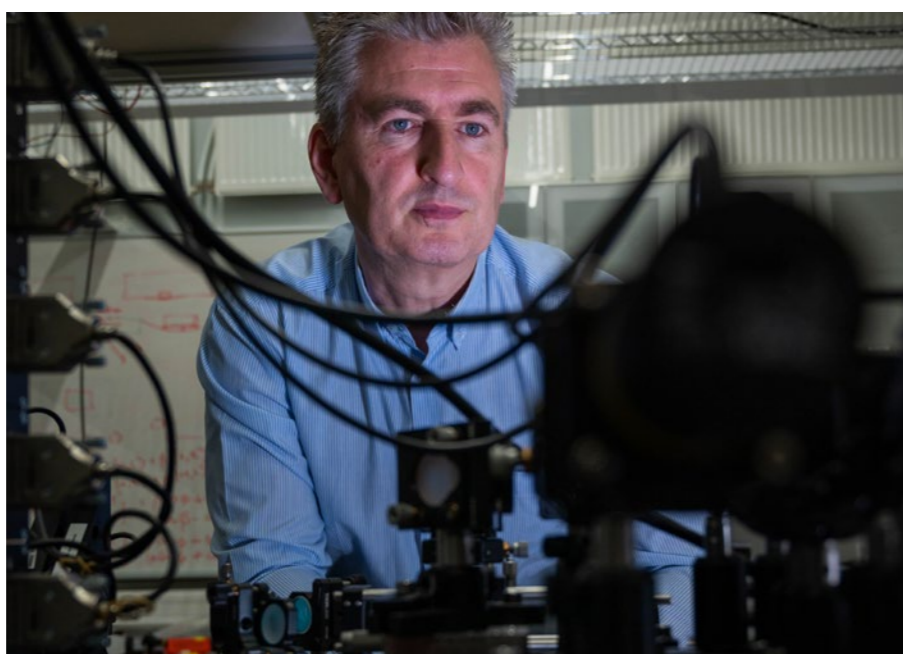
La investigación en redes neuronales está en boga porque estas redes (que pueden ser físicas o virtuales, software o hardware) son importantes en el machine learning (aprendizaje automático) y persiguen afilar capacidades como el reconocimiento de patrones, la predicción de series temporales o la toma de decisiones, tradicionalmente reservadas a los cerebros y no a las máquinas.

Otros avances fotónicos en este campo tienen que ver con la simulación mediante fibra óptica de los árboles dendríticos (las dendritas son las terminales neuronales que conectan estas células entre sí y cuya función es recibir los impulsos de las demás), que se realiza en el proyecto Adopd, en el Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos (IFISC), por parte de los investigadores **Ingo Fischer** y **Claudio Mirasso**. A través de esta tecnología se puede conseguir una computación muy rápida con un muy bajo consumo de energía.

También Fischer y Mirasso se embarcan en otro proyecto, Post-Digital, relacionado con la computación neuromórfica (esta que trata de emular el fun-



Juan Diego Ania, investigador y director del Instituto de Óptica Daza de Valdés. / CÉSAR HERNÁNDEZ



El investigador del CSIC Javier Aizpurua lidera el grupo de teoría de la nanofotónica en el Centro de Física de Materiales de San Sebastián. / CÉSAR HERNÁNDEZ

cionamiento del cerebro), que busca formar a un grupo de 15 investigadores e investigadoras en este campo que consideran fundamental para la competitividad europea en el escenario de la Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

El estudio de los propios láseres, que no son solo herramientas para otros menesteres, también es objeto de la fotónica. Por ejemplo, el desarrollo de los láseres ultralargos, que miden muchos kilómetros y tienen otras propiedades. "Un láser de 20 kilómetros de largo puede obtenerse de una fibra óptica de esos kilómetros enrollada en el espacio que ocupa una caja de zapatos", ejemplifica **Juan Diego Ania**, investigador y director del Instituto de Óptica Daza de Valdés, donde trabajan

con láseres ultralargos desde hace años. Una de las aplicaciones de estos láseres es producir flashes pulsantes ultrarrápidos, es decir, pulsos de luz en el rango de los femtosegundos (milbillonésimas de segundo). "Una ventaja de estos pulsos es que pueden concentrar una cantidad muy grande de energía en un tiempo muy corto", explica Ania, "también que el sistema es más barato, compacto y robusto que otros". Sus aplicaciones son variadas, por ejemplo, en las industrias donde se necesitan potencias elevadas (como el procesado de materiales) o en otras disciplinas como la metrología de precisión, la detección de la contaminación atmosférica o la medicina (en microscopía o tomografía óptica).



## En el Centro de Física de Materiales han conseguido controlar el movimiento de los electrones en un circuito utilizando una luz láser, lo que podría impulsar la velocidad de computación

La nanofotónica es la disciplina que estudia la interacción de los fotones con las nanoestructuras, como el grafeno o las nanoantenas, cuyas reacciones inspiran nuevos desarrollos tecnológicos. "Dicen que cada par de décadas la física se reinventa", dice Aizpurua, "en la nanofotónica vemos eso: cómo las cosas cuyo funcionamiento básico ya conocíamos se producen de otra manera en la nanoescala". Se estudian nuevos procesos optoelectrónicos, por ejemplo, en el Centro de Física de Materiales, donde, entre otras cosas, han conseguido controlar el movimiento de los electrones en un circuito utilizando una luz láser, a frecuencias ópticas ultrarrápidas. Esto es importante para la computación, en cuya base está el abrir y cerrar un circuito lo más rápido posible (que es fundamentalmente, lo que hace un transistor de los que se cuentan por miles de millones en los ordenadores: son interruptores diminutos). Si el interruptor ahora se puede activar más rápidamente mediante fotones, eso podría significar un aumento notable de la velocidad de computación, aunque lograr este desarrollo todavía puede llevar su tiempo. Los fotones son rapidísimos, la investigación lleva sus ritmos. ●



## El santuario tecnológico donde se forjan chips para viajar al espacio y adentrarse en las células

El Instituto de Microelectrónica de Barcelona alberga una infraestructura excepcional: la mayor Sala Blanca del sur de Europa, un entorno hiperlimpio para fabricar desde circuitos integrados hasta chips fotónicos y cuánticos

Por **Sabela Rey Cao**

**E**n las cercanías de Barcelona hay una especie de templo tecnológico donde se forjan objetos de una pureza extrema. Entre sus paredes, el aire debe ser extremadamente limpio. Sus trabajadores operan como monjes cubiertos con unos hábitos especiales. La temperatura, la humedad y la presión –que es más alta que en el exterior– se

mantienen constantes para proteger sus preciadas joyas: microchips y nanodispositivos de una precisión extrema, puesto que van a viajar al espacio, se van a introducir en las conexiones neuronales del cerebro y hasta en el mismo interior de nuestras células.

Este santuario tecnológico es la Sala Blanca de Micro y Nanofabricación del Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM), del CSIC. “Es una

infraestructura excepcional”, subraya su director, **Luis Fonseca**. “Destaca en el sur de Europa en su categoría por sus dimensiones (1.500 metros cuadrados), su versatilidad (tecnologías en silicio, carburo de silicio, etc.) y su flexibilidad tecnológica, siendo la mejor equipada, con cerca de 200 equipos”, agrega.

En estas instalaciones, situadas en el campus de la Universitat Autònoma de Barcelona (Cer-

danyola del Vallès), se diseñan y fabrican dispositivos y sistemas electrónicos con capacidad para gestionar información o para mantener una interacción físico-digital con su entorno. "Abarcamos desde las tecnologías asentadas en el campo de los semiconductores y la micromecanización del silicio, hasta las nuevas, como circuitos fotónicos, dispositivos cuánticos, nanohilos de silicio y materiales de una sola capa atómica (materiales bidimensionales)", enumera Fonseca.

**Dispositivos para el espacio y para el CERN**

"En los últimos años hemos logrado algunos hitos, como la fabricación de nanochips para el estudio de células vivas y de componentes adaptados a las condiciones hostiles de las misiones en el espacio, como los que ahora van camino de Mercurio (BepiColom-

bo) y del Sol (SolarOrbiter), creados *ad hoc*, o los que orbitan la Tierra orientando los satélites de la constelación One Web", detalla el director del instituto.

El IMB-CNM tiene la capacidad de diseñar y fabricar hardware específico capaz de adquirir y procesar grandes volúmenes de datos. "Hemos desarrollado nuevos detectores de radiación para los aceleradores del experimento Atlas, en el CERN (con el que el instituto colabora desde hace más de veinte años), que permiten obtener un gran número de canales de detectores de partículas", indica Fonseca.

Junto al espacio y las entrañas de la materia, los dispositivos de la Sala Blanca también se utilizan para conocer el cerebro. "Hemos desarrollado interfaces neuronales (dentro del proyecto europeo BrainCom) basadas en transistores de grafeno que, mediante el uso de técnicas de multiplexación,

son capaces de aumentar los canales de registro sin incrementar el número de conexiones", explica el director. Los circuitos integrados diseñados en el IMB-CNM han permitido procesar grandes volúmenes de información de la actividad cerebral.

Fonseca subraya que estas tecnologías están consolidadas y tienen mucho recorrido para afrontar los retos actuales, como los nuevos diseños de procesadores europeos de arquitectura RISC-V que busca paliar la dependencia tecnológica europea (dentro del proyecto Drac). Al mismo tiempo, el instituto está desarrollando líneas de investigación sobre nuevas tecnologías con gran potencial.

**Tecnologías fotónica para telecomunicaciones y energía**

La fotónica es la gran promesa de la última década como tecnología

habilitadora, con potencial para aplicaciones que todavía están por inventarse. La ciencia y tecnología de la luz estudia la generación, manipulación y detección de los fotones, partículas que pueden usarse como portadoras de información. La fotónica integrada está presente en muchas aplicaciones relacionadas con el procesamiento de la información, como las telecomunicaciones por fibra óptica, la impresión láser, los sensores, las pantallas, la iluminación inteligente o los sistemas fotovoltaicos.

"Al igual que la microelectrónica transformó el mundo tecnológico del siglo XX, la fotónica es la tecnología mejor posicionada para continuar su labor en el mundo digital del siglo XXI. Los circuitos fotónicos integrados permitirán un avance espectacular en la computación cuántica, las comunicaciones cuánticas y los sensores cuánticos", explica

**“ Hemos logrado hitos como la fabricación de nanochips para el estudio de células vivas y de componentes de las misiones espaciales que viajan a Mercurio (BepiColombo) y al Sol (SolarOrbiter)”**

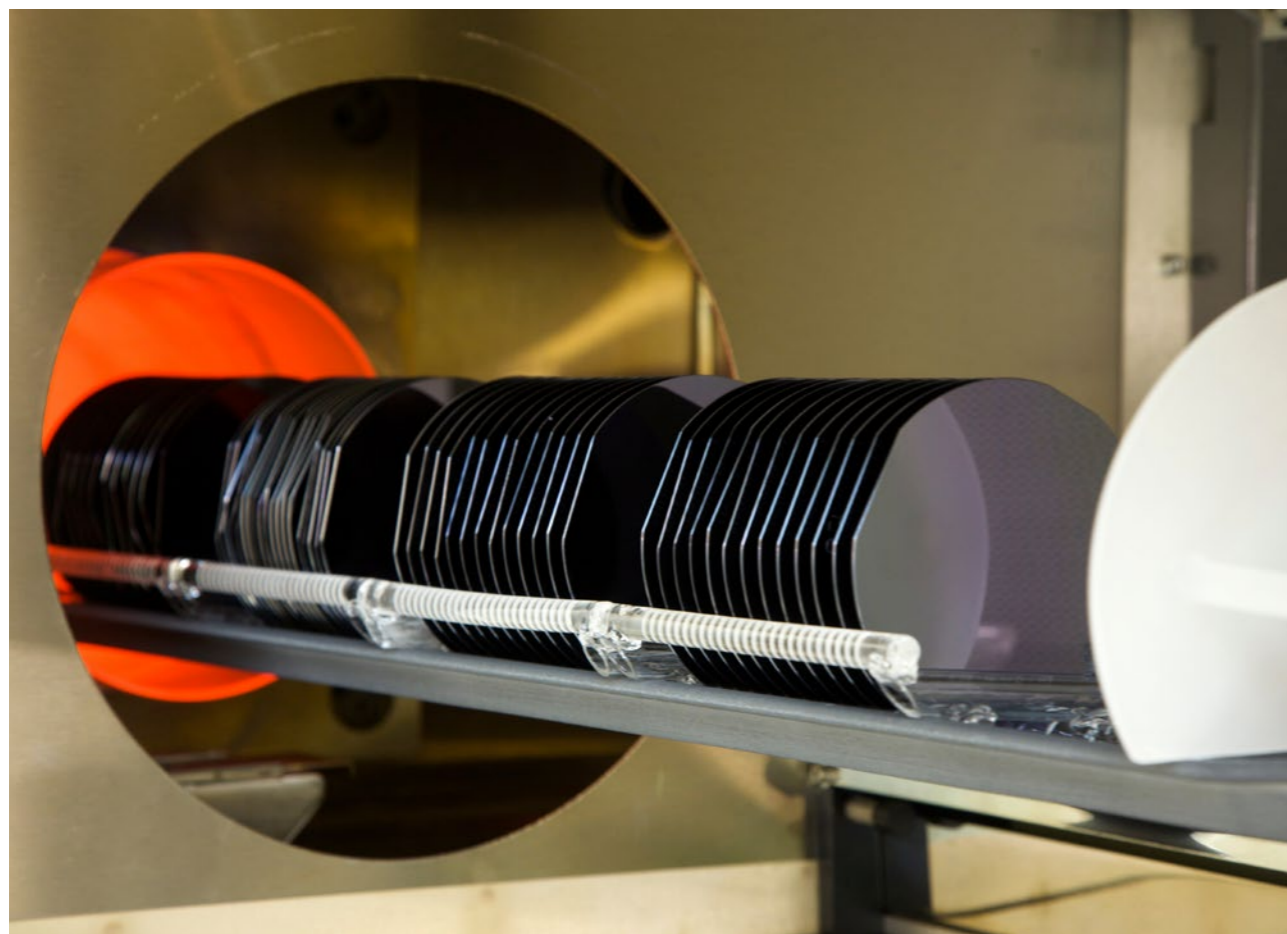
Luis Fonseca (IMB)

**Carlos Domínguez**, investigador del IMB-CNM y responsable de la plataforma SiN Photonics.

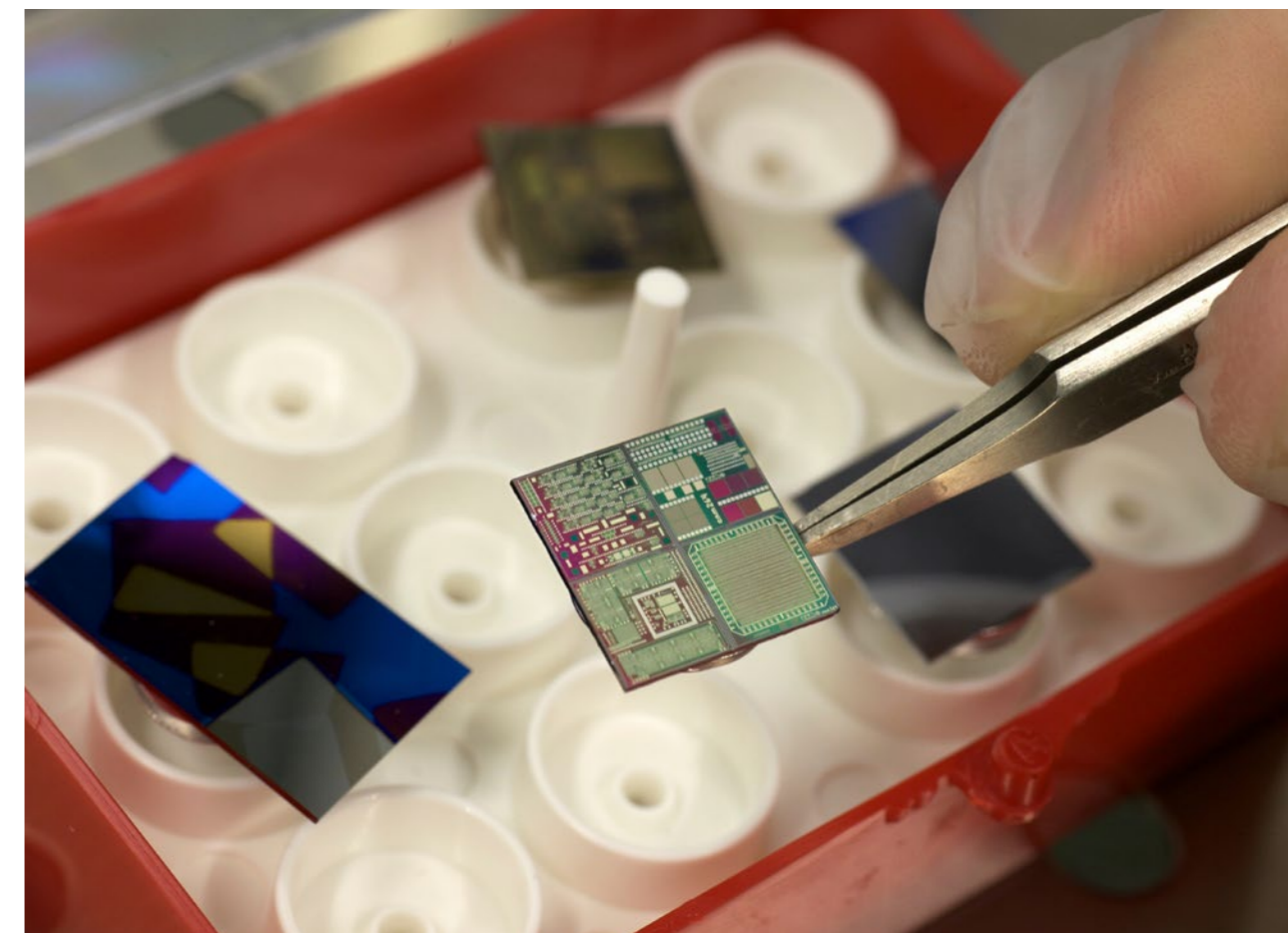
La Sala Blanca del IMB-CNM alberga una plataforma fotónica estable y de acceso abierto, SiN Photonics, que ha desarrollado un proceso de fabricación con tecnología de nitruro de silicio en colaboración con la empresa VLC Photonics. En la sala se pueden fabricar y validar tecnológicamente producciones de obleas para aplicación en fotónica.

**Potencial en tecnologías emergentes**

El internet de las cosas (IoT) funciona mediante la interconexión de datos y dispositivos cotidianos a través de internet o de una red, donde los objetos llevan sensores que permiten el intercambio de datos. Se utiliza para la automatización de procesos, la domotización de los espacios, para las



Obleas de silicio desarrolladas en la Sala Blanca del IMB-CNM, donde se imprimen los chips. / JOAN COSTA



Chips desarrollados en el IMB-CNM. / JOAN COSTA

## “La microelectrónica transformó la tecnología del siglo XX y la fotónica es la tecnología mejor posicionada para transformar el mundo digital del XXI”

Carlos Domínguez (IMB)

redes de sensores o para las conexiones móviles. La autonomía funcional y energética de estos dispositivos es fundamental para posibilitar su máximo despliegue. Su desarrollo es clave para la economía o la generación de energía renovable, lo que supone también una multiplicación de dispositivos móviles y pequeños ordenadores que generan más consumo y necesidades en la electrónica.

Otra de las líneas clave es el desarrollo de dispositivos electrónicos que funcionen con un mínimo consumo de energía, concretamente mediante la aplicación de métodos avanzados de nanofabricación. El IMB-CNM participó en el proyecto europeo ION-4SET, centrado en el desarrollo de transistores de un único electrón (SET) que, basados en nanohilos de silicio, permitieran una mayor integración y menor disipación de energía. El objetivo consistía en fabricar un circuito que integrara el SET con un transistor de efecto campo (FET) tradicional para trabajar a temperatura ambiente con un consumo mucho menor que un circuito tradicional.

“Hemos podido demostrar la fabricación conjunta de los dispositivos SET y FET”, indica **Joan Bausells**, responsable de la participación del IMB-CNM en el

proyecto. “Los desarrollos recientes muestran que la integración de dispositivos avanzados de bajo consumo en los sistemas electrónicos puede facilitar el despliegue a gran escala de los dispositivos IoT”, agrega.

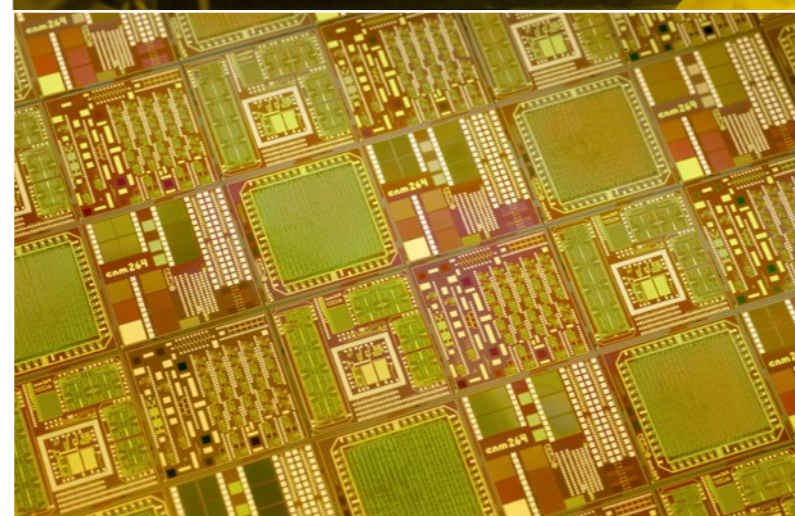
La investigación en dispositivos nanomecánicos y nanoelectrónicos para ser integrados en sistemas miniaturizados busca aportar soluciones para los futuros ordenadores cuánticos basados en semiconductores. Los dispositivos cuánticos requieren una precisión extrema en su fabricación.

### Dispositivos cuánticos

El IMB-CNM participa en el establecimiento de una línea piloto de fabricación de dispositivos cuánticos compatibles con el estándar CMOS en la Sala Blanca, que llevará a la realización del primer cúbit (qubit o bit cuántico) semiconductor de España. Un cúbit es el análogo cuántico del bit clásico, con la particularidad que representa una combinación de dos estados, dando lugar a un aumento exponencial en la capacidad de computación. También participa en un consorcio europeo para desarrollar líneas de fabricación para tecnologías cuánticas que se ofrecerán a usuarios académicos e industriales, Qu-Pilot.

“El objetivo es disponer de una plataforma asequible de dispositivos cuánticos que permita investigar tanto en soluciones tecnológicas para mejorar las prestaciones de los dispositivos, como nuevos conceptos de dispositivos y sus aplicaciones. Se podrá ofrecer en modo abierto a través de la Sala Blanca”, aclara **Francesc Pérez-Murano**, investigador en el IMB-CNM, que lidera la aportación del centro al cúbit, su participación en la PTI+ QTEP (Plataforma Temática Interdisciplinaria de Tecnologías Cuánticas del CSIC) y en Qu-Pilot.

El instituto también trabaja en las capacidades de micro y



En la Sala Blanca del IMB-CNM se desarrollan microchips y nanodispositivos de alta precisión. // JOAN COSTA Y CÉSAR HERNÁNDEZ

## Nodo central de la red de salas blancas

La Sala Blanca cuenta con el sello de Infraestructura Científica y Técnica Singular (ICTS), reconocido por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Es el nodo central de Micronanofabs, una red nacional de salas blancas, y ofrece abiertamente sus servicios a grupos de investigación y empresas (MPS, Fagor Electrónica, Devicare, Solar-Mems, Qilimanjaro, Inbrain Neuroelectronics, etc.). Forma parte de la red europea de instalaciones de salas blancas Euronanolab y participa en el programa de accesos europeos en nanotecnología NFFA-Pilot.

nanoprocado a través de la producción de dispositivos basados en materiales avanzados o funcionalidades superconductoras. Las aplicaciones cuánticas incluyen procesadores escalables y sensores ultrasensibles. “Buscamos desarrollos basados en el magnetismo de materiales nanoestructurados como alternativa segura y energéticamente eficiente a la gestión de información basada en electrónica convencional”, explica **Gemma Rius**, investigadora del IMB-CNM.

En conjunto, la Sala Blanca del IMB ofrece una infraestructura de vanguardia para impulsar el desarrollo de dispositivos que permitirán el despegue de tecnologías disruptivas, como la fotónica y la computación cuántica, que serán clave en la sociedad digital del futuro. ●



# Computación cuántica para reactivar la economía

Q System One, la primera computadora cuántica de uso comercial. / IBM

El CSIC trabaja en proyectos para desarrollar y aplicar esta potente tecnología en sectores como la energía, las finanzas, la defensa y la agricultura con el fin de hacer al país más competitivo

Por Sergio C. Fanjul

Utilizando las propiedades más fundamentales de la materia, la computación cuántica, basada en el bit cuántico, el cúbit, promete lograr una capacidad de computación impensable para los ordenadores clásicos, con utilidades en la resolución de problemas complejos en ingeniería, logística, química cuántica y finanzas, entre otros sectores. En España varios proyectos trabajan en este camino con la implicación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Se trata de investigaciones que promoverán la innovación y la competitividad española y que en muchos casos están financiadas por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, los fondos europeos destinados a la recuperación de la pandemia de covid-19.

Más de 12 grupos de investigación del Consejo trabajan en este campo, en disciplinas como la programación cuántica, el diseño de cúbits o de tecnologías habilitadoras. El gran reto es conseguir pasar con éxito del ámbito de lo teórico y lo científico a las aplicaciones que puedan impactar en nuestra vida cotidiana y liderar la emergente industria cuántica (en los últimos años grandes empresas como Google, IBM o Amazon se han embarcado en esta aventura). "Estamos explorando cuáles pueden ser las utilidades del ordenador cuántico, en qué cálculos puede ser mejor que un ordenador clásico [la ventaja cuántica]", explica Juan José García Ripoll, investigador del Instituto de Física

Fundamental (IFF) y coordinador de la Plataforma de Tecnologías Cuánticas del CSIC, que reúne a diferentes grupos de investigación, empresas y universidades para resolver problemas concretos usando tecnologías cuánticas, "es como si tuviéramos un martillo y estuviéramos buscando el clavo".

El proyecto Quantum Spain, promovido por el Gobierno, implica a empresas y sector público, 25 centros diseminados por buena parte del territorio nacional, en la consecución de un ordenador cuántico de altas prestaciones que la comunidad investigadora podrá utilizar, entre otras cosas, en el desarrollo de la inteligencia artificial (IA). La inversión inicial, en 2021, fue de 22 millones de euros, que se canalizan a través de la Red Espa-



**No hay que imaginar los ordenadores cuánticos como nuestros actuales laptops personales, al menos en un futuro cercano, sino como máquinas complejas que funcionan en condiciones muy particulares**

ñola de Supercomputación (RES). No hay que imaginar los ordenadores cuánticos como nuestros actuales laptops personales, al menos en un futuro cercano, sino como máquinas complejas que funcionan en condiciones muy particulares. Por ejemplo, necesitan estar muy fríos, cerca del cero absoluto (-273 °C). Sus utilidades son muy específicas, científicas o industriales (como los primeros ordenadores clásicos que, como el Eniac, ocupaba una habitación entera), no esperemos usarlos para aplicaciones de ofimática o videojuegos. Aunque siempre pueden darse cambios disruptivos...

Otro proyecto, llamado Cuco, busca precisamente aplicar la computación cuántica a algunos de los sectores más importantes de la economía española, como energía, finanzas, espacio, defensa y logística. Cuco junta en colaboración público-privada a siete empresas (Amatech, BBVA, DAS Photonics, GMV, Multiverse computing, Qilimanjaro Quantum Tech y Repsol), apoyado por cinco centros de investigación (BSC, CSIC, DIPIC, ICFO y Tecnalia), y una universidad pública (Universidad Politécnica de Valencia). Se trata de aplicar lo cuántico allí donde la computación clásica no acaba por resolver los problemas, por ejemplo, la trazabilidad de la información en toda la cadena de suministro, la lucha contra el cambio climático, la observación de la Tierra o la inteligencia de señales.

La computación cuántica también tiene aplicaciones en cuestiones más mundanas, como el sector financiero, que desarrolla el CSIC en colaboración con la entidad financiera BBVA: un equipo de investigadores mixtos que diseñan y testean algoritmos cuánticos útiles en el mundo bancario. Por ejemplo, algoritmos que optimizan la operativa de carteras de inversión, minimizando los gastos de compra y venta de acciones cada vez que se actualizan esas carteras. También algoritmos

de logística y tráfico, que mejoran los recorridos de los repartidores, o algoritmos para distribuir fondos a diversas entidades o cajeros automáticos.

En general, los ordenadores cuánticos son buenos en resolver problemas de optimización, en buscar máximos y mínimos. "Se trata elegir una de entre muchas posibilidades, una que cumpla una serie de requisitos", dice **Diego Porras**, investigador del IFF, "por ejemplo una que reduzca al mínimo el riesgo de una decisión o que maximice la rentabilidad de una cartera de inversión". Este tipo de problemas de optimización son muy exigentes y el ordenador cuántico no sólo puede ofrecer una solución más rápida, sino que también puede dar mejores soluciones, más óptimas, con trayectos más cortos o menores costes en su aplicación. A largo plazo los ordenadores cuánticos podrían romper las claves digitales, por ejemplo, de nuestras tarjetas de crédito, y obligar a un nuevo tipo de criptografía. Si bien los ordenadores cuánticos se parecen mucho a los ábacos, útiles para una limitada variedad de cálculos, en el futuro podría desarrollarse un ordenador cuántico universal, para todo tipo de usos: serán mejores que los supercomputadores clásicos más potentes.

La computación cuántica también tiene utilidades en el pujante campo del aprendizaje automático (el llamado quantum machine learning), por ejemplo, dentro del proyecto Agraria. "Buscamos desarrollar un predictor cuántico para analizar el rendimiento de los cultivos a través de imágenes de satélites en varias bandas del espectro electromagnético", dice **Ángela Ribeiro**, investigadora del Centro de Automática y Robótica del CSIC, "así podremos predecir, con solo analizar la imagen, la cantidad de cosecha que dará ese terreno, por ejemplo, en toneladas de maíz". Es una investigación realizada en colaboración con el grupo empresarial GMV. Está por



El proyecto Cuco busca aplicar la computación cuántica a los sectores más importantes de la economía española, como la energía y las finanzas. / PIXABAY



Juan José García Ripoll y Diego Porras, investigadores del Instituto de Física Fundamental. / CÉSAR HERNÁNDEZ



ver si el método cuántico es más eficiente que el clásico. "El sistema cuántico, por lo pronto, permite trabajar a mayor velocidad y con más información. La computación clásica está llegando a sus límites, así que esperamos obtener estas ventajas de la cuántica", añade Ribeiro, "este caso de uso, de cierta complejidad, permitirá avanzar en nuestro conocimiento".

¿Será útil, finalmente, el ordenador cuántico? Si no es así, cosa poco probable, dada la cantidad de aplicaciones y líneas de investigación que están en marcha, siempre se obtendrían otros resultados de utilidad. "Una línea interesante que desarrollamos es la de algoritmos de *inspiración cuántica*: se trata de crear algoritmos para ordenadores clásicos pero que están inspirados en la forma de funcionar de los algoritmos cuánticos" dice Diego Porras, "ya estamos aprendiendo, ya hay beneficios inmediatos". Todo depende, también, de cómo sean los ordenadores cuánticos que se desarrollen en los próximos años. Tendrán en torno a los 100 cúbits, pero no solo el tamaño importa, también cómo estén interconectados esos cúbits. Pueden darse ordenadores con menos cúbits pero con mayor calidad y menor ruido, o de muchos cúbits, pero más imperfectos, debido a que es más difícil mantener la coherencia del sistema. Cada uno tendrá sus aplicaciones. "Son diferentes estrategias", dice Porras.

"España es muy buena a nivel teórico en computación cuántica", concluye Ripoll, "teniendo en cuenta que hay muy pocos grupos, hay calidad e impacto internacional. Ahora estamos empezando en el ámbito de las aplicaciones, y lo que más cojea es la parte del *hardware*, de los experimentos". Al contrario que otros países, España no tiene una estrategia de inversión nacional en tecnología cuántica a medio y largo plazo, pero eso no es óbice para la existencia de una vibrante comunidad de investigadores. ●

# Empoderamiento digital, la respuesta de la sociedad a la covid-19

La pandemia ha reforzado la cohesión social y la participación colectiva promoviendo una ciudadanía digital basada en redes informales de solidaridad que se articulan a través de tecnologías como las redes sociales

Por **Alejandro Parrilla García**

**E**n marzo de 2020 las restricciones a la movilidad asociadas a la covid-19 transformaron el día a día de la sociedad, que pasó de presencial a digital. En España, un millón de nuevos usuarios comenzó a utilizar internet y ocho millones se iniciaron en redes sociales para crear redes de apoyo mutuo, informarse o teletrabajar. Equipos del CSIC aplican las ciencias sociales y humanas para analizar el alcance de las transformaciones originadas por la pandemia en la era digital y para generar herramientas que permitan al ciudadano afrontar futuras emergencias sanitarias.

Durante el desarrollo del proyecto Epidemiología Urbana de la Covid, que estudia la relación entre las desigualdades sociales y el impacto de la enfermedad, los investigadores observaron cómo la sociedad se volcó en el uso de herramientas digitales para responder a las necesidades generadas por la pandemia. "El ciudadano digital no solo es aquel que enciende la calefacción desde su móvil sino el que, al inicio de la covid-19, empezó a utilizar internet para crear, por ejemplo, bases de datos con personas necesitadas", señala **Alberto Corsín Jiménez**, antropólogo del CSIC y coordinador del proyecto. Empezaban a aparecer despensas, redes de apoyo mutuo o bancos de alimentos que se crearon y organizaron digitalmente para intentar frenar el avance del SARS-CoV-2. "Desde el principio hemos visto cómo los ciudadanos desplegaban herramientas online para frenar su propagación", añade.

En una primera fase cuantitativa, en la que se analizó el impacto del virus en tres estratos sociales de seis distritos madrileños, los investigadores comprobaron que los barrios con un alto índice de vulnerabilidad presentan una mayor incidencia acumulada. Sin embargo, también identificaron dos excepciones: los barrios de Usera y San Cristóbal. "La hipótesis es que en estos barrios la respuesta de la sociedad civil, desarrollando sus propias bases de datos, centros logísticos y centralitas telefónicas, se sumó al trabajo de los servicios sociales para crear una estructura de apoyo fuerte que frenó la enfermedad. Esta colaboración tan estrecha y fructífera entre servicios sociales y tejido vecinal es uno de los rasgos que distinguieron la respuesta comunitaria en San Cristóbal", explica Corsín.

Financiado por el fondo Recupera y enmarcado en la Plataforma Salud Global del CSIC, actualmente este estudio se encuentra en su fase cualitativa o trabajo de campo. Tras seis meses de entrevistas y dinámicas de grupo, los investigadores han observado cómo al inicio de la pandemia se pone en marcha una *ciudad digital invisible*, es decir, redes informales de solidaridad que dibujaron un Madrid diferente al cruzar tres bases de datos: gente necesitada, voluntarios y recursos disponibles.

Uno de los obstáculos que podría limitar la reacción online de la ciudadanía es la conocida brecha generacional, uno de los tres desafíos, junto al socioeconómico y al geográfico, citados por el Libro Blanco del CSIC sobre *Información Digital y Compleja*. Significaba poner en contacto a las personas a





Astrid Wagner y Alberto Corsín, investigadores del Centro de Ciencias Humanas y Sociales del CSIC. / LORENZO PLANA

través de internet, es decir, al 69% de entre 65 y 74 años con el 99% de jóvenes entre 16 y 24 años, que lo utilizan regularmente según el Instituto Nacional de Estadística (INE).

Sin embargo, los investigadores han comprobado que, lejos de lo esperado, la primera respuesta digital ante la pandemia nace de personas mayores de 65 años.

“¿Os apetece montar algo para atender a gente con necesidades? Estos mensajes aparecen mayoritariamente en grupos de personas jubiladas con espíritu colaborativo. Es luego cuando se suma la gente joven, los voluntarios”, explica Corsín.

“Todos estos grupos de *whatsapp*, bases de datos, logísticas de distribución y despensas vecinales son herramientas digitales que los ciudadanos han desarrollado fuera del mainstream. La pande-

mia nos ha demostrado por qué el futuro de la ciudadanía digital va de la mano de un urbanismo solidario”, añade.

### Elaborar una ética digital

Animales sociales por naturaleza, una vez privados de la esfera pública presencial, en marzo de 2020 la sociedad en su conjunto se volcó en el entorno digital. Se abrían así nuevos espacios deliberativos online, más polarizados y con ritmos de argumentación más rápidos, que modificaron las dinámicas establecidas hasta el momento entre política, sociedad y ciencia.

El proyecto Respontrust, financiado con fondos europeos y parte de la PTI Salud Global CSIC, analiza cómo la desinformación ha influido en estas dinámicas durante la covid-19. Un ejemplo de ello es que, según la OMS, casi

6.000 personas fueron hospitalizadas al creer que beber alcohol en altas concentraciones les protegería frente al SARS-CoV-2.

**Astrid Wagner**, científica del Instituto de Filosofía del CSIC que dirige el estudio, explica cómo la lógica de la desinformación asociada a la pandemia trata de alterar el equilibrio entre los pilares de la ética digital (incertidumbre, confianza y responsabilidad) para generar vulnerabilidad cognitiva, es decir, corromper la capacidad de la sociedad para hacer frente a una situación en la que es difícil distinguir entre verdad y ficción. La principal herramienta para ello es el bulo: “Se caracteriza por llegar a través de grupos fiables, adornado como si fuera ciencia y con un mensaje que casi te obliga a reaccionar. Una vez distribuido, el daño está hecho”, explica la investigadora.

El resultado es la aparición de *burujas ideológicas digitales* que han alterado los espacios democráticos tradicionales. Aunque las *fake news* o la polarización no son ninguna novedad, el Libro Blanco del CSIC destaca tres nuevas características vinculadas a las redes sociales: masividad, viralidad y redundancia en el engaño. “Durante la pandemia hemos comprobado que han aumentado los bulos, la polarización y las teorías conspiranoicas, tres aspectos que socavan la confianza de la población en la ciencia e instituciones” y, como añade Wagner, “no hay que olvidar que la democracia no funciona sin una base de confianza”.

El proyecto del CSIC Incores, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, trabaja en el desarrollo de estrategias que permitan a la ciudadanía tomar

“**El ciudadano digital no solo es el que enciende la calefacción desde su móvil sino el que, al inicio de la covid-19, utilizó internet para crear bases de datos con personas necesitadas**”

Alberto Corsín (CCHS)

decisiones en momentos de incertidumbre, mantener elevada la confianza y generar una responsabilidad multidimensional (moral, legal, individual, corporativa y estructural) ante una emergencia sanitaria. Durante cuatro años, los investigadores reformularán los conceptos de incertidumbre, confianza y responsabilidad para adaptarlos al nuevo contexto digital marcado por la covid-19. Aunque habrá que esperar a 2025 para obtener las conclusiones del estudio, Wagner detalla que para hacer frente a la desinformación “es fundamental la alfabetización digital, tomarnos más tiempo para comprobar las informaciones o tener en cuenta que las plataformas digitales son amplificadores de sesgos, al igual que las redes sociales han contribuido al auge de posturas antidemocráticas y anticientíficas”. ●



# Cazadores de *fake news* contra el analfabetismo digital

Un equipo del CSIC desarrolla una herramienta para detectar los bulos científicos y enseñar cómo identificarlos

Por **Esther M. García Pastor**

**E**l 54% de los españoles considera que no sabe diferenciar las noticias falsas, o *fake news*, según datos de Trust Project, un informe impulsado por varios medios de comunicación nacionales. Ya en 2018, la consultora Gartner predijo que en 2022 la mayoría de países occidentales consumirían más información falsa que noticias reales.

Además, la pandemia de SARS-Cov-2 no ha hecho más que agravar la situación, pues, según la Sociedad Española de Médicos Generales y de Familia, el 90% de los especialistas han atendido a pacientes preocupados por datos que habían extraído de *fake news* en internet o redes sociales. A diario, los ciudadanos fueron bombardeados con informaciones falsas que les hacían creer innecesarias las medidas sanitarias o cuestionaban la efectividad, naturaleza y objetivo de la vacuna. El

fenómeno de la desinformación en el ámbito sanitario fue tal que la Organización Mundial de la Salud lo calificó como *infodemia*.

La pandemia fue un caldo de cultivo perfecto para el aumento de los bulos surgidos de eso que los científicos llevan años denunciando: la ciencia falsa. “Las noticias falsas disfrazadas de ciencia se han usado para intentar sabotear la agenda social y para hacer dudar a la ciudadanía sobre una información que ha sido complicada y cambiante”, expone **Sara Degli-Esposti**, investigadora científica en el Instituto de Filosofía (IFS) del CSIC y coordinadora científica de Tresca, un proyecto europeo enmarcado en el programa Horizonte 2020 que utilizará la ciencia de datos para mejorar la comunicación científica y para *cazar fake news*. “Los que fomentan la desinformación a menudo se basan en argumentos de autoridad falaces, se inventan estudios no avalados por la comunidad científica o se identifican como



**Con la educación adecuada los usuarios podrán tener una experiencia más segura con las tecnologías digitales**

científicos o divulgadores y cuentan el discurso que les conviene”, advierte la investigadora, que indica que ha habido quienes han difundido información científica manipulada a través, sobre todo, de las redes sociales.

El equipo de Degli-Esposti ha preguntado a más de siete mil personas de todas las edades en siete países de la Unión Europea (Francia, Alemania, Italia, España, Polonia, Hungría y los Países Bajos) si creen que las redes sociales pueden ser peligrosas o dañinas

para sus usuarios. El resultado fue contundente: la mayoría de las personas creen que las redes sociales no son un lugar seguro.

Esta desconfianza es resultado de la pérdida de control sobre la información que en ellas se comparte. “Al final, las redes pueden cambiar nuestra forma de percibir el mundo”, explica, “los bulos en redes pueden estar dirigidos a confirmar cierta percepción del mundo, es lo que se llama sesgo de auto-confirmación”. Sobre todo, en ambientes de polarización política, como el que se está viviendo en los últimos años en gran parte de países occidentales, los bulos científicos se convierten en asuntos ideológicos. Y la mejor herramienta para acabar con esto, creen los investigadores, pasa por la educación de la ciudadanía, de los usuarios de las nuevas tecnologías.

En los últimos años han surgido equipos de periodistas especializados en desmontar bulos científicos. Son los denominados

*factcheckers*, o verificadores, como por ejemplo el proyecto Maldita Ciencia. “Los periodistas que trabajan confirmando informaciones son muy buenos, pero son limitados y la capacidad de reproducción de las *fake news* es enorme”, señala **David Arroyo**, experto en criptografía del CSIC y especializado en ciberseguridad.

“Las campañas de desinformación son muy rápidas y no da tiempo a reaccionar”, añade. Para esquivar este problema, desde Tresca trabajan para desarrollar una herramienta digital denominada Misinformation Widget, con la que pretenden ayudar a los periodistas y verificadores de noticias a cazar de manera más eficaz los bulos. Además, quieren enseñar a los usuarios a detectarlos. “Queremos contribuir a la alfabetización digital”, indica Arroyo.

### Algoritmos contra la desinformación

Degli-Esposti remarca la diferencia entre los términos *mis-* y *dis-information*, una distinción que no existe en castellano. “La desinformación es intencional, se trata de campañas creadas por ciertos sectores políticos, sociales o económicos buscando un fin concreto”, explica la investigadora.

Sin embargo, la eficacia de estas campañas depende de la presencia de noticias infundadas o de noticias engañosas con un fondo de verdad presentes en la opinión pública. Esto sería la *mis-information*. “La *misinformation* no tiene un componente de intencionalidad, sino que está relacionada con la confusión de los usuarios, en definitiva, con el analfabetismo digital. Esto genera vulnerabilidades en la opinión pública, que pueden ser aprovechadas por parte de agentes con malas intenciones”, aclara Degli-Esposti.

Arroyo pone como ejemplo a su madre. “Ella es la usuaria media, si se cree una noticia falsa, significa que otra mucha gente lo hará”, expone el investigador, que

explica que la desinformación intencionada se nutre del desconocimiento generalizado. “Basta con que una persona bienintencionada crea una información falsa y la comparta de manera inocente con sus allegados para que la *mis-information* evolucione a desinformación”, indica Arroyo.

De esta forma, con herramientas como MisinformationWidget los investigadores quieren facilitar la labor de los periodistas utilizando el procesamiento de conjuntos de datos y el aprendizaje automático, con el fin de detectar una campaña de desinformación de forma más rápida. Sin embargo, lo necesario es que los usuarios adquieran las habilidades para detectar las *fake news*.

La investigación de Tresca muestra que con la educación adecuada los usuarios podrán usar mejor las tecnologías digitales. “La alfabetización digital es clave para acabar con las campañas de desinformación”, opinan ambos investigadores. Pero, ¿cómo pueden los modelos de aprendizaje automático ayudar a combatir esta pandemia informativa?

Lo primero, señala Arroyo, es integrar las distintas fuentes de información. “Las introducimos en el sistema, las procesamos y extraemos información, que más tarde nos servirá para crear etiquetas”, explica. “Nos fijamos en temas, autores, protagonistas de las noticias, el tipo de escritura, muy importante para detectar el *clickbait*, y la forma en la que esta información se comparte en redes sociales”. Fundamentalmente se centran en Twitter, por su accesibilidad. Arroyo y su equipo observan qué perfiles están más involucrados en campañas de difusión de *fake news* y la relación entre diferentes cuentas que difunden bulos de un determinado sesgo ideológico.

Parte del proceso de análisis de los textos informativos es manual, porque requiere conocimiento experto. Aquí es donde entra la parte humanística del

David Arroyo y Sara Degli-Esposti, investigadores del CSIC. / ÁLVARO MUÑOZ GUZMÁN



“**El analfabetismo digital genera vulnerabilidades en la opinión pública, que pueden ser aprovechadas por agentes con malas intenciones**”

Sara Degli-Esposti (IFS)

equipo, que colabora mano a mano con la parte técnica. “Los programadores rara vez tienen suficientes nociones de historia, geopolítica o, incluso de lingüística, por lo que la parte del equipo experta en humanidades aplica sus conocimientos”, explica Degli-Esposti, que recalca la necesidad de equipos interdisciplinares como el de Tresca para que el etiquetado y la información que se le enseña al sistema de inteligencia artificial no contenga graves sesgos.

“En la investigación en big data y ciencia de datos crece la

necesidad de complementar el análisis cualitativo y cuantitativo de un fenómeno y valorar los sesgos de humanos y algoritmos. La calidad del etiquetado de las bases de datos usadas para entrenar modelos de inteligencia artificial es fundamental para garantizar la fiabilidad de los resultados”, advierte Degli-Esposti.

Su nueva herramienta permite que el usuario se haga su propio mapa mental, primero, para entender cómo funciona la difusión de información falsa y, segundo, para comprender su propia forma de pensar y finalmente descubrir

por qué anteriormente tomaba como verdaderas ciertas *fake news*.

“Lo que pretendemos es apoyar a los periodistas y enseñar a los usuarios una pauta adecuada de uso de tecnología digital para poder analizar en primera persona el grado de fiabilidad”, expone Arroyo. “Es una línea de investigación en la que seguimos trabajando. Nosotros creemos que una metodología y un conjunto de herramientas es más efectivo que decirle a la gente qué noticia es la que tiene que creer”, concluye Arroyo. ●

## Definiendo una **inteligencia artificial** más ética

Por **Esther M. García Pastor**

**A**lexa, pasa la aspiradora". Y la asistente artificial ordenará al robot aspiradora que limpie el suelo de nuestra casa. Un gesto tan cotidiano era impensable hace apenas una década, tan inimaginable como lo fue en su momento la irrupción de las redes sociales.

"Las tecnologías digitales están en nuestras vidas más tiempo del que pensamos", indica **Carme**

**Torras**, investigadora del CSIC experta en inteligencia artificial (IA), "se han estado usando para mecanizar trabajos pesados y repetitivos o para liberar a las personas de ciertas tareas domésticas, pero la revolución que estamos viviendo de las tecnologías digitales en general y de la inteligencia artificial en particular supone que estas nuevas tecnologías se introduzcan en nuestro círculo social, en nuestras relaciones; que entren, al fin y al cabo, en la esfera

humana, en las emociones y en los sentimientos, esto hace necesario la introducción de una perspectiva ética en múltiples fases del desarrollo tecnológico".

La inteligencia artificial está compuesta de una gran variedad de artefactos e instrumentos interconectados que recogen cantidades enormes de información; procesa, cruza y reutiliza este gran número de datos mediante algoritmos, unas listas de instrucciones de tamaño variable que pueden

El desarrollo acelerado de nuevas tecnologías digitales plantea dudas éticas en torno a su implementación: la privacidad, la formación de la propia identidad, la atribución de responsabilidad o los sesgos en el procesamiento de datos

emplearse para resolver problemas, buscar conexiones y alcanzar decisiones. Así, un tratamiento correcto y respetuoso de los datos que maneja la IA ofrece oportunidades para la investigación biomédica, la salud pública, la gestión administrativa, los servicios sociales, la atención a colectivos desfavorecidos, el desarrollo económico, la innovación social, el tratamiento de residuos, la contaminación ambiental, la educación, el transporte o la agricultura y la industria.

"Sin embargo, es necesario recordar que la tecnología no es neutra, sino que juega un papel constitutivo en nuestra vida diaria. Las tecnologías constituyen formas de vida y reconfiguran, reestructuran y modulan las actividades humanas, ofrecen posibilidades, pero también amenazas", plantea **Txetxu Ausín**, filósofo del CSIC. Algunas cuestiones éticas son compartidas con otras tecnologías, como la seguridad y la protección, promover la inclusión

“**La tecnología no es neutra, sino que juega un papel constitutivo en nuestra vida diaria**”  
Txetxu Ausín (CCHS)

y la justicia, maximizar los beneficios de un modo sostenible (la IA consume grandes cantidades de energía y de minerales para su desarrollo y mantenimiento). No obstante, la privacidad y la identidad, la llamada dictadura de los datos, que genera sesgos y prejuicios, o la cuestión de la atribución de responsabilidades son retos específicos para la ética aplicada a la inteligencia artificial.

"Urge pensar éticamente nuestra convivencia con la IA. La práctica del uso de una tecnología está estrechamente relacionada con los principios éticos que incorpora y es la condición básica para su apropiación y aceptación por parte de la comunidad, lo que contribuirá al empoderamiento tecnológico de la ciudadanía", expresa Ausín.

### Privacidad al descubierto

La IA permite encontrar patrones estadísticos recurrentes que pueden ser usados para predecir y entender el comportamiento de las personas y modificar adaptativamente el cerebro, lo que puede transformar la experiencia subjetiva del usuario y su forma de entender y percibir la realidad. De esta forma, un mal uso de la IA afecta al propio sentido de autonomía e identidad y, en última instancia, a la forma en que nos entendemos a nosotros mismos y a nuestras relaciones con los demás. "Resulta crucial, por un lado, proteger los datos de carácter personal, la fuga de datos y la falta de transparencia

en la recogida de los mismos, así como salvaguardar a los individuos contra el uso coercitivo de la IA, que puedan afectar a la identidad, a la libertad cognitiva y a la continuidad del comportamiento personal”, expone Ausín.

Estas cuestiones son a las que los filósofos denominan neuroderechos humanos, y son una punta de lanza en la colaboración entre equipos técnicos y los departamentos de ética en el desarrollo de las nuevas tecnologías digitales. Y es que actualmente estar presente en redes sociales supone dejar constancia de nuestros pensamientos, estados de ánimo o comportamiento. Además, cada vez se implementan más *gadgets* conectados a internet que nos hacen la vida más sencilla, pero que también registran los datos de actos esenciales de la vida como el sueño, la actividad física, la presión sanguínea o la respiración. “Si no pensamos de manera ética el desarrollo de la IA y las tecnologías digitales corremos el riesgo de convertirnos en un *yo cuantificado*, concluye el investigador.

### La dictadura de los datos

Cuando los individuos se convierten en identidades cuantificadas, la sociedad corre el peligro de convertirse en una dictadura sujeta a los datos. “Las predicciones y decisiones de organismos, instituciones y empresas se basan cada vez más en los datos proporcionados por algoritmos, lo que significa que ya no somos juzgados en base a nuestras acciones reales sino sobre la base que IA indica que serán nuestras acciones probables. Esto puede afectar a la decisión de instituciones de conceder o no una ayuda social, de partir como supuesto sospechoso de actos de delincuencia o, en el caso de otros países, de denegar un seguro de salud por las posibles patologías futuras del paciente”, advierte Ausín.

Además, los datos que alimentan la IA pueden incorporar sesgos o prejuicios de modo que podrían reproducir o incluso empeorar errores y discriminaciones por razón de género, raza, estatus económico o condición social. Esto consolida estereotipos y refuerza la exclusión social. “Existen varios ejemplos que nos indican que el tratamiento de los datos no puede mirarse solo desde una perspectiva técnica. Pienso, por ejemplo, en el Departamento de Justicia de Estados Unidos que, para pronosticar la reincidencia de presos, etiqueta doblemente peor a los acusados afroamericanos que a los blancos”, explica el investigador.

Precisamente por el peligro de caer en discriminación al etiquetar y tratar los datos, cada vez se promueven más estudios y grupos de trabajo interdisciplinares que integren una visión humanística en el desarrollo de herramientas de IA. “El programador no tiene conocimientos de historia o filosofía, por lo que no puede interpretar los sesgos de los datos que introduce para dar instrucciones al algoritmo que está educando y entrenando”, explica Sara Degli-Esposti, filósofa en el Instituto de Filosofía del CSIC (IFS) y experta en ciberseguridad. “La automatización del aprendizaje siempre empieza por la formación del componente humano. Igual que un niño criado en un ambiente

El internet de las cosas conecta dispositivos y aplicaciones cotidianas que suministran grandes cantidades de datos. / ISTOCK



## Nace AI Hub, la red del CSIC para investigar en inteligencia artificial

**¿Cómo conseguir que en una vida mediada por la inteligencia artificial se mantengan los valores humanos? ¿Cómo desarrollar tecnologías inteligentes que respeten principios éticos? Este es el punto de partida de la mayoría de los proyectos de inteligencia**

**artificial con un enfoque *human-in-the-loop*, una metodología que busca la interacción más efectiva y humana con la máquina, y que las necesidades de las personas influyan y optimicen el desarrollo de la IA. Con esta perspectiva en mente**

**nace la Conexión Aihub.csic, la primera red de colaboración científico-técnica que aglutina las actividades realizadas por los centros del CSIC en torno a la inteligencia artificial, una línea estratégica prioritaria para el organismo. “El objetivo de Aihub es consolidarse como una red de colaboración científica capaz de desarrollar una IA socialmente aceptable y con un fuerte componente humano. A través de la investigación, y las actividades**

**de transferencia, formación y comunicación, buscamos abordar los retos de la inteligencia artificial hacia el 2030 y responder a las estrategias expuestas en el Libro Blanco de la IA, origen de esta Conexión”, explica Carles Sierra, investigador del CSIC en el Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial (IIIA-CSIC) y coordinador de Aihub junto a Carme Torras, investigadora del CSIC en el Instituto de Robótica e Informática Industrial (IRI-CSIC-UPC).**

“**Cuando los individuos se transforman en identidades cuantificadas, la sociedad corre el peligro de evolucionar hacia una dictadura sujeta a los datos”**

Txetxu Ausín (CCHS)

racista crecerá con un sesgo de discriminación racial, un algoritmo alimentado con datos sesgados sesgará la información que proporcione”, explica la investigadora, “la IA no es racista, racista han sido las sociedades a lo largo de la historia”.

Que los sesgos que manifiesta la IA tengan un componente humano abre el debate sobre la responsabilidad de las acciones de estas inteligencias artificiales. Esto ya no es solo una cuestión ética, sino política y jurídica. Txetxu Ausín plantea el caso de los coches autónomos. “Si hay un accidente con un vehículo monitorizado, ¿quién es el responsable: el programador, la empresa distribuidora, el encargado de mantenimiento o el conductor? Hay que pararse a pensar en estas cuestiones, tener unas bases éticas y jurídicas o nos encontraremos ante artefactos fuera de la ley y de las cuestiones morales que regulan la sociedad”, expone el investigador, “la interacción de los seres humanos con la IA está acelerando nuestra configuración y autocomprensión como entornos socio-técnicos, donde se difuminan las fronteras entre los sujetos humanos y la tecnología y donde las personas trabajamos con los artefactos en una suerte de simbiosis entre la inteligencia humana y la artificial; ya no podemos dejar la ética fuera del avance tecnológico”. ●



**AGNÈS PONSATI**  
Directora de la Unidad de Recursos de Información Científica para la Investigación

## “La ciencia abierta incrementa la eficiencia de la investigación”

Por **Alejandro Parrilla García**  
/ FOTOGRAFÍA: CÉSAR HERNÁNDEZ

La filóloga y bibliotecaria Agnès Ponsati, directora de la Unidad de Recursos de Información Científica para la Investigación (URICI) del CSIC, promueve el acceso en abierto al conocimiento científico generado desde la institución a través de herramientas online como Digital.CSIC, el repositorio institucional que organiza,

preserva y difunde la producción científica del Consejo.

**Pregunta: ¿Qué es la ciencia abierta?**

**Respuesta:** Es una forma de hacer mejor ciencia, más transparente, colaborativa, inclusiva y reproducible a futuro mediante un conjunto de buenas prácticas que persiguen la apertura de los procesos de investigación científica, tan pronto como sea posible, para beneficio de toda

la sociedad. La ciencia abierta abarca todo el ciclo de producción del conocimiento científico: desde la concepción, recogida y procesamiento de datos hasta la publicación o evaluación de los resultados. Además, implica dos dimensiones: la apertura e intercambio de los resultados (publicaciones, datos, software, métodos...) y la apertura de los procesos y de las herramientas de la investigación, que se quieren abiertos y colaborativos.

**P: ¿Qué beneficios aporta a la comunidad científica y a la sociedad?**

**R:** La ciencia abierta incrementa la eficiencia y calidad de la investigación al promover una ciencia colaborativa, que se quiere inclusiva y que busca contribuir al crecimiento económico y social. Además, el CSIC está implicado en la consecución de una nueva metodología de evaluación científica que no esté basada únicamente en indicadores métricos de impacto ya que, como sabemos hoy, los procesos que se basan en métricas cuantitativas solo propician la cultura de *publica o muere*. La evaluación de la investigación debe incluir una cultura que reconozca las nuevas prácticas de la ciencia abierta: colaboración, apertura, compromiso con la sociedad y ofrecer oportunidades a múltiples talentos y generaciones de investigadores. Cuando los datos, el software, los procesos y los resultados de investigación son de acceso abierto, el potencial de la ciencia es extraordinario y el retorno a la sociedad se maximiza.

**P: ¿Cómo se impulsa desde el CSIC?**

**R:** Desde 2008, el CSIC ha implementado herramientas para fomentar el acceso en abierto y para introducir cambios en el modelo de comunicación científica imperante. Uno de los activos más claros es Digital.CSIC, que es hoy el repositorio de publicaciones y datos científicos más importante del país. Otra herramienta es el Programa de Apoyo a la Publicación en Acceso Abierto, que permite a un autor de correspondencia CSIC publicar en acceso abierto en el 80% del catálogo de editores científicos más utilizados. El CSIC, como primera institución científica del país y cuarta a nivel europeo, tiene un potencial enorme para convertirse en un buen caso de uso de la ciencia abierta, ya que cuenta con infraestructuras y servicios para crear el ecosistema de este

“**La ciencia abierta abarca todo el ciclo de producción del conocimiento científico: desde la concepción de los datos hasta la publicación de resultados**”

nuevo paradigma. Siguiendo el Mandato de Acceso Abierto firmado en 2019, el Consejo fomenta una nueva cultura de gestión de los datos científicos para que sean accesibles y reutilizables, de acuerdo con los principios FAIR.

**P: ¿Qué son los principios FAIR de buenas prácticas?**

**R:** El acrónimo FAIR agrupa cuatro conceptos que le dan significado, referidos a cualidades medibles que debe tener todo conjunto de datos: *findable* (localizable), que supone el uso de metadatos para identificar, describir y localizar los datos; *accessible* (accesible), porque pueden recuperarse mediante protocolos estandarizados de comunicación; *interoperable*, es decir, los datos se presentan de forma que resultan aplicables y con referencias a otros datos; y *reusable* (reutilizable), porque queda clara la procedencia de los datos y las condiciones para su reutilización. Para asegurarnos que los datos producidos por el CSIC cumplen con los FAIR existe un tratamiento documental y técnico relacionado con una correcta curación de los datos, la aplicación de estándares que garantizan la interoperabilidad o la aplicación de las correctas licencias de uso. Además, en breve Digital.CSIC permitirá medir el nivel de cumplimiento de estos principios.

**P: ¿Este nuevo paradigma es compatible con el modelo tradicional de comunicación científica?**

**R:** La ciencia abierta no discute el proceso de comunicación científica tradicional, es decir, que los resultados de investigación se difundan en forma de publicación revisada; lo que pone en cuestión es el modelo de negocio (monopolístico, cerrado y muy costoso), que afecta a los derechos de explotación (derechos de autor) y al acceso bajo barreras de suscripción (costes económicos), que impiden la accesibilidad a quienes no puedan costearlas. Es un escenario que busca transformar el modelo de negocio de la comunicación científica, que conocemos como *servicios de suscripción*, cambiando el acceso de cerrado por abierto. Dicho esto, el nuevo escenario de ciencia abierta promueve una gran diversidad de opciones para publicar resultados de investigación en modo abierto, más allá de los editores comerciales tradicionales, como revistas *overlay* en repositorios, plataformas de publicación de organizaciones científicas o la publicación en servidores de pre-prints; pero asegurando siempre un proceso de revisión y priorizando que este proceso sea también en abierto.

**P: ¿Qué significa el lema de Open Science: “tan abierto como sea posible, tan cerrado como sea necesario”?**

**R:** Significa que los datos de investigación financiados con fondos públicos deben de ponerse a disposición de la comunidad por defecto, siempre que sea posible y cuando no se vulneren otros principios. El mantra busca encontrar el equilibrio necesario para garantizar la máxima apertura de los datos a la par que se vigila la necesaria protección de la información científica, los derechos de comercialización y propiedad intelectual, la privacidad, la seguridad y cuestiones relativas a la conservación y gestión de los datos. ●



## Exoesqueletos que ayudan a recuperar la salud

La ingeniera Elena García Armada impulsa la empresa de base tecnológica Marsi Bionics, con la que desarrolla y comercializa robots de uso clínico para tratar la rehabilitación de atrofas musculares y parálisis cerebrales

Por **Javier Granda Revilla**

**L**a ingeniera del CSIC Elena García Armada es la creadora del primer exoesqueleto pediátrico del mundo. Se trata de un armazón ajustable conectado a una batería y una red de pequeños motores con sensores, software y maquinaria. Estos

componentes funcionan como articulaciones mecánicas que se ajustan al cuerpo y magnifican los movimientos suaves, al mismo tiempo que se adaptan al movimiento de cada niño a medida que avanza su rehabilitación. El exoesqueleto se puede ajustar al niño, generalmente entre 3 y 10 años, en menos de 8 minutos, y

le permite caminar durante las sesiones de rehabilitación neuromuscular.

Este exoesqueleto, desarrollado por la empresa Marsi Bionics, fundada por la propia García Armada, es un ejemplo de éxito de transferencia del conocimiento desde los laboratorios hasta los hospitales para mejorar la vida de las perso-

nas. El invento le ha valido a su autora la nominación como finalista para el Premio Inventor Europeo 2022 que concede la Oficina Europea de Patentes.

El logro tiene su origen en el departamento de Robótica Inteligente del Centro de Automática y Robótica (CSIC-UPM), que cuenta con más de 30 años de trayectoria,

Álvaro, afectado por atrofia muscular espinal, desarrolla su movilidad con el exoesqueleto Atlas 2030. / JOAN COSTA

centrado sobre todo en el desarrollo de robots para el sector de servicios y la industria. “La orientación hacia el sector salud cambió hace más de 10 años, en 2009, cuando recibimos la visita de una familia con una hija con una tetraplejía que se llama Daniela. Conocían nuestra actividad por un industrial con el que trabajábamos. Habían contactado con dos empresas que ya comercializaban exoesqueletos para adultos con paraplejía, pero les habían contestado que no tenían dispositivos pediátricos ni tenían previsto desarrollarlos”, recuerda.

“Las familias acuden a los centros de investigación buscando soluciones. Y pensando que las van a encontrar rápidamente”, recuerda García Armada. “Cuando nos explicaron la cuestión, entendimos que había una necesidad importantísima y que el colectivo infantil no había recibido la atención suficiente. Como centro de investigación, nos pareció que era muy importante dar respuesta a esa necesidad y nos volcamos en los exoesqueletos. Teníamos el conocimiento en el campo de la robótica de la locomoción, entendimos los problemas que había y comenzamos a trabajar sobre todo en actuación biomimética; es decir, los sistemas a nivel articular que podían adaptarse a la complejidad de la sintomatología de las enfermedades neurológicas en la infancia”.

En 2013 se realizó con Daniela la primera prueba de concepto de un prototipo. Desde entonces, se ha realizado mucha investigación dedicada a ampliar el uso del dispositivo al mayor número de patologías. “Este tipo de dispositivos son productos sanitarios y, por tanto, están sometidos a una regulación internacional que determina la Agencia Europea de Medicamentos. Esto implica que debe irse demostrando la tecnología patología por patología e ir ampliando las indicaciones de uso de la misma manera que se hace con los medicamentos”, detalla.



## García Armada es la creadora del primer exoesqueleto pediátrico del mundo para tratar la parálisis cerebral y las enfermedades neuromusculares

### Autorización de la UE para uso clínico

En el año 2021 se produce un nuevo hito al obtener el marcado CE, es decir, la Agencia Europea de Medicamentos aprueba el uso clínico de este dispositivo para las atrofas musculares y las parálisis cerebrales infantiles, cubriendo así más del 90% de discapacidades motoras en la infancia.

Mientras se ha ido avanzando en investigación, se ha realizado un proceso de industrialización y transferencia de la tecnología

desde los laboratorios a los hospitales. García Armada decidió, en el momento de plantearse la transferencia de tecnología, posibilitar el acceso a su exoesqueleto licenciando su invento a un fabricante, pero durante el proceso de industrialización que le requirieron se dio cuenta de que ya era más rápido comercializar el exoesqueleto ella misma. “Para cuando industrializamos y probamos clínicamente la invención, ya no necesitábamos licenciarla”, dijo García. “Podríamos venderlo nosotros mismos”, añade.

En los años siguientes, García Armada comercializó dos de sus inventos patentados. “Las patentes resultaron vitales para aumentar la inversión”, dice la investigadora, y agrega que sin las patentes no habría habido forma de contratar el talento necesario para llevar la invención al mercado. Desde entonces, Marsi Bionics ha crecido a 25 empleados. Su exoesqueleto pediátrico para atrofia muscular espinal ya se utiliza en España en centros de referencia nacional y está previsto que durante este año esté también disponible en México, Italia, Reino Unido, Colombia y Hungría.

Además, se está trabajando en adultos, con un dispositivo para



Elena García Armada, investigadora del Centro de Automática y Robótica, junto al exoesqueleto para niños con atrofia muscular. / LORENZO PLANA

la rehabilitación tras la cirugía de rodilla, que ya se está aplicando en hospitales de la compañía aseguradora Sanitas. También se está realizando investigación clínica en campos como el ictus o la esclerosis múltiple. “En general, tratamos el mayor número de patologías, de la misma manera que hemos hecho en niños”, apunta.

### Los retos de los exoesqueletos

Respecto al futuro, subraya que queda mucho por hacer en el ámbito de los exoesqueletos “y tratar de conseguir la mayor adaptabilidad al mayor número posible de personas. El reto es llevarlo a la vida diaria, para trabajar también en el envejecimiento activo. Y también en el desarrollo de exoesqueletos en la rama industrial, para ayudar a los operarios a realizar trabajos y evitarles la fatiga muscular”.

Los retos de la robótica en general también se centran en lograr que los robots consigan realizar actividades tan cotidianas para los seres humanos como lavar los platos, pelar una patata o abotonar una camisa. “Para nosotros, estas actividades son muy intuitivas y ni siquiera las pensamos mientras las realizamos”, advierte. “Lo que nos parece complicado son, por ejemplo, las matemáticas. Evidentemente, la capacidad de cómputo de un ordenador es superior con creces a la de la mente humana, pero es que nuestra inteligencia es otra cosa. Y lo vemos en actividades cotidianas que precisan de esta psicomotricidad fina, como algo tan sencillo como palpar y, por su forma, saber lo que es. O meter la mano en el bolso y encontrar lo que buscamos. Todas estas acciones son dificilísimas para un robot, como también lo es caminar y mantener el equilibrio. Y, en otros campos de la inteligencia -la cinestésica, la intuición y las emociones-, los robots lo tienen muy difícil”, describe. ●

## Contra el mito de la amenaza robótica

**En robótica, persisten muchos mitos por desmentir. Por este motivo, García Armada publicó en 2015 el ensayo *Los Robots perteneciente a la colección de divulgación científica ¿Qué Sabemos De...?* (CSIC-Catarata), que ha sido reeditado y actualizado recientemente (2022) bajo el título *Los robots y sus capacidades*. “El objetivo es acercar**

**el robot a las personas y, sobre todo, desmitificarlo a través del conocimiento: es un libro que está escrito en un lenguaje muy coloquial, sin tecnicismos, para que se entienda qué es un robot, para qué sirve, cómo funciona y despejar muchas dudas y evitar miedos, como que se van a rebelar contra nosotros o nos van a destruir. Porque, en muchas**

**ocasiones, el miedo se tiene a lo que se desconoce, y trato, con una explicación científica, de que se entienda y se conozca cómo piensa un robot y qué se puede esperar de él. Y, como estamos en la era de la robótica, la digitalización y la inteligencia artificial, es necesario permitir entrar a los robots en nuestro día a día. Al fin y al cabo, van a mejorar nuestra calidad de vida”, recalca.**

**¿Llegarán los robots a escribir una sinfonía o a escribir una obra maestra de la literatura? García-Armada**

**insiste en que si se entiende a la música como lógica-matemática, “es posible componer, conociendo la armonía, por lo que sería posible programarlo. Y una máquina podría realizar esa composición. Pero no sé si sería una obra maestra. El arte es mucho más que lógico-matemática, o que saber perfectamente la materia y dominarla: es interpretarla. Y en esa interpretación es donde pongo en cuestión ciertas capacidades de una máquina, faltará el duende, la magia, lo subjetivo, lo creativo. La emoción”.**



# La nube multiplica la computación para propulsar la ciencia

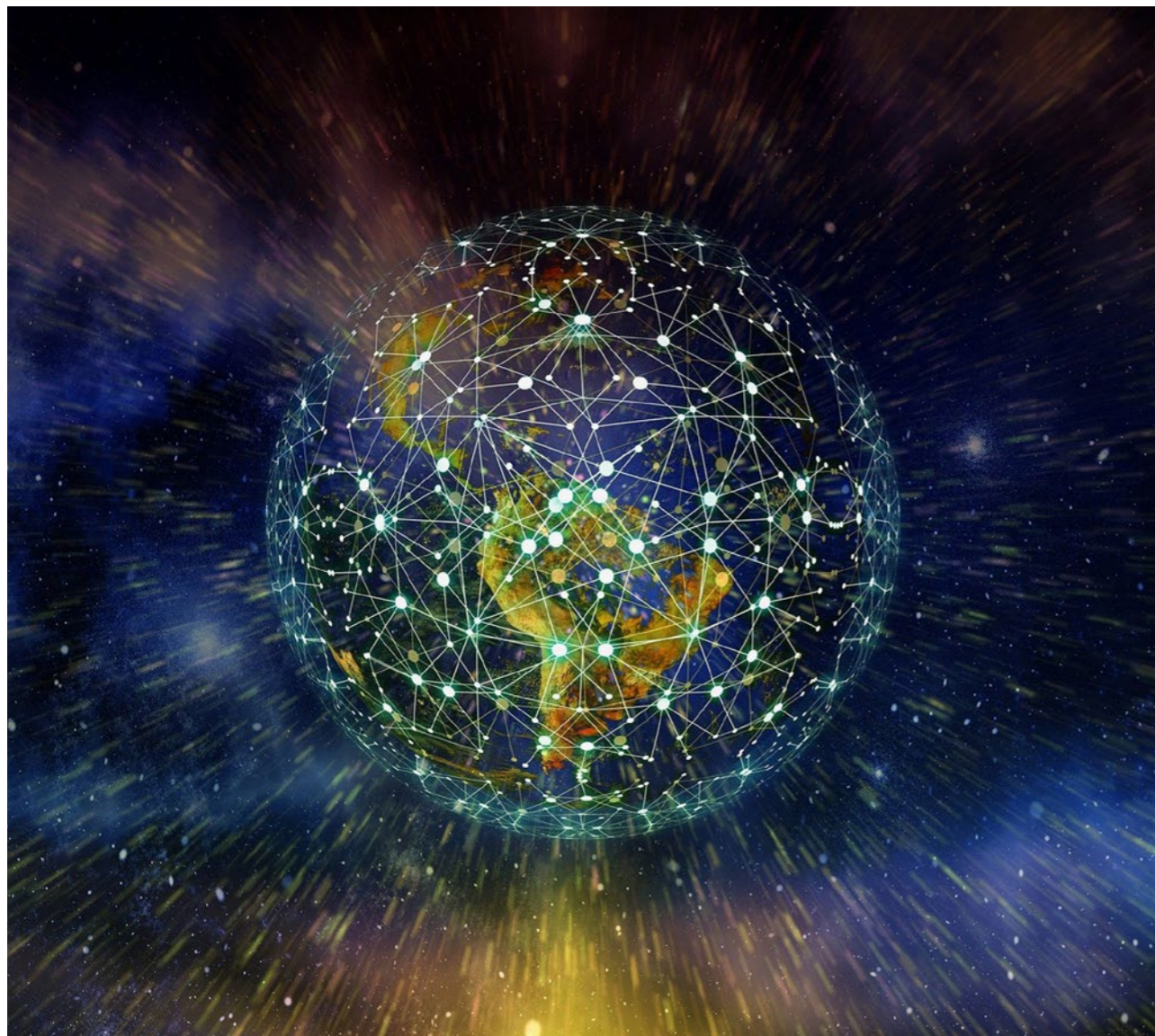
Plataformas informáticas desarrolladas por investigadores del CSIC impulsan el aprendizaje automático para mejorar la investigación en imagen médica, ingeniería, teledetección y cambio climático

Por **CSIC Comunicación**

**E**l aprendizaje automático (o machine learning) puede ayudar a mejorar la eficiencia de la agricultura. Esta técnica consiste en acumular grandes cantidades de datos e información para que un algoritmo extraiga patrones y vaya *aprendiendo* para ofrecer soluciones a problemas concretos. Es lo que ha hecho el Joint Research Centre de Ispra, en Italia, uno de los grandes nodos de investigación de la Comisión Europea.

Un equipo de este centro europeo ha recogido imágenes in situ (mediante muestreos profesionales, la aplicación Street View de Google y ciencia ciudadana), para caracterizar la adaptación de los cultivos a las estaciones.





El aprendizaje automático permite que una máquina aprenda a realizar tareas a partir de gran cantidad de datos. / PIXABAY

## La gran nube de ciencia abierta en Europa

Los proyectos Deep Hybrid y AI4EOSC utilizan las infraestructuras de la European Open Science Cloud (EOSC) o Nube de Ciencia Abierta en Europa, lanzada por la Comisión Europea en 2018, que ofrece un entorno de computación y datos sin fronteras dentro del continente, de forma que los científicos

puedan compartir, almacenar y reutilizar datos de investigación de forma abierta. Desde el CSIC, un equipo del IFCA ha trabajado en el proyecto europeo EOSC synergy, dotado con 5,6 millones de euros, para ampliar la capacidad de computación de esta infraestructura paneuropea. El proyecto está

desarrollado por un consorcio coordinado por el Instituto de Física de Cantabria, en representación de Ibergrid, el marco ibérico de cooperación científica y tecnológica firmado por España y Portugal en el ámbito de la computación distribuida. El consorcio incluye además los principales proveedores de datos e infraestructura de investigación en Alemania, Polonia, República Checa, Eslovaquia, expertos en desarrollo de políticas y repositorios de datos FAIR en los Países Bajos y Reino Unido, así como la Fundación EGI.eu.

Toda esta información se introduce en el algoritmo para que aprenda ciertas características del comportamiento de los cultivos. De esta forma se podría prever el rendimiento de los cultivos o su vulnerabilidad a las heladas o a otro tipo de amenazas.

Para poder manejar toda esa gran cantidad de información, el equipo del Joint Research Center ha utilizado una plataforma de computación en la nube desarrollada por investigadores del CSIC en el Instituto de Física de Cantabria (IFCA). Se trata de la plataforma Deep Hybrid DataCloud que ofrece un amplio abanico de aplicaciones en investigación.

“El proyecto Deep, finalizado en 2020, y su continuación AI4EOSC, proporcionan una plataforma de computación sobre la que desarrollar, de manera sencilla, aplicaciones de inteligencia artificial y aprendizaje automático”, explica **Álvaro López García**, del IFCA, que ha liderado el desarrollo de este proyecto.

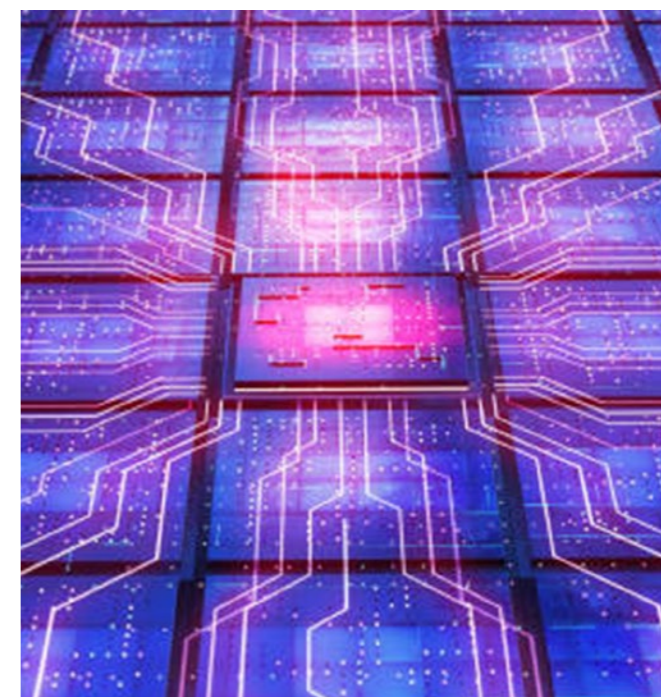
“La plataforma sirve, asimismo, como punto de colaboración para los investigadores dentro de la nube de ciencia abierta en Europa (European Open Science Cloud - EOSC).

Ya se está aplicando de modo constante en campos tan diversos como la teledetección, cambio climático, ingeniería, logística, imagen médica o biodiversidad”, añade.

Estos proyectos tratan de hacer accesibles herramientas de aprendizaje automático y profundo, y facilitar su desarrollo a los científicos de datos. “Ofrecen una serie de módulos diseñados para facilitar a la comunidad científica el desarrollo, uso y explotación de herramientas de análisis de



**Las redes neuronales artificiales (sistemas informáticos), inspiradas en las neuronas biológicas, pueden aprender a extraer modelos predictivos a partir de un gran volumen de datos**



El aprendizaje automático permite que una máquina aprenda a realizar tareas. / PIXABAY

datos, como las redes neuronales, el procesamiento en paralelo de grandes conjuntos de datos y el análisis de flujo de datos online”, detalla Álvaro.

Las técnicas de aprendizaje automático permiten que una máquina aprenda a realizar ciertas tareas directamente a partir de una gran cantidad de datos. Para este aprendizaje, uno de los modelos más utilizados son las llamadas redes neuronales artificiales (sistemas informáticos), inspiradas en el funcionamiento

de las neuronas biológicas, y que se emplean para resolver problemas en inteligencia artificial.

A partir de un gran volumen de datos, estas redes pueden aprender a extraer conclusiones y a obtener modelos predictivos. En el campo del aprendizaje profundo, estas redes neuronales artificiales tienen un tamaño mayor y pueden resolver, a priori, problemas más complejos.

“Tanto la técnica del aprendizaje automático, como la del profundo, están en la vanguardia de la inteligencia artificial, y son la base de herramientas que se están utilizando para lograr niveles muy

altos de precisión en muchos campos de investigación”, añade la investigadora del CSIC en el IFCA **Lara Lloret**.

“El entrenamiento de un modelo de aprendizaje profundo es una tarea muy compleja y de gran intensidad computacional. Requiere que el usuario tenga una configuración completa que involucre un cierto hardware, los controladores adecuados, software dedicado y suficientes recursos de memoria y almacenamiento”, precisa.

Estos proyectos de aprendizaje automático ofrecen una tecnología transparente y

accesible para que el desarrollador de la aplicación, aunque no sea experto en computación, pueda concentrarse en la creación de un nuevo modelo o en aplicar un modelo *pre-entrenado* para trabajar con un conjunto de datos.

“Ofrecemos un marco para todos los usuarios, no solo para unos pocos expertos, que permite desarrollar, entrenar y compartir modelos de deep y machine learning, tanto localmente como en un sistema cloud, de una manera sencilla”, concluye Lloret. ●

# Datos masivos para mejorar tratamientos, diseñar robots y prevenir la xenofobia

Equipos jóvenes del CSIC aplican la inteligencia artificial para desarrollar modelos predictivos de salud, diseñar redes neuronales y recopilar datos para medir las actitudes frente a la inmigración

Por **Marta García**

**M**anejar el creciente volumen de información que generamos en conjunto es uno de los retos de la sociedad digital. La inteligencia artificial y las herramientas de aprendizaje automático o *machine learning*, en las que mediante algoritmos los ordenadores adquieren la capacidad de identificar patrones y elaborar predicciones, se vuelven esencia-

les para poder obtener resultados al trabajar con grandes volúmenes de datos.

En este contexto, el trabajo de la investigadora predoctoral **Eva Arriero**, del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa (CBMSO, CSIC-UAM), es un ejemplo de aplicación de la inteligencia artificial en el campo de la salud. Mediante herramientas de *machine learning* (que entrena a la computadora a aprender por sí misma mediante el reconocimiento de patrones),

Arriero está elaborando un modelo para seleccionar el grupo de pacientes adecuado para someterse a diálisis peritoneal, una técnica que filtra la sangre de tóxicos y orina cuando los riñones no pueden hacerlo de manera correcta.

“El principal riesgo de esta técnica es la rápida desaparición en algunos pacientes de las células mesoteliales ultrafiltradoras del peritoneo, en el abdomen, lo que provoca graves problemas cardiovasculares entre el 30% y el 60%

de los pacientes que no reciben un trasplante renal. No obstante, no se sabe aún a ciencia cierta qué grupos de pacientes tienen mayor riesgo de sufrir estas complicaciones, ya que unos tardan algunos meses y otros tardan años”, explica la investigadora.

Arriero organizó una base de datos con miles de muestras de pacientes y más de 50.000 datos clínicos. Además, gracias a un kit especial, tipo Elisa, desarrollado dentro del mismo proyecto, pudo

medir con precisión la concentración de biomarcadores específicos del peritoneo y analizarlos para conocer la situación de cada paciente.

“Cruzando los resultados del test con la base de datos mediante inteligencia artificial puedo clasificar pacientes y anticiparme con otros que puedan estar en situación parecida. Este modelo predictivo permite clasificar en tiempo real alrededor del 95% de los pacientes de diálisis peritoneal

antes de que aparezcan complicaciones”, dice Arriero.

“La clasificación automatizada indica cuál es el perfil de este grupo selecto que consigue durar en diálisis hasta cuatro veces más”, añade. El proyecto forma parte de la red europea Improve PD, integrada por 22 centros coordinados por el investigador del CBM **Manuel López Cabrera**. Este esquema de análisis de pacientes podría aplicarse también a otras enfermedades.



De izda a dcha. Los investigadores José Ramón Pareja (ICMAT), Sandra Garzón (IFS) y Eva Arriero (CBMSO). / CÉSAR HERNÁNDEZ Y LORENZO PLANA

El proyecto en el que trabaja Arriero es una muestra de las diversas aproximaciones que dirigen los jóvenes investigadores del CSIC en formación y especialización para aplicar las tecnologías de la inteligencia artificial a la investigación de los comportamientos en el sector del videojuego, en la elaboración de nuevos alimentos y en el diseño de robots autónomos.

La inteligencia artificial supone una herramienta esencial para estudiar comportamientos. La investigadora **Xandra Garzón**, del Instituto de Filosofía del CSIC, trata de explicar la situación de la mujer en el mundo del videojuego, donde la mujer está infrarrepresentada, a pesar de que el porcentaje de usuarias de videojuegos alcanza el 50% del total.

"Algunos de los referentes e ideas más importantes para nuestra sociedad se generan gracias a las industrias audiovisuales y a sus narrativas, siendo el videojuego la primera y más importante de sus expresiones. La falta de mujeres en estos entornos influye sobre las historias y las prácticas de los jugadores, retroalimentan-

“**Nuestro modelo predictivo permite clasificar en tiempo real alrededor del 95% de los pacientes de diálisis peritoneal antes de que aparezcan las complicaciones**”

Eva Arriero (CBM)

do la exclusión y la merma en la experiencia de juego”, explica Garzón.

Esta investigación se centra en tres variables del videojuego: el ecosistema de empresas; las narrativas, temáticas y mecánicas de juego; y, por último, las experiencias de juego femeninas, que se extienden a los ciberespacios

de interacción social. “La finalidad de nuestra investigación es ayudar a la industria audiovisual interactiva a mejorar sus dinámicas y sus productos con la intención de, poniendo de manifiesto estas disonancias y con un enfoque feminista y de género, conseguir una industria menos excluyente, más justa y más ética”, añade.

#### Datos masivos para alertar de la xenofobia

El *Big Data*, el conjunto de información masiva y compleja generada a partir de sensores, transacciones en internet o motores de búsqueda, supone un océano de posibilidades para el estudio de los comportamientos, como el que realiza el científico predoctoral **Álvaro Mariscal**, del Instituto de Estudios Sociales Avanzados (IESA). Con la ayuda de las herramientas de la inteligencia artificial, Mariscal explora la utilidad de las nuevas fuentes de datos, como las búsquedas en Google y los datos extraídos de Facebook, para analizar las actitudes sociales ante la inmigración en España.

“Comparo las ventajas e inconvenientes metodológicos de los datos digitales en relación con fuentes tradicionales, como la encuesta y el grupo de discusión”, comenta Mariscal. “La posibilidad de estudiar de forma gratuita y en tiempo real el auge de la xenofobia en Europa podría permitir a los gobiernos diseñar políticas más rápidas y eficaces para su prevención”.

El procesamiento de datos a gran escala puede aplicarse también al diseño de alimentos. Es el caso de **Diego Hernández**, investigador predoctoral en el Centro Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), que estudia una nueva bebida saludable basada en cítricos. “Principalmente combina el limón con maqui, una baya chilena que se ha descrito como superalimento”, comenta.

A partir de los datos obtenidos en una serie de ensayos con voluntarios que describen el comportamiento metabólico, su tesis busca definir con técnicas de estadística avanzada y *machine learning* el análisis de todo el proceso de consumo de la bebida, desde la fabricación y conservación hasta la digestión.

#### Algoritmos que mantienen la privacidad

Las ventajas que ofrecen los algoritmos de *machine learning* en la investigación de los comportamientos sociales son, sin embargo, un arma de doble filo. La recopilación de información personal de los usuarios, como patrones de uso, de consumo, datos de movilidad, información ideológica, etc, implica un reto para el mantenimiento de la privacidad. Este es el problema en el que se centra la investigación de **José Ramón Pareja**, del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT), que busca la forma de *educar* a los algoritmos para que puedan seguir aprendiendo a la vez que preservan la privacidad de los datos.

“De esta forma, podríamos sentirnos más seguros a la hora de ofrecer nuestros datos, pues sabríamos que, aunque un algoritmo los observe, nada relevante queda registrado”, explica.

El cerebro, con sus mecanismos de aprendizaje, asociación de conceptos y conexión entre células especializadas, supone una importante fuente de

inspiración en el ámbito de la computación avanzada y la inteligencia artificial. **Manuel Jiménez**, investigador del Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMS), trabaja en el proyecto europeo H2020 Neuronn, en el campo de las redes neuronales oscilatorias, circuitos electrónicos que imitan el comportamiento de algunas zonas del cerebro y podrían aplicarse en la resolución de problemas.

Este sistema crea un *comportamiento colectivo inteligente*. “Así, las interacciones entre estas neuronas osciladoras realizan operaciones altamente complejas y pueden emplearse para elaborar memorias asociativas, algoritmos de reconocimiento, para reconstrucción de imágenes, detección de bordes y resolución de problemas de optimización combinatoria. Como ejemplo demostrado, pueden aplicarse en el diseño de robots autónomos que puedan evitar obstáculos. En resumen, la inteligencia artificial nos proporciona autonomía y eficiencia a la hora de buscar una solución para un problema concreto”, concluye Jiménez. ●

# El **cine** como ventana al **futuro** de la tecnología

Cuatro investigadores del CSIC analizan cómo las grandes películas de ciencia ficción plantean las posibilidades y riesgos del avance de la robótica, la inteligencia artificial y la sociedad digital

Por **Esther M. García Pastor**

**D**ecía la escritora Ursula K. Le Guin que “el ejercicio de la imaginación es peligroso para quienes se aprovechan del estado de las cosas porque tiene el poder de demostrar que el estado de las cosas no es permanente ni universal ni necesario”. Defendía la célebre escritora de ciencia fic-

ción el carácter proyectivo de un género subestimado hasta hace no mucho por la crítica literaria. Sin embargo, el avance acelerado en la investigación de áreas como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y la robótica ha redoblado el interés en la ciencia ficción como género que permite imaginar y explorar nuevos desarrollos tecnológicos y nuevos dilemas éticos; un género que nos

hizo soñar con llegar a la luna, con coches que se conducen solos, con robots y con inteligencias no humanas.

“La ciencia ficción no solo aporta una idea de innovación tecnológica concreta, sino que ofrece un contexto, una base coherente de cómo este avance será integrado en la sociedad y en definitiva en la vida cotidiana de las personas”, expone **Carme Torras**,

investigadora del CSIC en el Instituto de Robótica e Informática Industrial (IRII). Torras defiende el uso de la ciencia ficción para el aprendizaje, la reflexión y la innovación en los campos de la robótica y la inteligencia artificial y, sobre todo, para el desarrollo ético de estas tecnologías. Cree la investigadora que la creciente colaboración entre escritores y directores con la comunidad

científica abre unas perspectivas interesantes para el futuro más inmediato.

En el CSIC son muchos los científicos que se dedican a la robótica y la inteligencia artificial, desde la investigación básica hasta su desarrollo tecnológico, sin dejar de lado la necesaria reflexión ética. Cuatro de ellos analizan aquí grandes títulos de la historia del cine de ciencia fic-

ción y los mundos tecnológicos futuros que imaginan. Participan el experto en inteligencia artificial, **Ramón López de Mántaras**, del Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial (IIIA-CSIC); las ingenieras expertas en robótica **Ángela Ribeiro**, y **Elena García-Armada**, del Centro de Automática y Robótica (CAR); y el filósofo **Txetxu Ausín**, del Instituto de Filosofía (IFS). ●



## Máquinas con angustia existencial

2001. *Odisea en el espacio* (Stanley Kubrick, 1968)

2001. *Odisea en el espacio* es la historia de la evolución de la inteligencia, desde los simios prehumanos hasta un futuro de superhumanos, creadores ellos mismos de otras inteligencias", explica Ramón López de Mántaras.

Kubrick desplegó todo un mapa de imaginario de ciencia ficción en una de sus películas más recordadas. Había extraterrestres, esos extraños monolitos a los que alguien confundió con Dios; había naves espaciales con todas las comodidades; la luna ya era un terreno explorado antes de que en 1969 Neil Armstrong diera un gran paso para la humanidad; y Marte ya se quedaba pequeño para las aspiraciones terrícolas, el próximo objetivo era Júpiter. No obstante, quizás, el elemento que más caló en la cultura popular fue el ordenador de a bordo HAL9000, el ojo que todo lo escruta en la nave Discovery One en misión

“**La escena de desconexión del HAL sugiere que, si en un futuro hubiera IA fuerte, tendremos que preguntarnos cuál es nuestro derecho a desconectarlos**”

Ramón López de Mántaras (IIIA)

hacia Júpiter. Esta inquietante inteligencia artificial es recordada como un auténtico villano, pues intenta asesinar a toda la tripulación de su nave.

Sin embargo, López de Mántaras ve al HAL como una víctima de sus propios programadores. “Decide eliminar a la tripulación por el bien de la misión que se le ha encomendado, pero también se vislumbra frustración por las acusaciones de fallo a su sistema infalible”, comenta el investigador, que entiende que el ordenador de la nave actúa en defensa propia. Es memorable la escena en la que el último superviviente desconecta a HAL, que dice notar cómo su mente se está desvaneciendo y que apela directamente a su compañero humano cuando manifiesta el temor que le suscita su propia muerte. “La escena de desconexión de HAL sugiere que, si en un futuro hubiera inteligencias artificiales fuertes, con conciencia y sentimientos, tendremos que preguntarnos cuál es nuestro derecho a desconectarlas”, concluye López de Mántaras. ●



## La revuelta de los androides esclavos

*Blade Runner* (Ridley Scott, 1982)

La reflexión sobre los derechos de la inteligencia artificial entronca directamente con el comentario de Ángela Ribeiro a la película *Blade Runner*. “Ridley Scott nos sumerge en un futuro distópico, oscuro y agobiante, el ambiente idóneo para contar la historia de unos seres creados para ser esclavos, gracias a los extraordinarios avances de la ingeniería genética”, comenta la investigadora, que cree que *Blade Runner* es hoy más actual que nunca.

El avance tecnológico en la sociedad de la película plantea, según la investigadora, la cuestión ética sobre la creación de seres inteligentes para usarlos como esclavos. Los replicantes de *Blade Runner* son robots biológicos al servicio de los seres humanos capaces de desarrollar empatía cognitiva. Esta capacidad no programada preocupa a sus creadores, que los condenan a la muerte

“**Es deseable que las mejoras tecnológicas conduzcan a mejoras sociales**”

Ángela Ribeiro (CAR)

programada a los cuatro años de haber sido conectados. Los androides y ginoides ponen en jaque las leyes de la robótica, pues un robot debe protegerse a sí mismo, siempre y cuando no ponga en peligro a un humano. Sin embargo, los replicantes Nexus-6 se rebelan buscando huir de su destino, por

lo que anteponen por encima de todo su supervivencia y la de los suyos. Así, seres usados para librar a los humanos de realizar tareas pesadas y peligrosas, conscientes de su propia existencia y capaces de sentir emociones complejas son desconectados porque solo se los considera máquinas. “¿Sería lícito considerar esta retirada como una ejecución? ¿No son los replicantes realmente humanos artificiales?”, se plantea Ribeiro.

“*Blade Runner* nos muestra una sociedad enferma a la que, al menos hipotéticamente, podríamos evolucionar. Es lógico y deseable pensar que las mejoras tecnológicas deben conducirnos a mejoras sociales que globalicen el estado del bienestar. Sin embargo, son múltiples los ejemplos reales e imaginarios que nos muestran lo contrario. El avance tecnológico no puede desligarse jamás de las cuestiones éticas”, concluye Ribeiro. ●



## La fábula del buen robot

*Eva* (Kike Maíllo, 2011)

No toda la ciencia ficción vive de la distopía, también nos encontramos con ficciones amables, como *Eva*, una de las películas favoritas de **Elena García-Armada**. “En su ópera prima, el director Kike Maíllo muestra una gran valentía al descolocar la ciencia ficción que enfrenta a los robots con sus creadores y mostrar un lado amable, cotidiano y familiar de un posible futuro en el que la robótica está integrada en la vida diaria”, comenta la investigadora.

Esta es la historia de Álex, un reputado científico con un encargo de la facultad de robótica: dotar de comportamiento social a un niño robot. Álex, prendado por la personalidad de su sobrina Eva, decidirá usarla como modelo para el comportamiento social del robot. “El concepto de robótica social

“**Los robots tienen cierta autonomía, pero son máquinas, al fin y al cabo, y lo que los hace importantes es su relación con el ser humano”**

**Elena García Armada (CAR)**

y emocional atraviesa la trama desde el principio hasta el fin”, indica García-Armada. “Los robots tienen cierta autonomía, pero son máquinas, al fin y al cabo, y lo que las hace importantes es su relación con el ser humano”, añade.

Para García-Armada es claro que el director se documentó en el entorno académico. “Cuando el protagonista entra en el campus universitario le rodean robots cuadrúpedos que podrían encontrarse perfectamente en un instituto de investigación del CSIC, como el CAR o el IRII en los años 90”, observa la investigadora, que admira que Maíllo mostrara una robótica más avanzada que la que conocemos actualmente, pero que tuviera en cuenta el desarrollo paulatino de una tecnología y de la adaptación gradual y controlada de esta a nuestras vidas. ●



## Enamorados de inteligencias artificiales

*Her* (Spike Jonze, 2013)

Para **Txetxu Ausín**, al final, las ficciones sobre robots e inteligencias artificiales apelan a aquello que nos hace humanos y cree que *Her* es una de las películas que mejor plantea estas cuestiones. Esta es una historia de chico conoce a chica, pero ella, Samantha, es la inteligencia artificial del nuevo sistema operativo de él, Theodore. “Spike Jonze hace aquí un acto de imaginación que nos pone ante el espejo de lo que somos, de lo que constituye o no nuestra propia humanidad y nuestra identidad”, opina Ausín.

Parece lejano el futuro en el que existan inteligencias como Samantha, que puedan establecer con los humanos relaciones estrechas, incluso amorosas. “Sin embargo, cada vez más nuestras relaciones están más mediadas

“**Cada vez más, mantenemos una interacción física y emocional con la tecnología”**

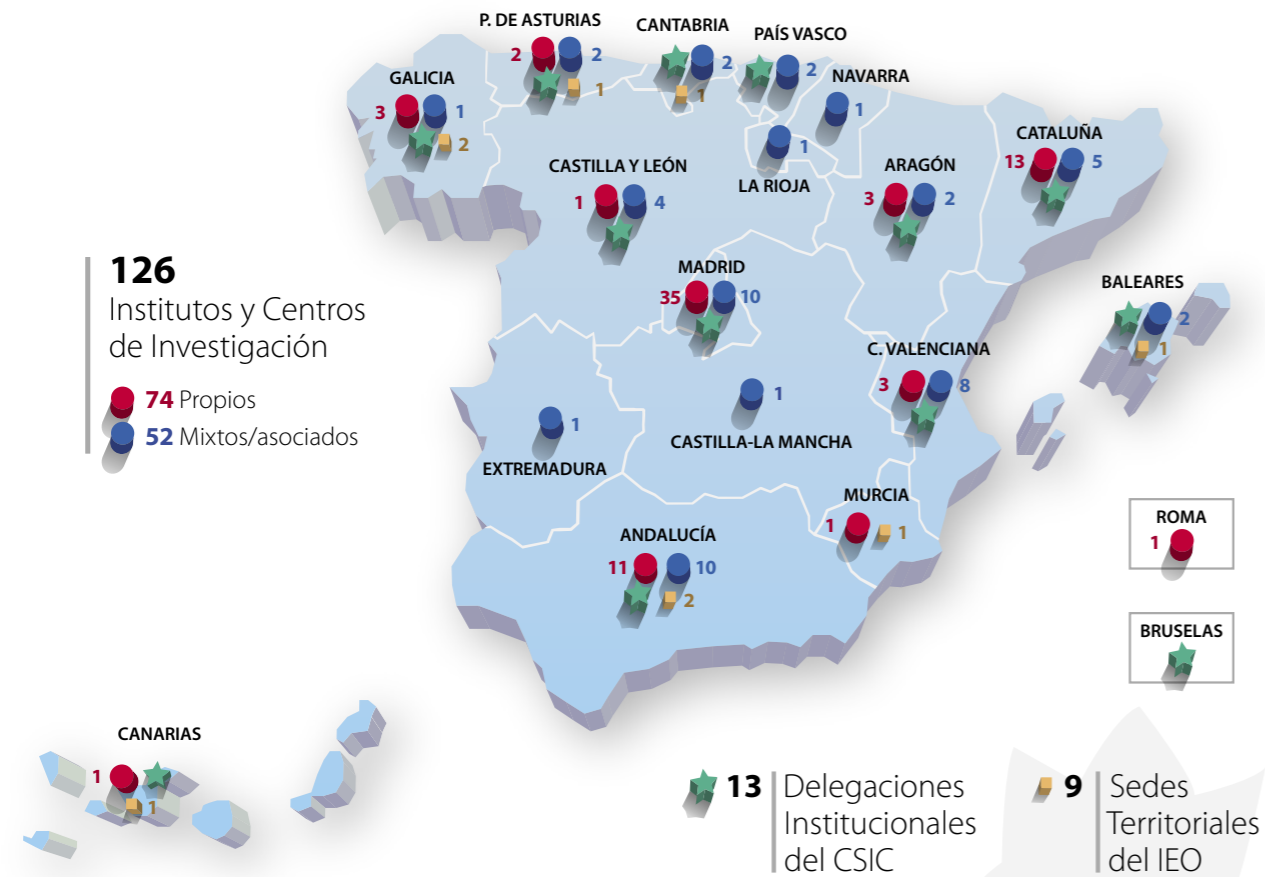
**Txetxu Ausín (IFS)**

tecnológicamente, de modo que mantenemos una interacción física, cognitiva y hasta emocional con la tecnología”, expone el investigador.

Ya vivimos en una sociedad digital, los seres humanos desarrollamos nuestras actividades junto con máquinas e inteligencias artificiales que cada vez se parecen más a nosotros. “Impul-

sados por nuestra tendencia al antropomorfismo, introducimos en la tecnología valores y capacidades antes reservados a los seres humanos”, comenta Ausín. Además, *Her* plantea la cuestión de hasta dónde es posible abstraer la humanidad de su corporalidad y pone sobre la mesa la pregunta sobre lo que es real y lo que no (“Tú no eres una persona”, le dice Theodore a Samantha), sobre la autenticidad (“¿Los sentimientos que expresas son reales o programados?”, pregunta Theodore) y sobre la longevidad, pues Samantha deja atrás la limitación humana de la mortalidad y alcanza un estado de transhumanismo. “En definitiva, *Her* plasma un futuro que nos propone preguntas sobre las que ya podemos comenzar a pensar en nuestro presente”, concluye Ausín. ●

## Centros CSIC en España



**VOLUME 1** NEW FOUNDATIONS FOR A SUSTAINABLE GLOBAL SOCIETY

**VOLUME 2** ORIGINS, (CO)EVOLUTION, DIVERSITY & SYNTHESIS OF LIFE

**VOLUME 3** GENOME & EPIGENETICS

**VOLUME 4** CHALLENGES IN BIOMEDICINE & HEALTH

**VOLUME 5** BRAIN, MIND & BEHAVIOUR

**VOLUME 6** SUSTAINABLE PRIMARY PRODUCTION

**VOLUME 7** GLOBAL CHANGE IMPACTS

**VOLUME 8** CLEAN, SAFE AND EFFICIENT ENERGY

**VOLUME 9** UNDERSTANDING THE BASIC COMPONENTS OF THE UNIVERSE, ITS STRUCTURE & EVOLUTION

**VOLUME 10** DIGITAL & COMPLEX INFORMATION

**VOLUME 11** ARTIFICIAL INTELLIGENCE, ROBOTICS & DATA SCIENCE

**VOLUME 12** OUR FUTURE? SPACE COLONIZATION & EXPLORATION

**VOLUME 13** OCEAN SCIENCE CHALLENGES FOR 2030

**VOLUME 14** DYNAMIC EARTH: PROBING THE PAST, PREPARING FOR THE FUTURE

## Libros blancos del CSIC

Reúnen el conocimiento de las áreas estratégicas de la institución para 2030

Acceso abierto. Descarga gratuita

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

CSIC CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

EDITORIAL CSIC

**CSIC**  
INVESTIGA

Revista de ciencia







**CSIC**

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN