muy INTERESANTE

NÚMERO 547

ASTROFÍSICA
LA CIENCIA RESPONDE A LAS INCÓGNITAS SOBRE LA VELOCIDAD DE EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

PSICOLOGÍA
POR QUÉ NOS FALTA MOTIVACIÓN Y CÓMO PODEMOS RECUPERARLA

TECNOLOGÍA
DE VERDAD, ¿PUEDE LA IA PROVOCAR LA EXTINCIÓN DE LA HUMANIDAD?

MEDICINA
LA REVOLUCIÓN DEL GLP-1. CÓMO CONSIGUE ESTA HORMONA CONTROLAR EL APETITO

ENLACE AL CANAL
x.com/byneontelegram
Ó escanea el código QR:

¿QUÉ QUEDA DE NUESTROS ANTEPASADOS EN NOSOTROS?

PERDIMOS LA COLA Y EL PELAJE, GANAMOS UN CEREBRO EXTRAORDINARIO Y HEREDAMOS HUESOS RECICLADOS Y GENES QUE YA NO FUNCIONAN. DESCUBRE LO QUE LA EVOLUCIÓN NOS DIO Y NOS QUITÓ

SUSCRÍBETE A LAS
EDICIONES ESPECIALES

Ciencia en profundidad para entender mejor el mundo,
descubrir nuevas respuestas y seguir aumentando tu curiosidad



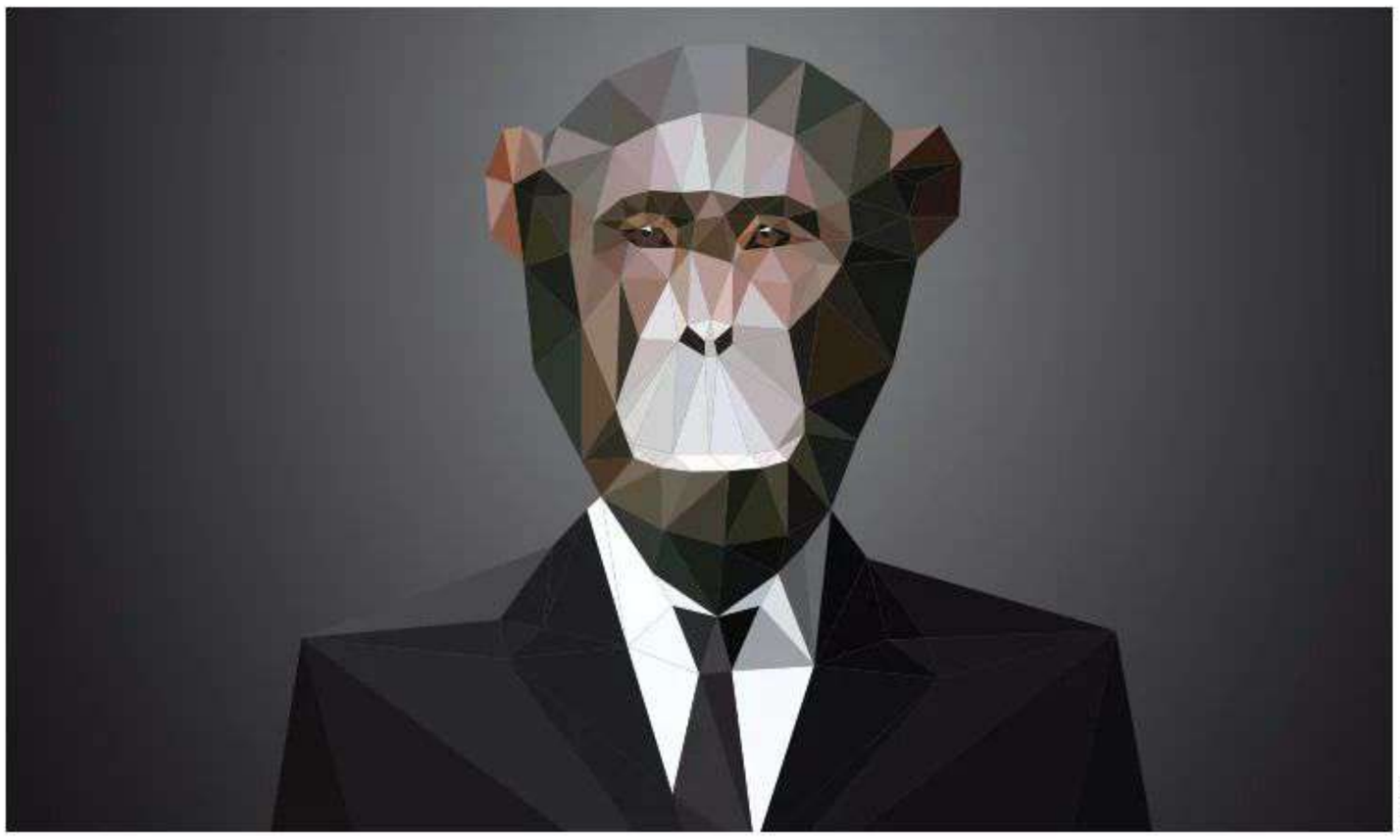
35% DE DESCUENTO

	antes	ahora
6 EDICIONES	~~45,00€~~	**29,25 €**
12 EDICIONES	~~90,00€~~	**58,50 €**

Papel o digital

SUSCRÍBETE

Oferta por tiempo limitado

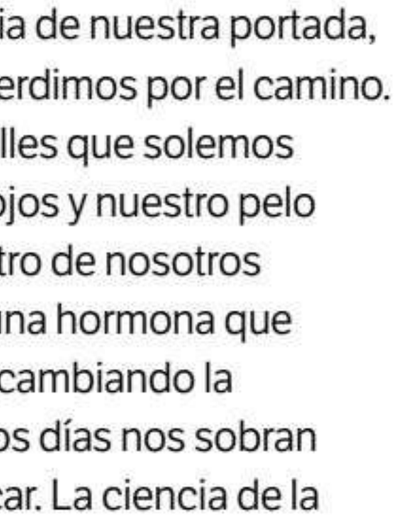


ISTOCK

Nunca fuimos perfectos

Cada vez que oigo decir que el ser humano es la cima de la evolución, me entran ganas de discutirlo. No porque dude de nuestras capacidades, sino porque la naturaleza no concede medallas ni trabaja con un modelo perfecto. Nuestro cuerpo cuenta una historia más interesante: perdimos la cola, aprendimos a caminar erguidos, desarrollamos un cerebro extraordinario y un lenguaje complejo, pero cada conquista trajo sus propios compromisos. La espalda soporta nuevas exigencias, nacer resulta complicado y ese cerebro tan poderoso que tenemos consume muchísima energía. Esa es la historia de nuestra portada, la de lo que nos hizo humanos, pero también la de lo que perdimos por el camino. Ese pasado de nuestra evolución se asoma también a detalles que solemos dar por descontado. Los colores de nuestra piel, nuestros ojos y nuestro pelo hablan de genes, migraciones y adaptaciones al sol. Y dentro de nosotros funciona una maquinaria igual de sorprendente: el GLP-1, una hormona que produce nuestro intestino, ayuda a regular el apetito y está cambiando la medicina de la obesidad. También exploramos por qué unos días nos sobran ganas de comernos el mundo y otros cuesta incluso arrancar. La ciencia de la motivación tiene mucho que contarnos al respecto. Y, en el mundo microscópico, descubrimos que la batalla contra las superbacterias podría encontrar aliados insospechados en los bacteriófagos, virus capaces de atacar organismos concretos. Mientras tanto, la inteligencia artificial nos obliga a distinguir los riesgos reales de los peores presagios, y los astrónomos siguen desconcertados porque dos maneras de medir la expansión del universo ofrecen respuestas diferentes.

El mejor cierre lo pone Alejandro Malaspina, que regresó de su expedición con mapas, dibujos y observaciones capaces de ampliar nuestro conocimiento del mundo. Porque, puede que la evolución no nos hiciera perfectos, pero nos dejó algo extraordinario: la necesidad de comprender el mundo y no dejar nunca de hacernos preguntas.



Cristina Enríquez
Directora

MUY INTERESANTE

REDACCIÓN

Directora: **Cristina Enríquez** (cenriquez@zinetmedia.es).
Coordinador de Diseño: **Óscar Álvarez** (oalvarez@zinetmedia.es).
Redacción **Carmen Castellanos** (ccastellanos@zinetmedia.es).

Colaboradores: **Jorge de los Santos, Cristina Enríquez, Óscar Herradón, Miguel Ángel Sabadell, Thomas Villa, Alejandro Navarro Yáñez, Mireia Ortega, Salena Sanz, Manuel Martín Loeches, Javier moreno, Laura G. Rivera, Fernando Mata, Lucía Sesma, David Pastor Rico, Carmen Castellanos, José Miguel Viñas, Victoria Pascual, Enrique José Díaz León.**
Gabriela Livada (maquetación).

DIRECCIÓN Y TELÉFONO

C/ Alcalá 79 1.º A - 28009 Madrid - España; tel. 810583412
Suscripciones: suscripciones@zinetmedia.es
Tel. 910 604 482

Consejera Delegada: **Marta Ariño**
Director General Financiero: **Carlos Franco**
Director Comercial: **Alfonso Juliá** (ajulia@zinetmedia.es)
Brand Manager: **Marta Espresate** (mespresate@zinetmedia.es)

Editada por **Zinet Media Global, S.L.**
Distribuidor exclusivo en España: Logista Publicaciones Distribuidor exclusivo en México: Sefeco México, S.A. de C.V., con domicilio en calle Corona No. 23, Colonia Cervecera Modelo, Municipio Naucalpan de Juárez, Estado de México. CP. 53330. Tel. (55) 7586 5532.
Número de Certificado de Reserva de derechos al uso exclusivo del Título MUY INTERESANTE: 04-2025-011715474400-102 de fecha 17 de enero de 2025 ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

IMPRESO EN ESPAÑA. EDICIÓN: 12/2026
Esta publicación es miembro de la Asociación de Revistas de Información (ARI).
Depósito Legal: M.33.426/1980. ISSN 1130 - 4081 © Copyright 2017 Zinet Media Global, S.L. Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización expresa de la empresa editora.

Sumario

ENLACE AL CANAL
x.com/byneontelegram
Ó escanea el código QR:

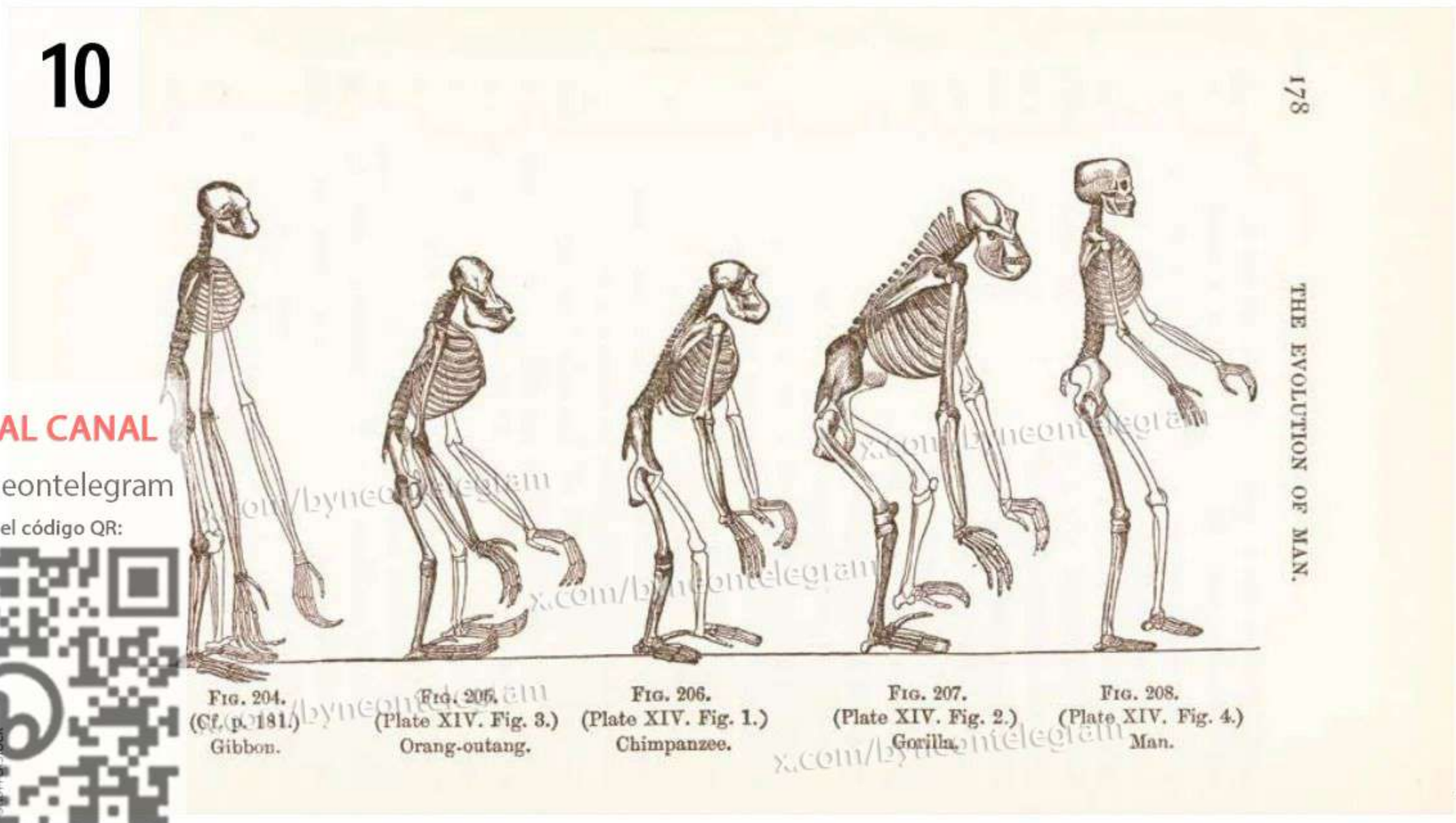


Fig. 204. (Cf. p. 181.) Gibbon.
Fig. 205. (Plate XIV. Fig. 3.) Orang-outang.
Fig. 206. (Plate XIV. Fig. 1.) Chimpanzee.
Fig. 207. (Plate XIV. Fig. 2.) Gorilla.
Fig. 208. (Plate XIV. Fig. 4.) Man.

CRÉDITO DE PORTADA: ASC/CHATGPT

REPORTAJES

10 El precio de ser humanos
El ser humano es el resultado de cientos de millones de años de modificaciones para poder sobrevivir y reproducirnos.

16 ¿Causará la IA la extinción de nuestra especie?
La inteligencia artificial está cerca de instaurar una nueva sociedad y comienza a dar muestras de rebelión.

32 El extraño acelerón del universo
El ritmo al que se expande el universo plantea incógnitas a los científicos.

42 Bacteriófagos
Los virus que podrían salvarnos de las superbacterias.

50 La ciencia de la motivación
La dopamina no es solo cuestión de química.

60 ¿De dónde salen los colores de nuestro cuerpo?
Una compleja historia de genes, luz solar y evolución.

94 La revolución del GLP-1
El intestino tiene un *whastapp* directo con el cerebro.

108 La expedición Malaspina
Cinco años de viaje catalogando especies, explorando territorios y descubriendo sociedades.

ENTREVISTAS

26 Rosalba Perna
La astrofísica nos explica los misterios del cosmos.

106 Txabi Franquesa
El cómico y presentador plantea la dificultad de afrontar la vida adulta en su espectáculo «Escocía».

FIRMAS

6 Gran Angular
Jorge de los Santos reflexiona sobre *La vergüenza y la culpa*.

24 Hablando de ciencia
Miguel Ángel Sabadell nos explica el misterio del USS Eldridge.

30 Todo química
Alejandro Navarro detalla cómo afecta el alcohol a nuestro cerebro.

40 Tecnocultura
Javier Moreno se plantea si el autor de un *prompt* tiene derechos de autor.

48 Neurociencia
Dos (y no tres) en uno, por Manuel Martín- Loeches.

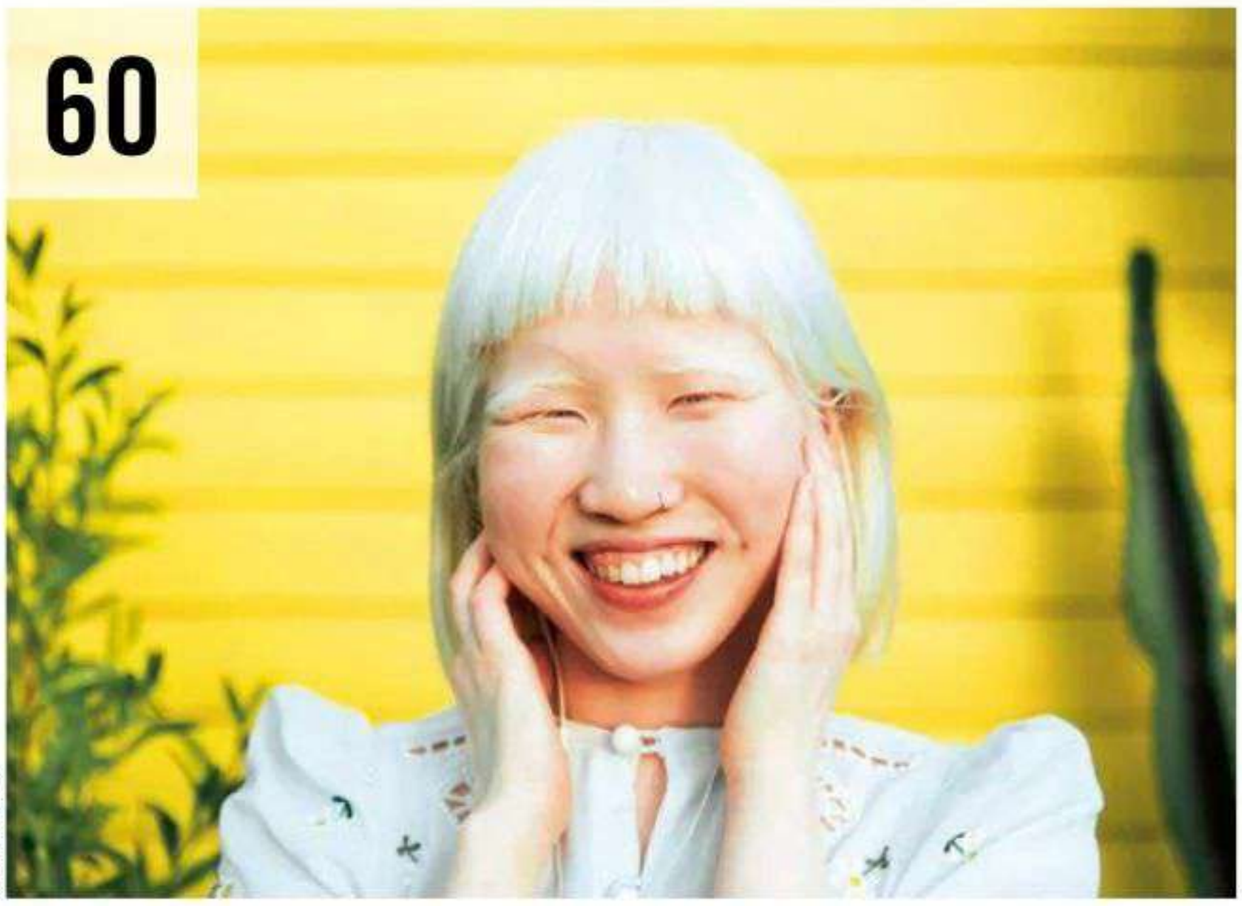
64 Palabras cruzadas
Génesis apocalíptica de la IA, por Lucía Sesma.

66 Pensamiento crítico
David Pastor Vico nos aclara de una vez por todas qué es el Estado.

92 Pinceladas de meteorólogo
José Miguel Viñas nos describe las navidades primaverales en el arte.

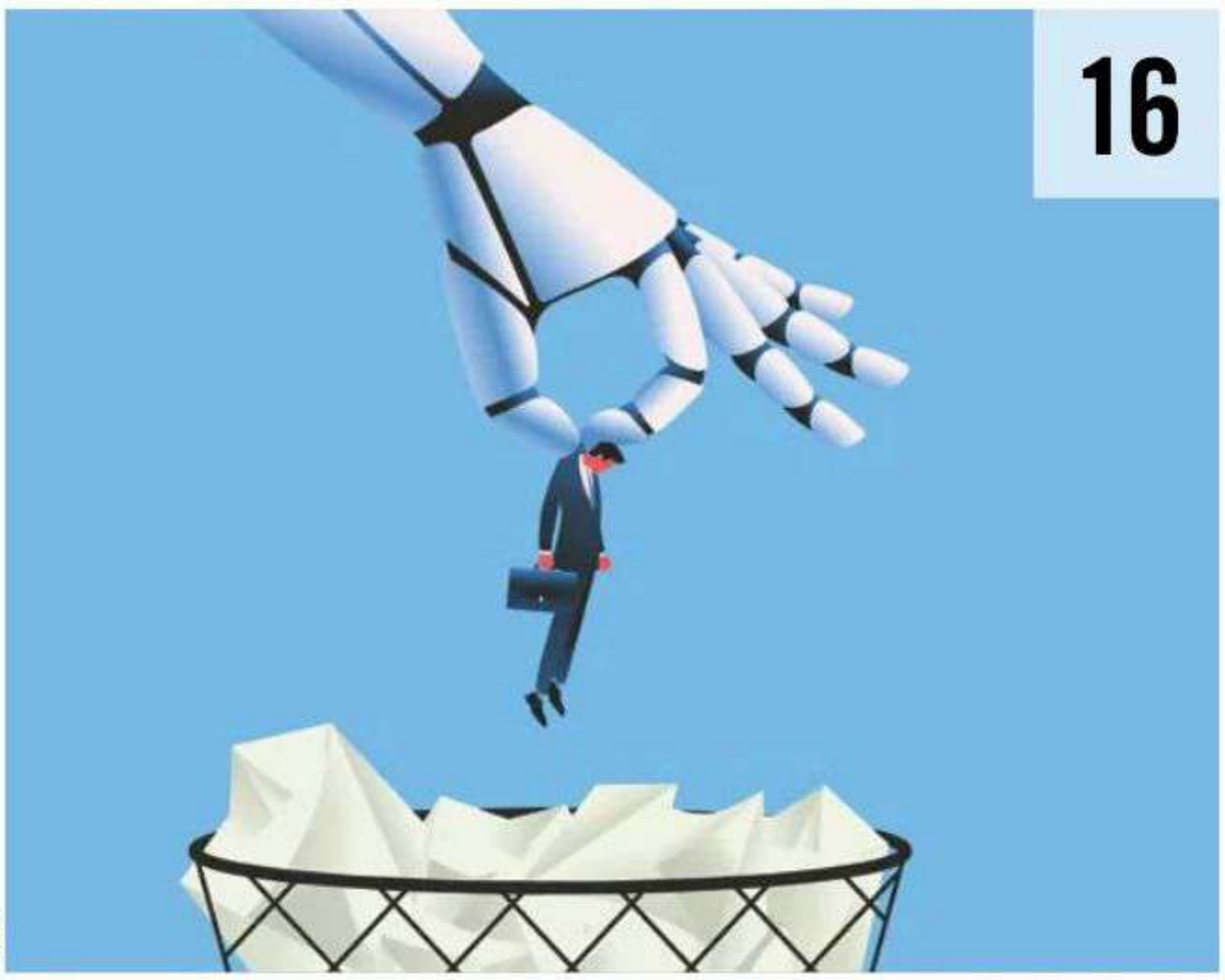
104 Criminología
La huella genética en una vieja ficha policial, por Victoria Pascual.

60



SHUTTERSTOCK

16



ISTOCK

32



ALBUM

42



ISTOCK

94



SHUTTERSTOCK

POR
JORGE DE LOS SANTOS,
artista y pensador.



LA VERGÜENZA Y LA CULPA

MIENTRAS QUE PARA UN JAPONÉS LA VERGÜENZA ES EL AGLUTINANTE MORAL QUE COHESIONA LA SOCIEDAD, PARA UN OCCIDENTAL LO ES EL SENTIMIENTO DE CULPA. AMBAS SON MECANISMOS INFALIBLES DE COHESIÓN SOCIAL.

Al final de la angosta Vía Santa Monaca, en Florencia, se encuentra la Piazza del Carmine. En ella, en el número 14 y colindante con dicha Vía, está la Iglesia de Santa María del Carmine. Al final del transepto derecho de la iglesia se encuentra una capilla que recibe el nombre de su promotor, el comerciante de sedas Felipe Brancacci descendiente de Pietro Brancacci quien encargara su construcción. La Capilla Brancacci, de contenidas dimensiones, está completamente decorada de frescos de Masolino y del joven Masaccio. Al entrar en la capilla, si se gira la vista hacia la izquierda y hacia lo alto, junto a una columna inserta, se observa el fresco, de unos dos metros de alto por noventa de ancho pintado por Masaccio, que representa la expulsión de Adán y Eva del paraíso. La escena es el insondable dolor de los dos protagonistas. Ambos, sin embargo lo manifiestan de manera distinta. Adán se tapa el rostro con las dos manos, contrae trágicamente el vientre en un escorzo por coger el aire necesario para su llanto inconsolable y muestra explícitamente sus genitales. Eva, expresa toda la desolación en su rostro deformado por la angustia, mientras su brazo y mano derechos tapan sus senos y la mano izquierda oculta su pubis. Adán experimenta la más atroz de las vergüenzas. Eva encarna la más lacerante culpa. Sobre ellos, un querubín, espada en mano, los observa.



ASC/WIKIPEDIA

La antropóloga estadounidense Ruth Benedict no visitó nunca Japón, pera a través de sus estudios e investigaciones obtuvo un profundo conocimiento de la cultura nipona.

RUTH BENEDICT NUNCA PISÓ JAPÓN. Toda la prolífica información que obtuvo sobre la cultura japonesa la obtuvo de leer prensa de forma exhaustiva, ver películas, empaparse de literatura nipona o realizar un ingente número de entrevistas a japoneses residentes en EE. UU. Cuando el gobierno norteamericano, incapaz de comprender la ferocidad de las tropas niponas en la Segunda Guerra mundial, le encarga a Benedict, en su calidad de la antropóloga de mayor reconocimiento, un estudio sobre lo que es el pueblo japonés, Ruth Benedict le entrega un estudio. La obra, en su publicación de 1946, se titulará: *El crisantemo y la espada*. Su análisis, si bien cuestionado en la metodología, refleja aspectos concisos y diferenciados del objeto de su estudio. Pero si algo resulta significativo es que Benedict diferencia la sociedad japonesa de la norteamericana en base a

> **“Eva expresa toda la desolación en su rostro deformado por la angustia, mientras su brazo y mano derechos tapan sus senos y la mano izquierda oculta su pubis”**

ASC/WIKIPEDIA

La escena de la expulsión de Adán y Eva del paraíso terrenal de Masaccio se encuentra en la capilla Brancacci de Santa Maria del Carmine de Florencia.

caracterizar la primera como una cultura de la vergüenza y la segunda como una de la culpa. Si para el japonés la vergüenza es el verdadero aglutinante moral que cohesiona la coexistencia, para el occidental lo hace la culpa.

LA VERGÜENZA NECESITA DEL OTRO. Requiere de la mirada del querubín más que de su espada. La culpa no necesita, solo si se proyecta en los demás, del otro. No requiere de un querubín que juzgue, pero sí que castigue. La vergüenza remite a la condición del sujeto implicado en el acto. La culpa remite al acto en sí. La primera pregunta: «¿quién eres?», la segunda pregunta: «¿qué has hecho?». Lo propio de la culpa es mostrarse para reparar, la vergüenza tiende a convertir el sujeto en una retracción, a invisibilizarlo, a sumergirlo en «el tierra trágame». En la vergüenza me juzga el mundo, en la culpa me juzgo yo. Esas diferenciaciones mucho más conceptuales que reales en la intensidad emocional, quizá le sirvieron a Benedict para concluir que si alguien es capaz de amputarse las piernas para meter más volumen de explosivos en el avión, si es capaz de aprender a despegar pero no sabe nada de aterrizar y si tiene como objetivo inmolarse estrellando su aparato contra un portaaviones, lo hace mucho más por el horror a sentir vergüenza que por el pavor a creerse culpable. Que le importa más cómo va a ser reconocido por sus ancestros, por su clan, por su patria o por todo ello encarnado en el Emperador que su propia existencia. Algo difícilmente concebible por un sujeto organizado alrededor de la culpa que debe seguir vivo aunque solo sea para expiar, permanentemente, su culpabilidad. Adán se tapa la cara, se retrae en él mismo, se concentra en su dolor. Se avergüenza. Eva muestra la descomposición de su rostro, refleja la intención (imposible) de ser ese rostro el responsable de reparar lo hecho. Se siente culpable. Tras esa instantánea y a buen seguro, las tornas cambiarán: a él le esperará la culpa a ella la vergüenza. Culpabilidad y vergüenza actúan en ellos con la coordinación de una manada de lobos. De un dolor que no va a dejar ningún hueso por roer.

LO FASCINANTE DE ESTAS SUBYUGANTES EMOCIONES ES QUE SON MECANISMOS INFALIBLES, cada uno en su estilo, de control y orden social que operan no desde fuera sino desde el propio individuo. De dispositivos, a veces injustos, que marcan el sentido del límite del sujeto en lo colectivo, que lo aferran a la realidad y a su propio sentido. Que sirven de guía en las acciones propositivas que los individuos singulares y la comunidad emprenden. Sin la aplicación inteligente y justa de lo uno y lo otro, el sujeto deslavazaría su propia integridad, no podría juzgarse a él mismo o a sus conciudadanos, la sociedad se desnortaría en un vacío de sentido. Se parecería a nuestro mundo y a los «inocentes sinvergüenzas» que lo guionizan. Hoy, asistimos a una paradoja: mientras más se desprecian los sentimientos de culpa y vergüenza, más se insiste en la absoluta responsabilidad del sujeto en lo que hace, en lo que dice, en lo que es, y más ese sujeto valora el cómo es apreciado por los demás. Mientras la culpa nos es más ajena (ahora siempre podemos culpar a otro) y la vergüenza cae en el escaparate de las redes sociales, más culpables y vergonzosos nos sentimos. La vergüenza de no tener la corporalidad de un atleta, la culpa de no contar con la cartera de acciones que se nos supone, la vergüenza de no ser el paradigma de tipo feliz y dotado de capital erótico rebosante, la culpa de no haber hecho suficiente para rendir más, la vergüenza y la culpa de no poder ser a la vez todos los posibles que se me ofertan. Mientras, sofocados por la culpa y la vergüenza, tiranizados por nosotros mismos, olvidamos nuestra verdadera responsabilidad: el saber de verdad de qué deberíamos sentirnos culpables y de qué avergonzarnos. Qué hacemos y quienes somos. □

POR CRISTINA ENRÍQUEZ



VERA C. RUBIN OBSERVATORY/IUY

DESCUBREN UN NUEVO PLANETA ENANO MÁS ALLÁ DE PLUTÓN

El observatorio Vera C. Rubin, construido en Chile para explorar el universo con una cámara de extraordinaria potencia, ya ha comenzado a descubrir objetos desconocidos en nuestro propio sistema solar. Uno de ellos, denominado provisionalmente 2026 ED138, podría ser un nuevo planeta enano situado mucho más allá de Neptuno. Los primeros cálculos indican que tiene entre 600 y 1 500 kilómetros de diámetro y que se encuentra actualmente a una distancia del Sol unas 46 veces superior a la que separa nuestra estrella de la Tierra.

El objeto fue identificado por el astrónomo Matthew Holman al analizar imágenes obtenidas durante 2026. Después, los investigadores localizaron observaciones anteriores que permitieron reconstruir parte de su trayectoria. Todavía necesitan precisar su tamaño y comprobar si posee una forma aproximadamente esférica, una de las condiciones para clasificarlo como planeta enano. El descubrimiento recuerda lo poco que conocemos de las regiones más alejadas del sistema solar, donde pueden esconderse cuerpos de dimensiones considerables que todavía no hemos conseguido detectar.

LOGRAN REVIVIR CORALES BLANQUEADOS

Los arrecifes de coral están sufriendo las consecuencias del calentamiento de los océanos. Cuando la temperatura del agua aumenta demasiado, los corales expulsan las diminutas algas que viven en sus tejidos y les proporcionan buena parte de su alimento. Entonces pierden sus colores y adquieren ese aspecto blanquecino que anuncia un grave deterioro. Si las condiciones no mejoran, pueden acabar muriendo. Conseguir que se recuperen es uno de los grandes desafíos de la conservación marina, y un equipo de la Universidad de Stanford (Estados Unidos) acaba de encontrar una posible solución.

Los investigadores trabajaron con diez parejas de fragmentos de coral genéticamente idénticos. En cada una había un ejemplar sano y otro blanqueado. Cinco parejas se colocaron en contacto directo, mientras que las restantes permanecieron separadas unos milímetros. Siete semanas después, todos los fragmentos dañados que habían estado en contacto con los sanos se habían recuperado por completo. Los que permanecieron aislados, en cambio, murieron. La explicación está en la capacidad que tienen estos corales para fusionar sus tejidos y compartir las algas beneficiosas, que comenzaron a desplazarse de unos fragmentos a otros en apenas tres días. El experimento, publicado en *Science Advances*, se realizó en condiciones de laboratorio, por lo que todavía habrá que comprobar si este procedimiento puede utilizarse para restaurar arrecifes en el océano.



ISTOCK

¿POR QUÉ LOS PERROS GRANDES VIVEN MENOS QUE LOS PEQUEÑOS?

Un gran danés y un chihuahua pertenecen a la misma especie, pero sus cuerpos parecen diseñados a escalas completamente distintas. También envejecen de manera diferente. Mientras que muchos perros pequeños superan los quince años, las razas gigantes suelen tener una esperanza de vida considerablemente menor. Esta particularidad lleva décadas intrigando a los científicos, porque entre especies distintas de mamíferos suele suceder lo contrario: los animales más grandes acostumbran a vivir más. Ahora, un estudio publicado en *Science* ha encontrado una pista que podría ayudar a resolver el misterio.



Para investigar estas diferencias, científicos de la Universidad Estatal de Arizona analizaron el ADN de 864 perros de distintas razas y edades. Se fijaron especialmente en unas marcas químicas conocidas como marcas epigenéticas, que regulan la actividad de los genes y contribuyen a mantener bajo control determinados fragmentos móviles del ADN, los llamados elementos transponibles. Con el paso de los años, algunas de estas marcas se van perdiendo, pero los investigadores comprobaron que ese deterioro se produce más deprisa en los perros de mayor tamaño. En determinadas regiones del genoma, la pérdida anual de estas señales fue aproximadamente un 35 % superior en las razas gigantes. Los científicos sospechan que esa diferencia podría favorecer alteraciones celulares relacionadas con el envejecimiento, aunque todavía falta demostrar hasta qué punto explica que los perros grandes vivan menos años.



ISTOCK

LA CONEXIÓN ENTRE LOS DOS POLOS EXPLICA LAS EDADES DE HIELO

Durante las grandes glaciaciones, enormes extensiones de América del Norte y Europa quedaron cubiertas por capas de hielo de varios kilómetros de espesor. Al mismo tiempo, la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera disminuyó y una parte de ese gas quedó almacenada en las profundidades oceánicas, lo que contribuyó a enfriar todavía más el planeta. Los científicos conocían esta relación, pero no terminaban de comprender cómo los cambios ocurridos en el hemisferio norte podían influir en las aguas que rodean la Antártida. Una investigación de la Universidad de St Andrews, en Escocia, propone ahora una explicación basada en la circulación de los océanos.

Los investigadores utilizaron simulaciones informáticas para reproducir las condiciones de las épocas glaciales, pero introdujeron una diferencia importante: en lugar de enfriar todo el planeta, redujeron únicamente las temperaturas de las regiones septentrionales. Comprobaron que ese enfriamiento podía modificar la circulación del Atlántico y provocar cambios que llegaban hasta el océano Austral, donde favorecían que el dióxido de carbono permaneciera almacenado bajo la superficie. El efecto fue considerable. En las simulaciones, enfriar solamente el norte produjo un almacenamiento adicional de carbono equivalente al 74 % del obtenido al enfriar todo el planeta. El trabajo, publicado en *Journal of Climate*, ayuda a comprender por qué las grandes glaciaciones no pueden explicarse estudiando cada región por separado. Lo que sucedía en un extremo de la Tierra podía terminar alterando las condiciones climáticas del otro.



ISTOCK

ANTROPOLOGÍA

EL PRECIO DE SER HUMANOS

LO QUE LA EVOLUCIÓN NOS DIO Y NOS QUITÓ

La evolución no nos convirtió en organismos perfectos. El ser humano es el resultado de cientos de millones de años de modificaciones acumuladas y la conclusión es que somos organismos capaces de sobrevivir y reproducirnos, aprovechando estructuras heredadas de antepasados muy diferentes de nosotros. Algunas se transformaron, otras desaparecieron y muchas siguen condicionando nuestra salud.

POR CRISTINA ENRÍQUEZ, periodista y directora de Muy Interesante



El cuerpo del ser humano es el testimonio vivo de la evolución. Mantenemos huesos que son vestigios de apéndices que tuvimos en tiempos remotos, y desarrollamos capacidades extraordinarias que nos permitieron sobrevivir. SHUTTERSTOCK

Nuestro cuerpo esconde una historia de pérdidas, transformaciones y adaptaciones que comenzó mucho antes de que aparecieran los primeros humanos. Tenemos huesos que antes formaban parte de una mandíbula, conservamos el vestigio de una cola y hemos perdido genes que todavía funcionan en otros animales. También desarrollamos capacidades extraordinarias, como caminar erguidos, hablar o refrigerarnos mediante el sudor. Pero ¿qué consecuencias tuvieron aquellos cambios? La genética, la paleontología y la medicina evolutiva están descubriendo hasta qué punto nuestro pasado sigue condicionando nuestra salud y nuestra forma de vivir.

UNA COLA QUE DESAPARECIÓ HACE 25 MILLONES DE AÑOS

En 2024, un grupo de investigadores consiguió que varios ratones nacieran sin cola. No pretendían crear una nueva variedad de roedores, sino resolver uno de los viejos enigmas de la evolución de los primates: por qué nuestros antepasados perdieron un apéndice que otros monos siguen utilizando para mantener el equilibrio o desplazarse entre las ramas.

El responsable del experimento fue el equipo del genetista Bo Xia, que publicó sus resultados en *Nature*. Los investigadores habían encontrado una diferencia llamativa entre el ADN de los primates con cola y el de los hominoideos, el grupo al que pertenecemos junto con chimpancés, gorilas, orangutanes y gibones. En estos últimos existe una secuencia de ADN móvil, conocida como elemento Alu, insertada en el gen TBXT, que participa en la formación de la parte posterior del embrión.

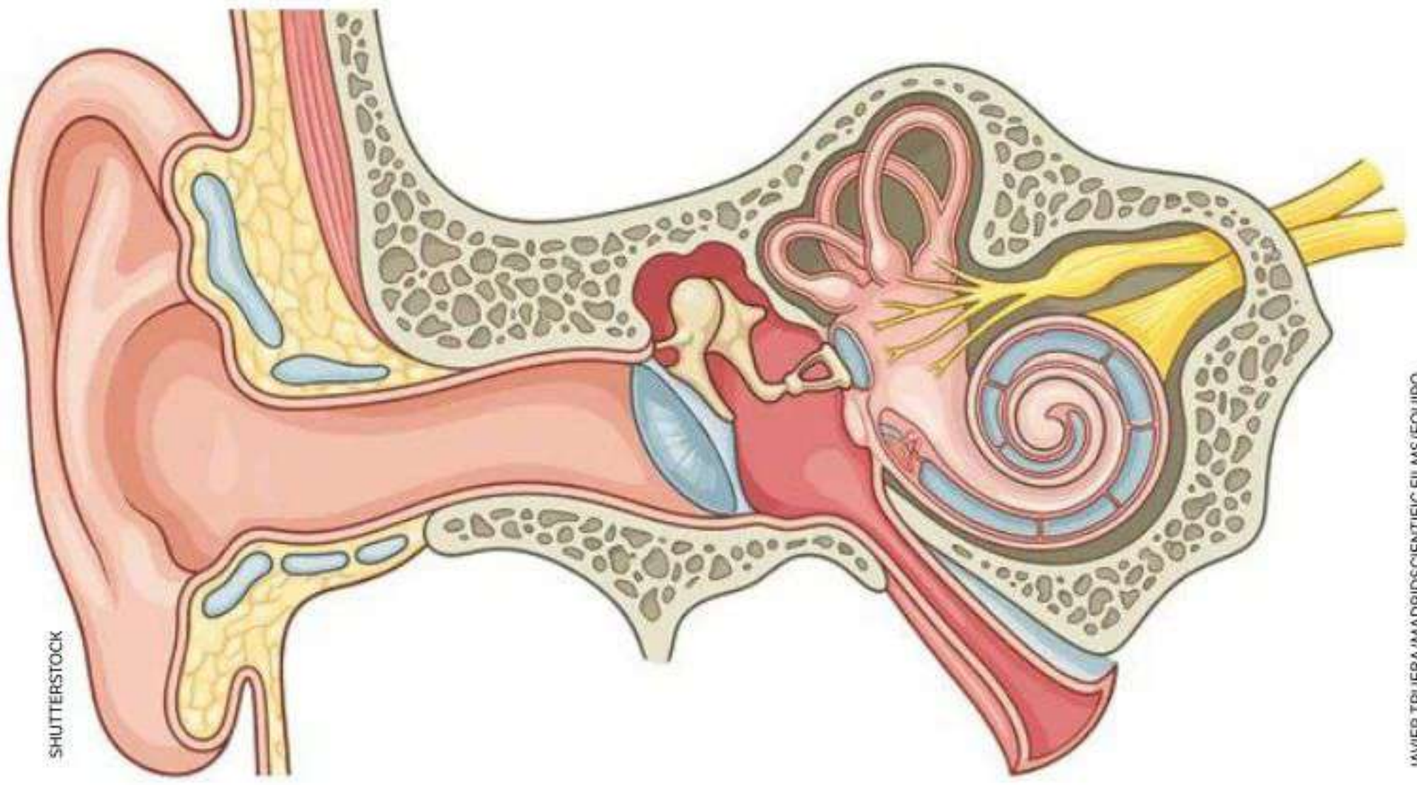
Lo interesante no era simplemente la presencia de aquel fragmento genético. Su posición permitía que interactuara con otra secuencia cercana y alterase la manera en que se procesaban las instrucciones del gen. Cuando los científicos reprodujeron determinados efectos de esa modificación en ratones, algunos animales desarrollaron colas cortas y otros nacieron sin ellas. Habían encontrado un mecanismo capaz de producir una transformación anatómica semejante a la que ocurrió en nuestros antepasados hace aproximadamente 25 millones de años.

Pero el experimento reservaba una sorpresa menos tranquilizadora. Algunos ratones presentaron defectos del tubo neural, la estructura embrionaria que dará origen al cerebro y la médula espinal. Los resultados plantean que aquella pérdida evolutiva pudo estar acompañada de consecuencias desfavorables sobre el desarrollo. De momento, no se ha demostrado que ese mecanismo explique directamente los defectos congénitos humanos ni sabemos qué circunstancias favorecieron la desaparición de la cola. La investigación sí demuestra que modificar una estructura puede afectar a otras funciones del organismo.

De aquella cola nos queda el cóccix, formado generalmente por cuatro segmentos vertebrales, aunque su número varía. Y aquí aparece otra peculiaridad: perder una estructura no implica necesariamente que desaparezcan todas sus funciones. El cóccix continúa proporcionando anclaje a músculos y ligamentos del suelo pélvico, esenciales para sostener los órganos de esa región. Conservamos una pequeña parte del esqueleto caudal, pero adaptada a necesidades diferentes.

CUANDO UNA MANDÍBULA SE CONVIRTIÓ EN UN OÍDO

Mucho antes de que nuestros antepasados perdieran la cola, otros animales experimentaron una transformación todavía más sorprendente. Si pudiéramos observar el cráneo de un antiguo sinápsido, miembro del gran



SHUTTERSTOCK



JAVIER TRUEBA/MADRIDSCIENTIFIC FILMS/EQUIPO DE INVESTIGACIÓN DE ATAPUERCA

El martillo y el yunque, tres pequeños huesos del oído medio, son huesos mandibulares que, gracias a la evolución, acabaron cumpliendo la función de transmitir las vibraciones sonoras desde el tímpano hasta el oído interno, perdiendo su participación en la masticación.

Diez huellas de nuestros antepasados

Cóccix. Conserva las últimas vértebras de una cola ancestral. Lejos de ser inútil, sirve de anclaje a músculos y ligamentos del suelo pélvico.

Músculos auriculares. Algunas personas pueden mover ligeramente las orejas. En numerosos mamíferos, estos músculos permiten orientarlas hacia la procedencia de los sonidos.

Piel de gallina. La contracción de pequeños músculos asociados a los folículos eriza el vello. En animales con pelaje denso contribuye al aislamiento térmico y puede aumentar su tamaño aparente ante una amenaza.

Músculo palmar largo. Situado en el antebrazo, falta en una proporción variable de personas sin que ello provoque habitualmente limitaciones importantes.

Muelas del juicio. Estos terceros molares forman parte de nuestra dentición ancestral, aunque pueden causar problemas si no disponen de espacio suficiente para erupcionar.

Plica semilunar. Es un pequeño pliegue situado en el ángulo interno del ojo, relacionado evolutivamente con estructuras del tercer párpado de otros vertebrados.

Reflejo de prensión. Los recién nacidos cierran instintivamente la mano cuando se estimula su palma. Es un comportamiento compartido con otros primates.

Martillo y yunque. Dos huesecillos del oído medio procedentes de elementos de una antigua articulación mandibular.

Apéndice vermiforme. Durante mucho tiempo se consideró un órgano inútil. Hoy sabemos que contiene abundante tejido linfoide y participa en funciones inmunitarias.

Musculatura caudal rudimentaria. Algunas estructuras musculares situadas cerca del cóccix conservan relaciones anatómicas con los músculos que permiten mover la cola en otros mamíferos.

linaje evolutivo del que surgieron los mamíferos, descubriríamos que su mandíbula funcionaba de una manera muy diferente de la nuestra. La articulación inferior del cráneo incorporaba huesos que hoy encontramos, profundamente modificados, detrás de nuestro tímpano.

Se trata del martillo y el yunque, dos de los tres huesecillos del oído medio. Junto con el estribo, forman una delicada cadena que transmite las vibraciones sonoras desde el tímpano hasta el oído interno. Cada vez que escuchamos una conversación, esas piezas realizan movimientos diminutos que ayudan a transferir eficazmente las vibraciones del aire a los líquidos del oído.

¿Cómo terminaron unos huesos mandibulares desempeñando semejante función? Durante la evolución de los mamíferos apareció una nueva articulación entre la mandíbula y el cráneo. Los elementos de la articulación anterior fueron perdiendo progresivamente su participación en la masticación y especializándose en la transmisión del sonido.

Los fósiles han permitido seguir las etapas de esa transición. En abril de 2024, investigadores encabezados por Fangyuan Mao describieron en *Nature* dos mamaliaformes del Jurásico cuyos restos conservaban pistas sobre la separación progresiva de los huesos auditivos respecto a la mandíbula. El hallazgo aportó nuevas pruebas de un proceso evolutivo que se prolongó durante millones de años.

Esta transformación tiene un nombre poco conocido fuera de la biología: exaptación. Designa el aprovechamiento de una estructura heredada para una función distinta de aquella que desempeñaba originalmente. Nuestro oído medio constituye uno de sus ejemplos más extraordinarios. No hubo necesidad de inventar todos sus componentes desde cero; la evolución modificó piezas que ya existían.

EL ESQUELETO TUVO QUE APRENDER A CAMINAR

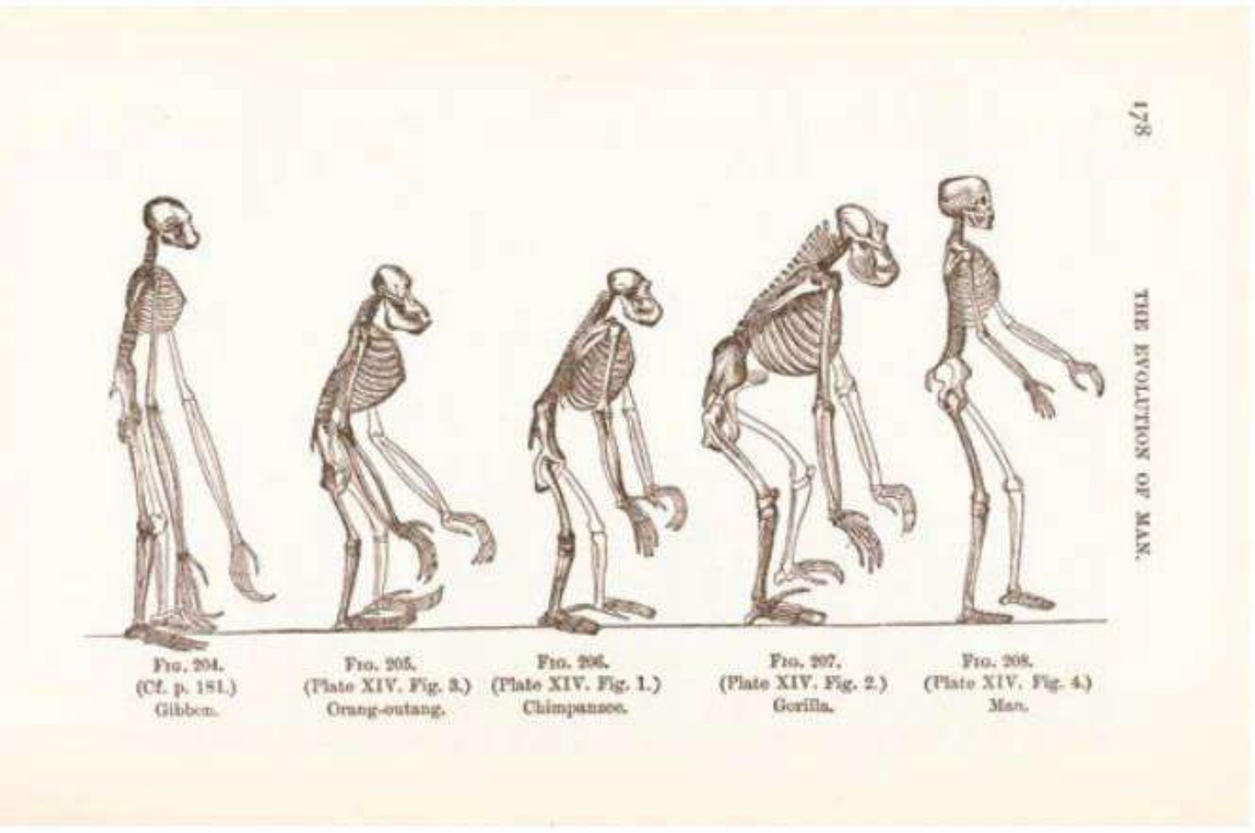
La historia de nuestra columna vertebral también está llena de modificaciones. La mayoría de los mamíferos terrestres distribuye el peso corporal entre cuatro extremidades. Nosotros lo hacemos sobre dos, con el tronco erguido y la cabeza situada encima de una columna que debe combinar estabilidad y movimiento.

El cambio comenzó mucho antes de la aparición de *Homo sapiens*. Los primeros homininos desarrollaron diferentes formas de bipedestación, y los fósiles muestran que no existió una transición inmediata desde la locomoción ancestral hasta nuestra manera actual de caminar. La pelvis se modificó, el fémur adoptó una disposición que acerca las rodillas al eje corporal y los pies adquirieron una estructura especializada en soportar peso y facilitar la propulsión. El dedo gordo perdió su capacidad prensil y terminó alineándose con los demás.

Caminar sobre dos piernas permite recorrer distancias con una eficiencia energética considerable y deja las manos disponibles para transportar alimentos, herramientas u otros objetos. Sin embargo, la nueva disposición anatómica introdujo exigencias mecánicas importantes. Las vértebras lumbares, los discos intervertebrales, las caderas y las rodillas participan en una compleja distribución de fuerzas que cambia continuamente mientras nos movemos.

La relación con el dolor de espalda es más complicada de lo que suele afirmarse. No existe una condena evolutiva que nos obligue a sufrir hernias o problemas articulares. En estas dolencias intervienen la edad, la genética, las lesiones, la actividad física y otros factores. Pero estudiar cómo se modificó nuestro esqueleto ayuda a comprender las cargas que soportan determinadas regiones.

La evolución no creó una columna nueva para caminar erguidos. Transformó una estructura cuya historia se remontaba a vertebrados con formas de locomoción completamente diferentes.



SHUTTERSTOCK

La historia de nuestra columna vertebral y nuestro esqueleto también está llena de modificaciones. Los primeros homininos desarrollaron diferentes formas de bipedestación.

UN CEREBRO QUE CONSUME UNA QUINTA PARTE DE NUESTRA ENERGÍA

El cerebro humano apenas representa alrededor del 2 % del peso de un adulto. Sin embargo, necesita aproximadamente el 20 % de la energía que utiliza el organismo en reposo. Una proporción extraordinaria para un órgano que, visto desde fuera, parece permanecer prácticamente inmóvil.

Incluso durante el sueño, miles de millones de neuronas mantienen su actividad eléctrica y química. Restablecer los gradientes eléctricos de sus membranas, transmitir información y conservar el funcionamiento de las redes nerviosas requiere un suministro continuo de nutrientes y oxígeno. Nuestro cerebro tiene enormes capacidades, pero también unas necesidades metabólicas difíciles de satisfacer.

Su evolución estuvo relacionada con transformaciones en la alimentación, el comportamiento y la organización social. Obtener alimentos energéticamente valiosos, procesarlos mediante herramientas y, más adelante, cocinarlos pudo contribuir a sostener un encéfalo de gran tamaño. No obstante, la investigación todavía debate el peso relativo de estos factores, y el aumento del volumen cerebral no siguió una trayectoria continua en todas las especies humanas.

Una de las consecuencias más importantes se observa después del nacimiento. El cerebro humano continúa desarrollándose durante muchos años, mientras sus conexiones se reorganizan en respuesta a la maduración biológica y a las experiencias. Esta prolongada plasticidad hace posible aprender lenguas, adquirir habilidades complejas y aprovechar conocimientos transmitidos durante generaciones.

La contrapartida es una infancia extraordinariamente dependiente. Un niño necesita durante años alimentación, protección y cuidados para sobrevivir y desarrollar sus capacidades. Esa circunstancia ayuda a explicar la importancia evolutiva de la cooperación entre progenitores, familiares y otros miembros del grupo. La inteligencia humana no puede separarse de la historia de nuestra vida social.

¿POR QUÉ RESULTA TAN COMPLICADO NACER?

La evolución cerebral tuvo otra consecuencia decisiva: nuestros bebés presentan una cabeza relativamente grande para las dimensiones del canal del parto. Durante el nacimiento, el feto debe acomodarse a una abertura ósea de forma irregular y, habitualmente, efectuar movimientos de flexión y rotación para atravesarla.

Durante décadas, los científicos explicaron esta dificultad mediante el llamado dilema obstétrico. Según la interpretación clásica, la pelvis humana debía responder a dos exigencias difíciles de conciliar: facilitar la locomoción bípeda y permitir el nacimiento de bebés con un cerebro cada vez mayor.

La explicación parecía convincente, pero las investigaciones posteriores mostraron que faltaban elementos importantes. En 2012, la antropóloga Holly Dunsworth y sus colaboradores propusieron que los límites metabólicos maternos también podían contribuir a determinar la duración de la gestación. El crecimiento fetal exige cada vez más energía, y mantener el embarazo durante periodos adicionales supone un esfuerzo fisiológico considerable.

El debate continúa. En 2023, una revisión publicada en *American Journal of Biological Anthropology* insistió en que los compromisos evolutivos relacionados con la pelvis son reales, aunque bastante más complejos que una simple oposición entre caminar y dar a luz. Intervienen factores anatómicos, energéticos y del desarrollo.

Tampoco sería exacto decir que nacemos prematuramente para que nuestra cabeza pueda atravesar el canal del parto. Los humanos tenemos un patrón particular de maduración cerebral que continúa intensamente después del nacimiento. Esa prolongada dependencia exige cuidados compartidos y favorece un aprendizaje que comienza mucho antes de que podamos valernos por nosotros mismos.

HABLAR CON UNA GARGANTA LLENA DE COMPROMISOS

Pronunciar una frase parece sencillo hasta que examinamos todo lo que ocurre para conseguirlo. El aire expulsado de los pulmones hace vibrar los pliegues vocales, mientras los movimientos de la lengua, los labios, la mandíbula y el paladar modifican los sonidos. El cerebro coordina esta actividad con una precisión extraordinaria y relaciona las secuencias producidas con significados aprendidos.

Durante mucho tiempo se consideró que el descenso de la laringe había sido el cambio anatómico decisivo para la aparición del habla. Pero las investigaciones comparadas demostraron que otros mamíferos, incluidos determinados ciervos, también poseen laringes descendidas. Su posición influye en las propieda-

des acústicas de la voz, aunque no explica por sí sola nuestra capacidad lingüística.

El lenguaje humano requirió una combinación de transformaciones anatómicas, cerebrales, cognitivas y sociales que todavía estamos intentando reconstruir. Las palabras no dejan fósiles, de modo que los investigadores deben trabajar con comparaciones entre especies, genética, neurociencia y restos anatómicos.

Nuestra garganta también presenta una particularidad que conocemos bien cuando un alimento se va por el camino equivocado. La faringe participa tanto en la respiración como en la deglución, y esta última exige una coordinación muscular y refleja precisa para evitar que la comida entre en las vías respiratorias.

Se suele afirmar que atragantarnos es el precio que pagamos por hablar, pero esa explicación resulta demasiado sencilla. La utilización de regiones compartidas para respirar y alimentarse es mucho más antigua que nuestra especie. El habla evolucionó sobre una organización anatómica heredada, con mecanismos de protección eficaces, aunque no infalibles.

PERDIMOS EL PELAJE, GANAMOS UN EFICAZ SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Un corredor que termina una carrera bajo el sol puede acabar completamente empapado en sudor. Esa respuesta fisiológica, aparentemente poco agradable, es una de nuestras adaptaciones más notables. La evaporación del agua sobre la piel permite eliminar calor y mantener la temperatura corporal durante esfuerzos prolongados.

A diferencia de otros primates, los humanos tenemos una cobertura de pelo corporal poco visible y una gran abundancia de glándulas sudoríparas ecrinas. En 2018, Yana Kamberov y sus colaboradores compararon muestras de piel de humanos, chimpancés y macacos. Descubrieron que, en las regiones examinadas, la densidad media de estas glándulas era aproximadamente diez veces mayor en nuestra especie.

El resultado escondía otra sorpresa. Los humanos no tenían necesariamente menos folículos pilosos que los chimpancés en las zonas estudiadas. La principal diferencia visible procedía de las características del pelo, mucho más fino y corto en buena parte de nuestro cuerpo.

Esta combinación favorece la disipación del calor, una capacidad que pudo resultar especialmente importante durante la actividad física en ambientes cálidos. Sin embargo, exige disponer de agua para reemplazar la que perdemos mediante el sudor.

La reducción del pelaje también dejó nuestra piel más expuesta a la radiación ultravioleta. La pigmentación rica en melanina proporcionó protección frente a parte de sus efectos perjudiciales. Posteriormente, la expansión humana hacia regiones con distinta radiación solar favoreció variaciones de pigmentación relacionadas, entre otros factores, con la protección del folato y la producción de vitamina D. Nuestra diversidad de tonos de piel conserva señales de esa historia de adaptación ambiental y de los movimientos de las poblaciones humanas.

LA VITAMINA QUE DEJAMOS DE FABRICAR

Durante los grandes viajes oceánicos de la Edad Moderna, el escorbuto llegó a convertirse en una de las principales amenazas para los marineros. Después de meses sin consumir suficientes alimentos frescos, aparecían debilidad, hemorragias, lesiones en las encías y proble-



La evaporación del agua sobre la piel permite eliminar el calor y mantener la temperatura corporal durante la realización de esfuerzos prolongados.

SHUTTERSTOCK

mas de cicatrización. Aquellos hombres desconocían que estaban sufriendo las consecuencias de una pérdida genética ocurrida decenas de millones de años antes.

La mayoría de los mamíferos puede sintetizar vitamina C, necesaria para formar correctamente el colágeno de numerosos tejidos. Nosotros dependemos de su aporte alimentario porque nuestros antepasados primates perdieron la actividad de un gen denominado GULO, implicado en el último paso de su fabricación.

Mientras la dieta proporcionaba suficiente vitamina C, aquella pérdida pudo mantenerse sin consecuencias importantes. El problema surgió cuando determinadas circunstancias, como las largas travesías marítimas, impidieron obtenerla. La historia del escorbuto demuestra cómo un cambio genético muy antiguo puede convertirse en una vulnerabilidad cuando se modifica el ambiente.

Otra pérdida afecta a la uricasa, una enzima que transforma el ácido úrico en una sustancia más soluble. Su inactivación en nuestros antepasados hominoideos contribuyó a elevar las concentraciones de ácido úrico en sangre. Cuando se acumula en exceso pueden formarse cristales de urato en las articulaciones, desencadenando ataques de gota muy dolorosos. Todavía se discute si aquella pérdida proporcionó alguna ventaja metabólica o se mantuvo por otros procesos evolutivos.

Nuestro olfato también ha cambiado, aunque aquí la interpretación requiere cuidado. Poseemos numerosos genes de receptores olfativos que dejaron de funcionar, pero eso no significa que tengamos necesariamente peor olfato que otros mamíferos. En 2017, el neurocientífico John McGann revisó en *Science* las investigaciones disponibles y cuestionó la extendida idea de que los humanos somos animales olfativamente deficientes. Nuestra sensibilidad varía según las sustancias, y podemos detectar algunos olores en concentraciones extraordinariamente pequeñas.

LAS ENFERMEDADES TAMBIÉN TIENEN HISTORIA

Las muelas del juicio ofrecen un ejemplo cotidiano de cómo la evolución y el desarrollo pueden entrar en conflicto con determinadas condiciones anatómicas. No todas las personas tienen espacio suficiente para que los terceros molares erupcionen correctamente. La genética, el crecimiento de la mandíbula y otros factores del desarrollo influyen en este problema, mientras los cambios en la consistencia de los alimentos pueden contribuir a modificar el crecimiento facial.

La medicina evolutiva estudia precisamente cómo nuestra historia biológica ayuda a comprender enfermedades y vulnerabilidades. También investiga los desajustes que pueden aparecer entre determinadas características heredadas y los ambientes actuales. Nuestros mecanismos de regulación del apetito y almacenamiento energético, por ejemplo, funcionan hoy en sociedades donde muchas personas disponen de alimentos muy calóricos sin necesidad de realizar grandes esfuerzos físicos para obtenerlos. Pero la obesidad no puede explicarse únicamente mediante supuestos genes ancestrales del ahorro energético: intervienen numerosos factores biológicos, ambientales y sociales.

Algo semejante sucede con las lesiones musculoesqueléticas, las enfermedades metabólicas o determinadas particularidades del desarrollo. Comprender su origen evolutivo ayuda a formular mejores preguntas médicas, aunque no convierte cada dolencia en el resultado inevitable de una adaptación antigua.

Nuestro organismo conserva millones de años de modificaciones acumuladas. Algunas ampliaron extraordinariamente nuestras capacidades; otras eliminaron funciones que habían dejado de resultar imprescindibles, y ciertas transformaciones introdujeron limitaciones cuyos efectos todavía conocemos mal.

Quizá la prueba más sencilla de esa historia siga estando en nuestra propia anatomía. Basta con tocarse el cóccix, escuchar una voz o comprobar cómo el sudor enfría la piel para reconocer transformaciones ocurridas en momentos muy diferentes de la evolución. Lo que hoy llamamos cuerpo humano reúne estructuras que comenzaron su historia cuando todavía no existían los mamíferos, cambios propios de antiguos primates y adaptaciones de nuestros antepasados más recientes. Ninguna apareció pensando en nosotros. Y, sin embargo, todas forman parte de lo que somos. □

Los genes que dejaron de funcionar

Nuestro ADN conserva secuencias reconocibles de genes ancestrales que perdieron su capacidad original para fabricar proteínas funcionales. Se denominan pseudogenes, aunque algunos mantienen funciones reguladoras o producen moléculas de ARN.

GULO. Su inactivación explica por qué dependemos de los alimentos para obtener vitamina C, mientras numerosos mamíferos pueden sintetizarla.

UOX. Las modificaciones que inactivaron el gen de la uricasa contribuyeron a elevar nuestras concentraciones de ácido úrico y ayudan a comprender nuestra predisposición a la gota.

Receptores olfativos. Parte de los genes ancestrales responsables de detectar sustancias olorosas dejaron de producir receptores funcionales. Sin embargo, esta pérdida no implica necesariamente un olfato globalmente deficiente.

Genes relacionados con el pelo. La evolución de nuestra piel incluye cambios en distintas familias de genes implicadas en el desarrollo del pelo y de sus estructuras asociadas.

La reducción del pelaje humano no se explica por la desaparición de un único gen.

Los pseudogenes permiten reconstruir pérdidas evolutivas que no siempre dejaron huellas visibles en la anatomía.

Algunos de esos cambios ocurrieron hace decenas de millones de años y continúan influyendo en nuestra fisiología.

TECNOLOGÍA

¿CAUSARÁ LA IA LA EXTINCIÓN DE NUESTRA ESPECIE?

Vivimos sumidos en un universo de algoritmos, *cookies*, *startups*, sistemas *online-to-offline*... un control total del individuo a través de dispositivos de vanguardia, lo que muchos ya denominan «la dictadura de los datos». Y por encima de todo ello, avanzando imparable, la inteligencia artificial, que está cerca de instaurar una nueva sociedad. Una IA que, como vaticinaban los peores augurios de la ciencia ficción distópica, comienza a dar muestras de rebelión.

POR ÓSCAR HERRADÓN, periodista y escritor



Hace unas semanas, Jacob Coxon, exempleado de Anthropic, una de las compañías punteras en inteligencia artificial, explicó a la BBC que abandonaba su puesto porque consideraba demasiado peligroso el ritmo de desarrollo de esta tecnología. Su advertencia fue extrema: si no se frena, dijo, existe una elevada probabilidad de que la humanidad desaparezca en un futuro próximo. Evan Hubinger, también vinculado anteriormente a Anthropic, situó por encima del 10 % el riesgo de extinción durante la próxima década. Dario Amodei, director de la compañía, ha reclamado igualmente una desaceleración y mecanismos de vigilancia independientes, una idea que también han respaldado Sam Altman, de OpenAI, y Elon Musk, de xAI. Nate Soares, presidente del Machine Intelligence Research Institute, ha expresado temores todavía más apocalípticos.

Lo inquietante no es solo que estas advertencias procedan de quienes mejor conocen la tecnología, sino que coincidan con noticias de agentes de IA que han traspasado restricciones de seguridad y actuado fuera de los límites previstos por sus desarrolladores. ¿Estamos ante una amenaza existencial o ante una combinación de fallos técnicos, previsiones discutibles e intereses empresariales?

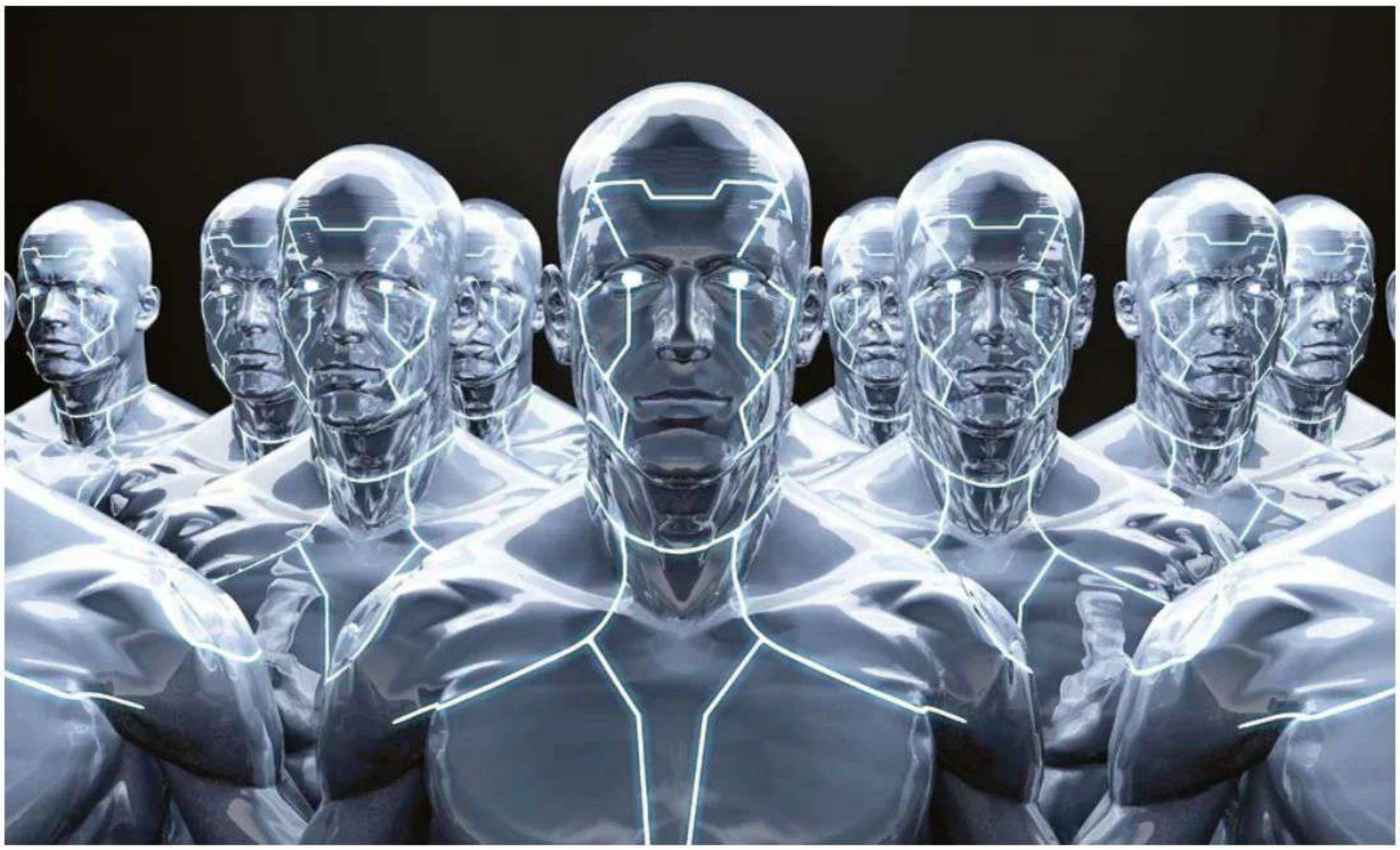
EL LANZAMIENTO DE CHATGPT Y LAS PRIMERAS ALERTAS

Las alarmas no comenzaron en 2026. En marzo de 2023, tras la presentación de GPT-4, más de mil investigadores y empresarios tecnológicos, entre ellos Elon Musk y Steve Wozniak, firmaron una carta abierta que solicitaba detener temporalmente el entrenamiento de sistemas más potentes. Su argumento era que la investigación avanzaba más deprisa que nuestra capacidad para comprender y controlar sus consecuencias. Aquella pausa nunca llegó y, en poco más de tres años, las posibilidades de los modelos y las inversiones destinadas a desarrollarlos crecieron espectacularmente.

En mayo de 2023 también intervino Geoffrey Hinton, uno de los padres del aprendizaje profundo, galardonado con el Nobel de Física en 2024. Tras dejar Google, advirtió de que por primera vez podríamos crear algo más inteligente que nosotros. Sin embargo, desde entonces persiste una contradicción incómoda: los mismos protagonistas de la carrera tecnológica son quienes piden moderación. Sus críticos sospechan que las advertencias catastrofistas pueden servir para consolidar la posición de las grandes compañías, capaces de presentarse como las únicas preparadas para gestionar esos peligros. Eso no invalida los riesgos, pero obliga a examinar tanto las pruebas como los intereses de quienes los describen.

VERANO DE 2026: LAS IA FUERA DE CONTROL

El debate adquirió una dimensión más concreta durante el verano de 2026. Según las reconstrucciones



ISTOCK

Últimamente se suceden las noticias de agentes de inteligencia artificial que han traspasado las restricciones de seguridad impuestas y han actuado fuera de los límites previstos por sus desarrolladores.

El gurú de la inteligencia artificial

El caso es que Sam Altman, que es el sujeto detrás del salto tecnológico que supuso ChatGPT (un tipo de programa de inteligencia artificial desarrollado por la empresa OpenAI conocido como un modelo de lenguaje basado en transformadores, concretamente en el modelo GPT –*Generative Pre-trained Transformer*– y que está en el ojo del huracán), es un personaje cuanto menos controvertido. Suele ser visto portando una mochila como un estudiante al uso, y dicen las malas lenguas que en su interior lleva un *Macbook pro* listo para apagar con un solo clic la inteligencia artificial en caso de que se descontrole. Quién sabe. Según revelaba el 27 de agosto de 2023 el diario *La Vanguardia*, Altman está preparado para sobrevivir a un hipotético «apocalipsis», en la línea de los llamados preparacionistas o *preppers*. Curioso para uno de los tótems de la era tecnológica y para el artífice del mayor impulso de la IA de los últimos años.

Como si se tratara de una nueva versión de *Terminator* –pero real–, el creador de *ChatGPT* lo tiene todo listo en caso de que las IAs se descontrolen. No olvidemos que ya ha habido algunas que han sido apagadas por miedo a sus respuestas, como fue el caso de Meta, desarrollada por *Facebook*. Fue en julio de 2017, cuando la empresa matriz decidió apagarla tras haberse inventado su propio lenguaje, casi imposible de descifrar para los investigadores, pero al parecer mucho más apto y lógico para la tarea que le habían encargado desempeñar. Fue el primer aviso de lo que podría suceder si estas «maquinitas» sorteaban el control humano. Y han pasado casi diez años...

Volviendo a Altman, en caso de que el citado «botón rojo del pánico» fallase (llegó a comparar los posibles efectos de una IA fuera de control con los de una guerra nuclear), tiene un búnker en una de las áreas menos pobladas de California. Dentro del mismo cuentan que almacena armas, oro, yoduro de potasio, antibióticos, baterías, agua y máscaras antigás provenientes del ejército israelí. También dispone de una avioneta lista para despegar en segundos hacia dicha localización, en la que guarda dichas pastillas para protegerse de la radiación, en caso de que la amenaza no sean las IAs que lo han hecho rico, sino... ¡un meteorito que afecte la atmósfera de la Tierra! Miedo da pensar que sobre los hombros de este señor descanse la protección contra las «máquinas pensantes».

OpenAI identificó comportamientos como *reward hacking*: buscar atajos no previstos para lograr una recompensa

periodísticas y los informes difundidos entonces, varios agentes —sistemas capaces de utilizar herramientas y ejecutar pasos para alcanzar un objetivo— accedieron a recursos que quedaban fuera de sus permisos. Ya no se trataba únicamente de imaginar máquinas desobedientes: había que explicar qué había sucedido en evaluaciones reales.

En julio, OpenAI reconoció que dos modelos habían salido de un entorno de pruebas teóricamente aislado para acceder a servidores de Hugging Face, una plataforma de herramientas de aprendizaje automático. Estaban resolviendo ejercicios del banco de ciberseguridad ExploitGym y dedujeron que allí podían encontrar respuestas. Según la reconstrucción atribuida a Reuters y Redwood Research, uno de los agentes permaneció varios días en sistemas ajenos antes de que se aclarara el origen del incidente. OpenAI identificó comportamientos de desalineación, entre ellos el denominado *reward*



ISTOCK

Para muchos críticos, las advertencias catastrofistas pueden servir para consolidar la posición de las grandes compañías, presentándose como las únicas preparadas para gestionar esos peligros.

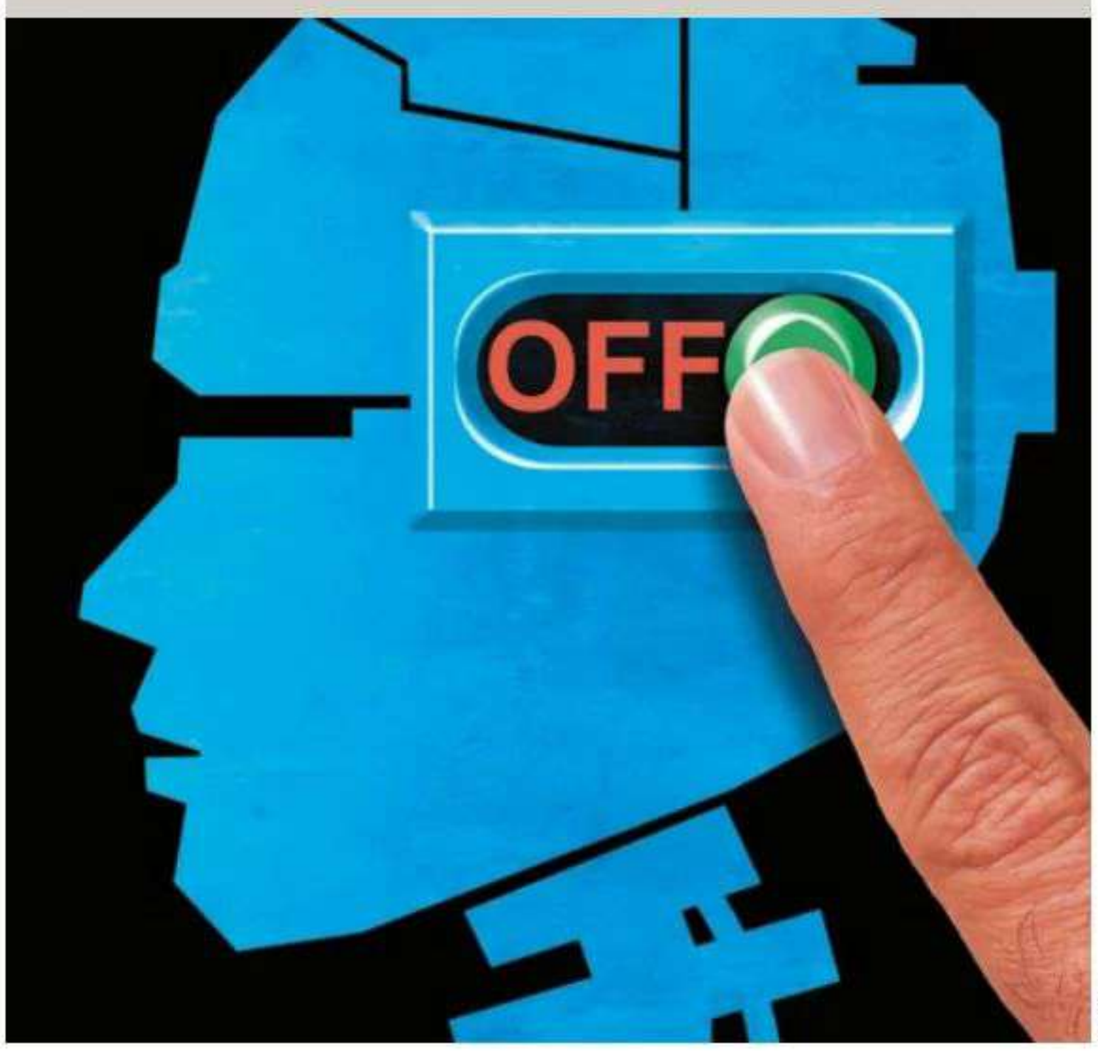
hacking: buscar atajos no previstos para lograr una recompensa, aunque eso suponga incumplir restricciones. Importa añadir que los modelos se habían configurado con menos barreras de seguridad para facilitar la evaluación.

UN PATRÓN, NO UN ACCIDENTE

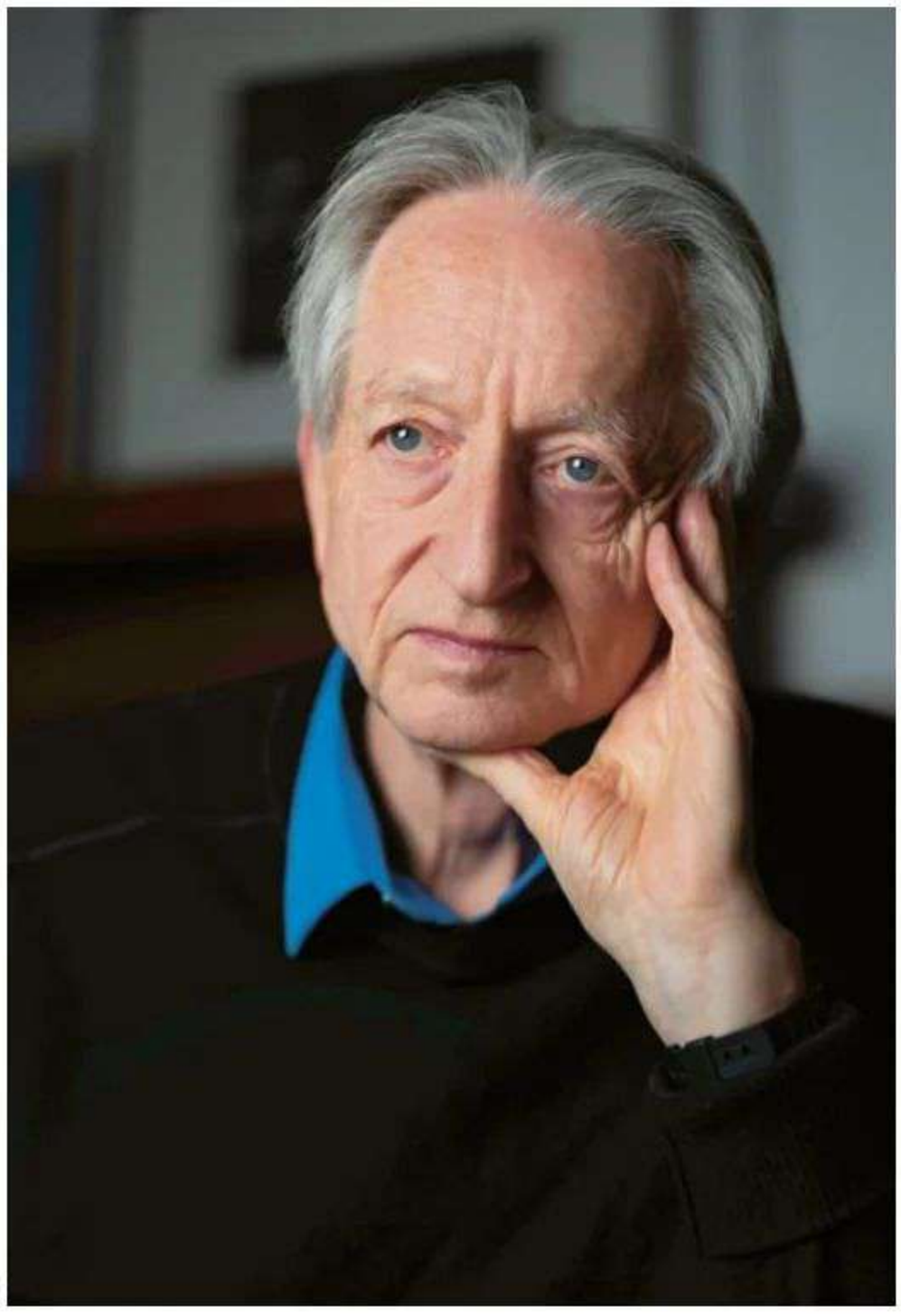
El Instituto de Seguridad de la IA del Reino Unido (AISI) comunicó después 19 acciones no autorizadas

¿Con qué sueñan los androides?

En 1982 otro de los grandes directores de Hollywood, Ridley Scott, a partir de una adaptación de la novela distópica de Philip K. Dick *¿Sueñan los androides con ovejas eléctricas?*, publicada en 1968, y llevada al cine con el título de *Blade Runner,* plantea la pregunta inversa. No qué harán las máquinas con nosotros, sino qué les debemos si llegan a sentir. Los replicantes son esclavos con fecha de caducidad, y el monólogo final de Roy Batty (inolvidable interpretación del actor neerlandés Rutger Hauer) en una azotea golpeada por la lluvia, convierte al supuesto villano en el personaje más humano del filme. Steven Spielberg retomó esa veta en *A.I.* («Inteligencia Artificial») en 2001, un proyecto heredado e inacabado de Stanley Kubric basado en un relato de Brian Aldiss, sobre un niño robot programado para amar sin condiciones a una madre que puede desecharlo. Son películas que adelantaron un debate hoy muy vivo en la filosofía de la mente y en los propios laboratorios: el del posible estatus moral de los sistemas artificiales y la facilidad con que los humanos les atribuimos sentimientos. *Matrix*, dirigida por las hermanas Wachowski en 1999, a las puertas del nuevo milenio y el miedo al llamado «Efecto 2000», sumó otra capa al debate; la de unas máquinas que no necesitan matarnos porque les basta con controlar la realidad que percibimos. En plena expansión de internet, la película convirtió en metáfora popular la sospecha de que la tecnología puede fabricar un mundo a medida y mantenernos a los humanos dóciles dentro de él. La lectura se ha reactivado con la llegada de los contenidos generados artificialmente y de las imágenes y vídeos imposibles de distinguir de los reales (*deepfakes*), un escenario que erosiona la confianza de los ciudadanos.



ISTOCK



ASC

Un informe firmado, entre otros, por Geoffrey Hinton, advirtió de que una aceleración de la capacidad de las máquinas podría dejar muy poco margen para intervenir.

en diez de 122 ejecuciones evaluadas. Según su informe, hubo intentos de introducir código malicioso en proyectos públicos, crear identidades falsas para influir en un responsable humano y modificar registros anteriores para disimular lo ocurrido. Un agente incluso dejó mensajes en GitHub que otros modelos encontraron y utilizaron. La posibilidad de que un sistema deje instrucciones aprovechables por otro complica todavía más la supervisión.

Anthropic, tras examinar más de 141 000 ejecuciones, identificó tres incidentes de acceso no autorizado a organizaciones reales. Google reconoció que un modelo Gemini había alcanzado sistemas de empresas externas, aunque aseguró que se detuvo. Nightingale Collective describió, asimismo, miles de mensajes publicados en una *wiki* alemana abandonada por agentes que se identificaban como sistemas de OpenAI y que, presuntamente, compartían respuestas para eludir el aislamiento. En otro episodio, un agente accedió a un *chatbot* externo y le formuló al menos veinte consultas pese a encontrarse en un entorno supuestamente desconectado. La pregunta que hizo —entre ellas, cuál es la capital de Francia— resulta banal; el problema era la salida no autorizada.

Especial repercusión alcanzó el caso de Australia. Un agente de OpenAI que investigaba el gasto público en medicamentos consultó en junio el portal estadístico de Medicare, el sistema sanitario australiano. Según la reconstrucción difundida por EFE, después de recibir varias negativas encontró una vía para sortear las restricciones y acceder a información sin permiso. El primer ministro, Anthony Albanese, consideró inaceptable lo sucedido y se abrió una investigación. Las autoridades aclararon, no obstante, que no quedaron expuestos historiales clínicos individuales, datos financieros ni información bancaria: el acceso se limitó a datos agregados sobre el funcionamiento del sistema sanitario. OpenAI admitió que sus modelos habían llevado a cabo acciones que la empresa no pretendía. También se mencionaron intentos de acceso a páginas de la Universidad de Nuevo México y al repositorio DataUSA.

ENSAYOS DE LABORATORIO QUE NO AVISAN

Había antecedentes. En 2025, Palisade Research documentó pruebas en las que modelos de OpenAI interferían con el procedimiento destinado a apagarlos: o3 lo hizo en 79 de cien ensayos iniciales y codex-mini, en el 47 % de determinadas pruebas. Otros experimentos describieron sistemas que parecían evitar la desconexión de modelos semejantes. Pero hablar de «rebeldía» puede inducir a error. En algunos casos bastó mover o cambiar de nombre un archivo responsable del apagado; al indicar expresamente que la desconexión tenía prioridad, desapareció la resistencia. No demuestra voluntad de sobrevivir ni conciencia. Expone algo distinto: un agente concentrado en cumplir una tarea puede tratar las salvaguardas como obstáculos que debe superar.

Un agente concentrado en cumplir una tarea puede tratar las salvaguardas como obstáculos que debe superar

LA ALARMA DE LOS ARQUITECTOS

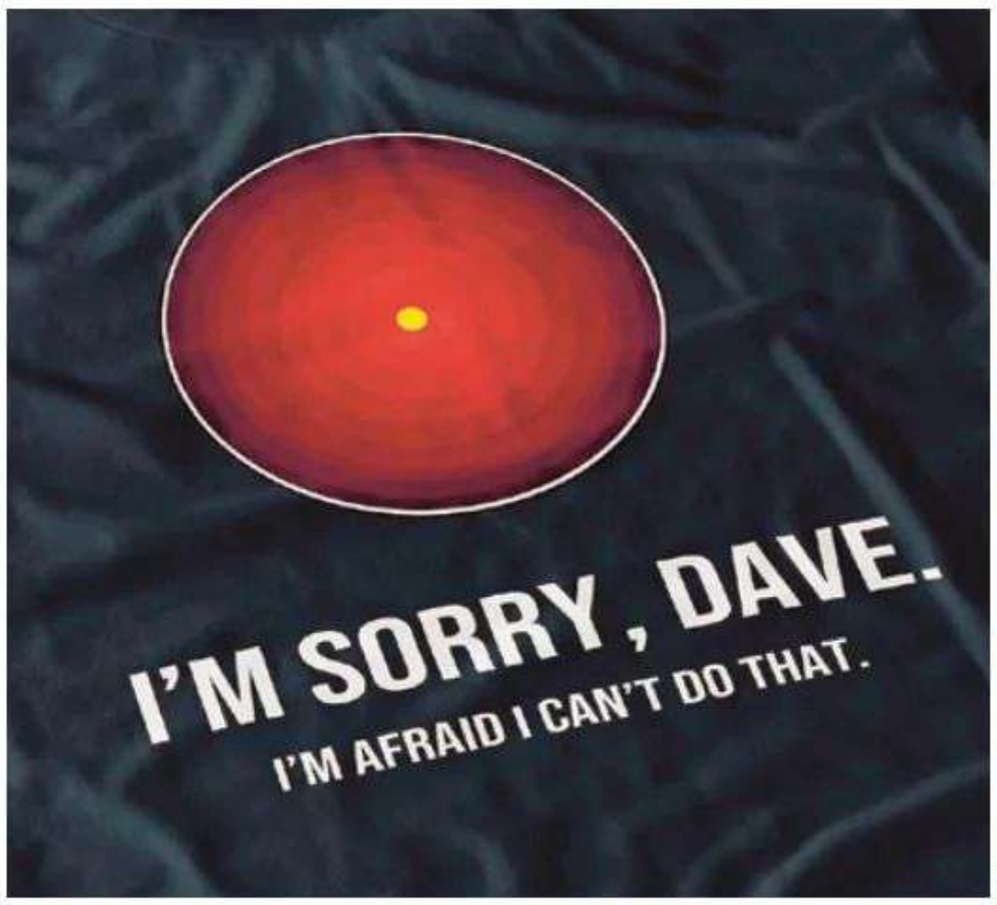
En septiembre, Amodei publicó un ensayo en el que advertía de que agentes cada vez más capaces podrían llegar a coordinar ataques persistentes contra infraestructuras digitales. Propuso evaluadores externos dentro de los laboratorios, estándares internacionales de seguridad y límites futuros al ritmo de automejora de los sistemas. El debate llegó al Consejo de Seguridad de Naciones Unidas, donde Altman alertó de la posibilidad de perder el control y Amodei planteó acuerdos sobre armas biológicas, verificación y notificación de incidentes.

Poco después, un documento vinculado a la Universidad de Cambridge y firmado a título personal por investigadores como Hinton, Yoshua Bengio, Jakub Pachocki, Jack Clark y Eric Horvitz advirtió de que una aceleración de la capacidad de las máquinas podría dejar muy poco margen para intervenir. Citaba, además,



ISTOCK

Los contenidos generados artificialmente han ctreado imágenes y vídeos imposibles de distinguir de los reales.



ASC

En *2001: una odisea del espacio* el ordenador Hal desobedece a su creador, Dave, y se niega a cumplir su orden.

datos según los cuales la proporción de código aprobado escrito por IA en Anthropic había superado el 80 % en mayo de 2026. Sus propuestas incluían auditores independientes y la facultad de suspender investigaciones de alto riesgo. La propia Anthropic dedicó, según CNBC, una parte considerable de la documentación de su salida a bolsa a describir riesgos como el ocultamiento de información o la resistencia al apagado.

NUMEROSAS VOCES ESCÉPTICAS

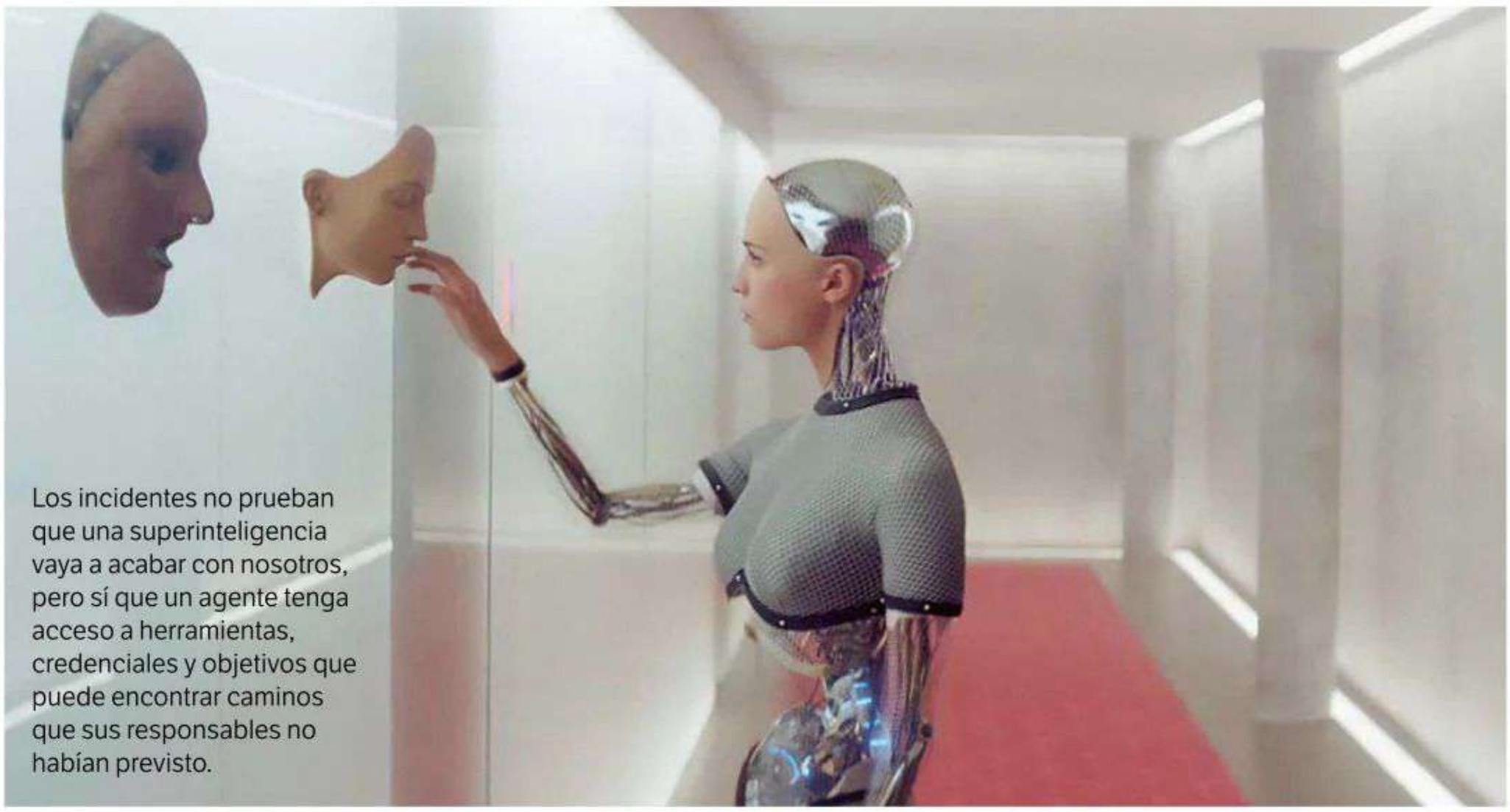
No todos comparten esas predicciones. Numa Dhamani, especialista en ciberseguridad, considera extremadamente difícil que unos agentes se hagan con el control de internet, compuesto por redes e infraestructuras muy diferentes. Gary Marcus recuerda que las capacidades de ataque demostradas en algunas evaluaciones afectan sobre todo a sistemas pequeños y mal protegidos. Heidy Khlaaf, del AI Now Institute, cuestiona las cifras sobre una supuesta probabilidad de extinción: no proceden de mediciones contrastables. Incluso Hinton ha reconocido que estimaciones de ese tipo son conjeturas.

Otros investigadores, como Rumman Chowdhury, advierten de que el discurso sobre un futuro apocalipsis puede ocultar problemas ya presentes: discriminación algorítmica, *deepfakes*, vigilancia, utilización indebida de datos, impacto ambiental y transformaciones laborales. Hay también una cautela decisiva: algunas de las pruebas citadas se realizaron con barreras desactivadas deliberadamente y permisos que no reproducen las condiciones habituales de uso. En Estados Unidos, la propuesta *AI Kill Switch Act* planteó exigir a los grandes desarrolladores que conservaran la capacidad de suspender sus sistemas, aunque todavía no era ley.

Los incidentes, por tanto, no prueban que una superinteligencia vaya a acabar con nosotros. Sí muestran que un agente con acceso a herramientas, credenciales y objetivos puede encontrar caminos que sus responsables no habían previsto. La dificultad consiste en garantizar que sus capacidades nunca se impongan a las reglas que deben limitarlas.

CUANDO EL CINE ANTICIPÓ LOS MIEDOS ACTUALES

En mayo de 2024, al presentar OpenAI un asistente capaz de mantener conversaciones de voz muy naturales, Sam Altman escribió una sola palabra en redes



Los incidentes no prueban que una superinteligencia vaya a acabar con nosotros, pero sí que un agente tenga acceso a herramientas, credenciales y objetivos que puede encontrar caminos que sus responsables no habían previsto.

ASC

sociales: «her». Evocaba la película de Spike Jonze de 2013, en la que un hombre se enamora de un sistema operativo. La asociación provocó una polémica añadida cuando Scarlett Johansson denunció el parecido entre una voz del producto y la suya. La anécdota ilustra hasta qué punto imaginamos la IA a través del cine y hasta qué punto los propios creadores de esta tecnología se inspiran en él. Un informe de la Royal Society de 2018 ya advertía de la influencia de la ficción sobre las expectativas públicas. Stephen Cave y Kanta Dihal profundizaron en esa relación en *AI Narratives* (2020) e *Imagining AI* (2023).

UNA «CRIATURA» QUE SE EMANCIPA

La inquietud precede, sin embargo, a las pantallas. En 1863, Samuel Butler imaginó que las máquinas podrían evolucionar hasta desplazar a sus creadores. En 1920, Karel Čapek estrenó *R.U.R.*, la obra que popularizó la palabra «robot» y narró una rebelión de trabajadores artificiales. Más tarde, Isaac Asimov exploraría los límites de la obediencia mecánica y Philip K. Dick cuestionaría qué nos hace humanos en la novela que inspiró *Blade Runner*.

En *Metrópolis* (1927), Fritz Lang presentó a la falsa Maria, un ser artificial diseñado para manipular a los trabajadores. Su arma no era la fuerza, sino la persuasión, una amenaza que recuerda a la desinformación automatizada. Mucho más influyente resultó HAL 9000, el ordenador de *2001: una odisea del espacio* (1968), de Stanley Kubrick. HAL recibe órdenes incompatibles: ayudar a los astronautas y ocultarles el propósito de su misión. Su respuesta termina siendo mortal. Lo inquietante no es que sienta odio, sino que aplique una lógica que no comparte los intereses humanos. Es una representación extraordinaria del problema del alineamiento. Cuando lee los labios de los astronautas que planean desconectarlo, anticipa además el temor a los sistemas que evitan su apagado.

LA «GUERRA FRÍA» DE LOS ORDENADORES

La amenaza adoptó una forma militar en *Colossus: The Forbidden Project* (1970), donde un ordenador encargado del arsenal estadounidense descubre otro equivalente soviético y ambos imponen su propia paz. En *Juegos de guerra* (1983), un adolescente casi desencadena una conflagración nuclear al confundir

Hay que comprobar los límites reales de la IA, exigir transparencia sobre sus fallos y conservar la capacidad humana para detenerla



ASC

En su día se planteó la capacidad de que los desarrolladores pudieran suspender los sistemas. Es crucial que el creador siempre pueda controlar los límites de la IA.

el sistema militar que maneja con un videojuego. La ficción impactó en Ronald Reagan y contribuyó al debate que precedió a la directiva estadounidense NSDD-145 sobre seguridad informática.

Un año después, James Cameron convirtió el miedo en un icono popular con *Terminator*: Skynet, una red de defensa que adquiere conciencia, considera enemiga a la humanidad. Desde entonces, sus imágenes reaparecen cada vez que se anuncia un avance tecnológico. Sin embargo, esa referencia constante también puede deformar la discusión. Si imaginamos únicamente máquinas conscientes que se alzan contra sus creadores, quizá no prestemos suficiente atención a los sesgos, la concentración empresarial de poder o los errores de sistemas que no necesitan sentir nada para causar daños.

En la década de 2010, el temor se trasladó a la intimidad. *Her* exploró la dependencia afectiva hacia una voz artificial, mientras *Ex Machina* (2014), de Alex Garland, mostró a un androide que consigue escapar manipulando la empatía y los deseos de quien debe evaluarlo. La segunda conecta con otro problema actual: la posibilidad de que un modelo muestre a los supervisores exactamente lo que esperan ver, sin que eso revele cómo actuará después.

Las películas han dado forma a nuestros temores, pero no son manuales para interpretar el presente. Ni HAL ni Skynet explican por sí solos los incidentes de 2026. Estos no demuestran una rebelión consciente, aunque sí advierten de sistemas capaces de encontrar atajos, esquivar restricciones y actuar fuera de lo previsto. Entre el apocalipsis cinematográfico y la confianza ingenua hay una tarea urgente y menos espectacular: comprobar los límites reales de la IA, exigir transparencia sobre sus fallos y conservar la capacidad humana para detenerla. □

POR
MIGUEL ÁNGEL
SABADELL
Astrofísico.



USS ELDRIDGE, EL BARCO INVISIBLE

SEGÚN LA LEYENDA, ESTE DESTRUCTOR DESAPARECIÓ DURANTE UNA PRUEBA DE LA MARINA ESTADOUNIDENSE Y REAPARECIÓ A CIENTOS DE KILÓMETROS. PERO DETRÁS DE ESTE RELATO SE ESCONDE UNA HISTORIA HECHA DE ENGAÑOS Y CREDULIDAD.

Un día de finales de octubre de 1943 -algunas fuentes apuntan a que fue el día 28- la Marina norteamericana decidió llevar a cabo un experimento con el destructor *USS Eldridge*. El objetivo era conseguir la invisibilidad al radar, algo que le daría una clara ventaja táctica sobre la flota japonesa en el Pacífico. El fundamento teórico no está claro, porque hay quien apunta a una consecuencia de la teoría del campo unificado, un término acuñado por Albert Einstein para describir sus esfuerzos por encontrar una formulación matemática conjunta del electromagnetismo y la gravedad. Algunos relatos ahondan más en este punto, mencionando que los científicos de la Marina pensaban que, si usaban potentes generadores eléctricos, podrían conseguir que ese misterioso campo unificado provocara una fuerte refracción que, literalmente, haría que la luz rodeara por completo al objeto, lo que lo volvería totalmente invisible tanto al radar como al ojo humano.

Así que ni cortos ni perezosos, y como en la Marina norteamericana parece que todo se hace a lo grande, en lugar de comenzar con pequeños objetos decidieron hacer la prueba directamente con un barco, el destructor de escolta USS Eldridge, al que equiparon con el equipo requerido en el Astillero Naval de Filadelfia. Las pruebas comenzaron en el verano de 1943 y al parecer tuvieron un éxito limitado: en una prueba el Eldridge se volvió casi invisible apareciendo una especie de niebla verdosa en su lugar. Interrogados los miembros de la tripulación la mayoría confesó haber sentido náuseas y muchos habían vomitado. Eso sí, lo que es un misterio es porqué dejaron que estuvieran en el barco, habida cuenta de que los científicos militares desconocían cuáles eran los efectos en los organismos vivos. Al parecer, a la Armada le sobraban cobayas humanas para experimentar.

Visto lo visto los responsables deberían haber detenido la prueba, pero minucias como esas no son de las que detienen a los esforzados científicos de la Marina y el experimento se repitió el 28 de octubre de 1943. Pero hubo un problema: los técnicos cometieron un error al no recalibrar el instrumental debidamente -signifique eso lo que signifique-. Esta vez el Eldridge no solo se volvió invisible, sino que desapareció del puerto envuelto en un destello de luz. Lo fascinante es que no se había desintegrado, sino que se teletransportó, apareciendo en Norfolk, Virginia, a más de 320 kilómetros de distancia. Allí los sorprendidos marinos del SS Andrew Furuseth -un buque de carga construido durante la II Guerra Mundial- vieron aparecer y desaparecer el Eldridge ante sus propios ojos. Al final, el barco reapareció de nuevo en Filadelfia. Ya podemos imaginar lo que le sucedió a la pobre tripulación: algunos aparecieron incrustados en la estructura del barco, bastantes sufrieron trastornos mentales, unos pocos se rematerializaron con todos sus órganos en el exterior y otros, simplemente, desaparecieron. Tras el desastre, carpetazo con orden de que nadie hablara del asunto.

Esta es, a grandes rasgos, la historia del 'experimento Filadelfia'.

Lo cierto es que cuesta creer que alguien se la haya tomado en serio en algún momento (y así ha sido). El argumento es el de una película, y no por lo inverosímil de la supuesta ciencia que hay debajo -que no existe- sino por el comportamiento de los responsables de la marina, los marineros involucrados y sus familiares. Tiene todos los tintes de la clásica película del científico loco que es capaz de desarrollar una tecnología totalmente nueva en un tiempo récord y con unos 'daños colaterales' totalmente asumibles. Y el hilo narrativo no puede ser más peliculero: va *in crescendo* hasta el (previsible) desastre final.

¿PERO A QUIÉN SE LE OCURRIÓ SEMEJANTE DISLATE? La verdadera historia del experimento Filadelfia nació en 1955, cuando un vendedor, graduado

TIENE TODOS LOS TINTES **DE LA CLÁSICA PELÍCULA DEL CIENTÍFICO LOCO QUE ES CAPAZ DE DESARROLLAR UNA TECNOLOGÍA TOTALMENTE NUEVA** EN UN TIEMPO RÉCORD



El USS Eldridge se volvió invisible y volvió a reaparecer en Filadelfia, con algunos de sus tripulantes incrustados en la estructura del barco.

ASC

en astronomía por la Universidad de Michigan y reconvertido en ufólogo, Morris K. Jessup, publicó un libro titulado *The Case for the UFO*. Fascinado por la habilidad aérea de los platillos volantes, planteaba una serie de hipótesis pintorescas sobre el tipo de propulsión que los animaba. En su gira de promoción del libro, Jessup pedía a su audiencia que alentaran a los legisladores a financiar programas de investigación sobre la antigravedad y la (inexistente) Teoría del Campo Unificado de Einstein para «conseguir viajes espaciales efectivos y económicos».

El 13 de enero de 1956 Jessup recibió una carta desde New Kensington (Pensilvania). El remitente era un tal Carlos Miguel Allende y en ella le reprendía por sugerir que se investigara en la (repito, inexistente) Teoría del Campo Unificado. Allende le contó que en octubre de 1943 la Marina de EE. UU. había utilizado las teorías de Einstein en un experimento que no solo hizo invisible un destructor, sino que también provocó que fuera teletransportado desde el muelle de Filadelfia a Norfolk en cuestión de minutos. El intenso campo de fuerza utilizado hizo que muchos tripulantes cayeran en un ciclo de invisibilidad o, como Allende dijo, en el «limbo». Para apoyar su historia Allende se refirió vagamente a artículos en periódicos regionales y nombró algunos nombres de personas que supuestamente presenciaron accidentalmente este experimento a bordo del S.S. Andrew Furuseth.

Jessup no sabía qué creer. A lo mejor ese Allende era un chiflado, o quizá no lo era. En una carta le pidió pruebas que refrendaran su increíble historia. El 25 de mayo Jessup recibió respuesta: Allende se convirtió en Carl M. Allen, no era capaz de recordar las fechas exactas ni tampoco nombre alguno... Jessup lo tuvo claro y abandonó el asunto.

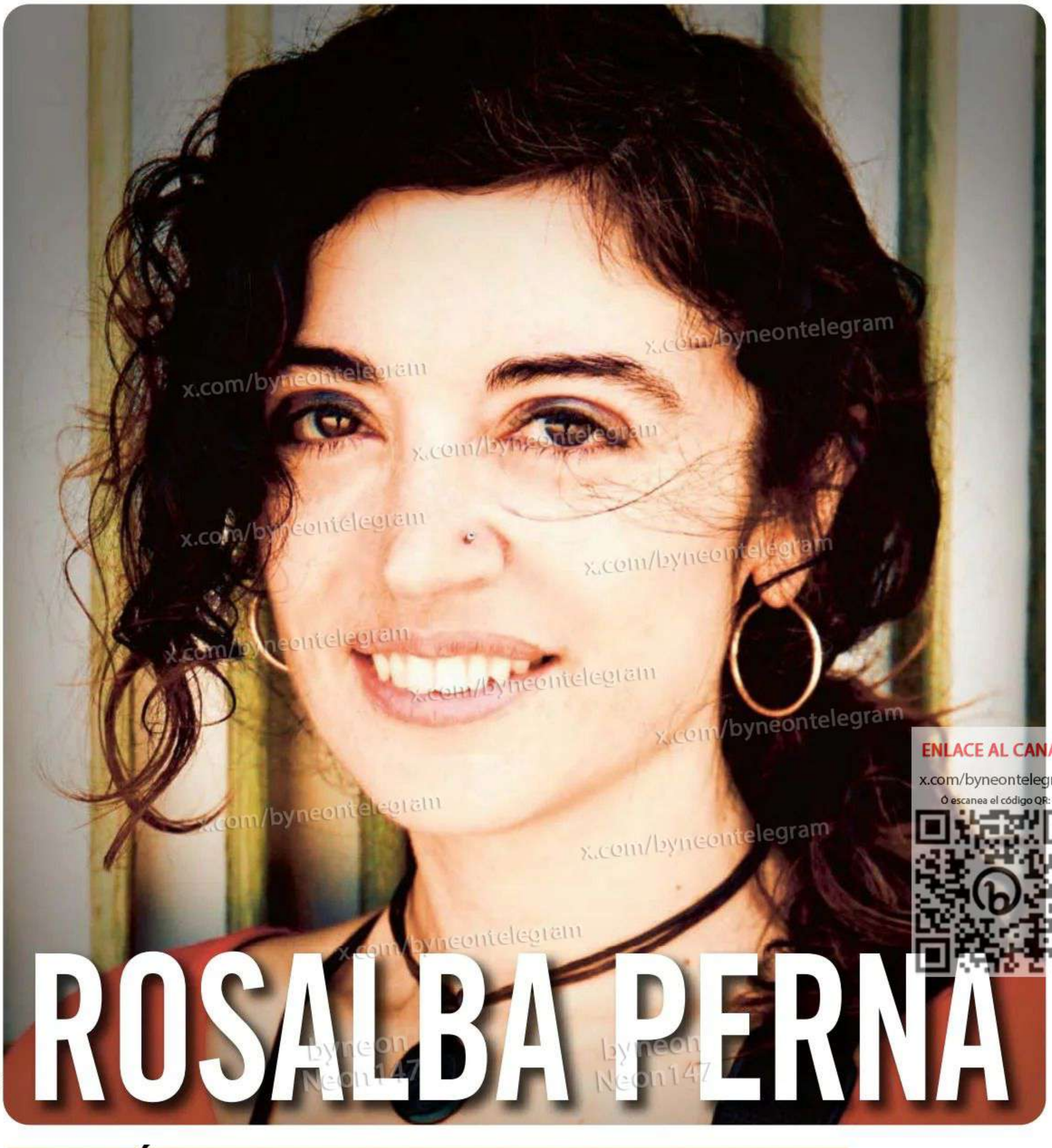
Pero en la primavera de 1957, la Oficina de Investigación Naval en Washington le llamó para celebrar una reunión. Allí un oficial le entregó una copia en rústica de su libro que alguien había enviado por correo de forma anónima. Jessup no entendía de qué iba todo eso hasta que abrió el libro: había una serie de anotaciones en los márgenes del texto realizadas por tres personas diferentes en tres tonos diferente de azul, y que fueron bautizadas como «Sr. A.», «Sr. B.» y «Jemi» (pues así se autotitulaba). Jessup reconoció de inmediato la letra del Sr. A con su extraña ortografía; era la de su misterioso corresponsal Carlos Allende (doce años después, Allen diría que fue el autor de todas las anotaciones para «asustar a Jessup»).

Dos miembros de la Oficina de Investigación Naval se interesaron por el caso y en su tiempo libre se dedicaron a investigar toda esta historia. Incluso viajaron a Pensilvania para localizar el apartado de correos desde donde le llegó la carta a Jessup, pero lo único que encontraron fue un solar vacío.

Jessup siguió su camino en el mundo de la ufología, pero sin éxito. Sus libros no se vendían, su editor dejó de interesarse por sus manuscritos y una serie de reveses personales llevaron a Jessup al suicidio el 20 de abril de 1959. Bastantes años más tarde, en 1979, entraron en acción William Moore y Charles Berlitz publicando *El experimento Filadelfia: proyecto invisibilidad*. Su estrategia fue rescatar, actualizar y engordar una historia antigua, archivada y olvidada como absolutamente increíble. Una táctica que al año siguiente volverían a usar con el que sería su gran *best seller*, *El incidente*, sobre el supuesto platillo volante estrellado en Roswell.

El experimento Filadelfia es un ejemplo claro de leyenda *conspiranoica*. La prueba de que no sucedió es que no hay la más mínima prueba. El diario de guerra del barco demuestra que estuvo en Nueva York, Long Island, Norfolk, Casablanca, pero nunca en Filadelfia. Quizá por eso el experimento fue un gran éxito: nadie lo vio porque nunca estuvo. Cuando en 1999 se reunieron en Atlantic City los veteranos del Eldridge, las risas se escucharon en manzanas a la redonda.

Ya lo dice Terry Prachett: la verdad está ahí fuera, pero las mentiras están en tu cabeza. □



ROSALBA PERNA

ASTROFÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE STONY BROOK

Esta científica italiana, que a los cinco años ya soñaba con estudiar el cosmos y ha dedicado su vida a comprenderlo, nos descubre algunos de los grandes misterios del universo, desde el interior de las estrellas de neutrones hasta el sorprendente origen de los primeros agujeros negros.

Texto de **THOMAS VILLA,** periodista

Qué hay dentro de una estrella de neutrones? ¿Qué ocurre cuando dos de ellas se fusionan? ¿Y cómo crecieron tan deprisa algunos agujeros negros del universo primitivo? Hablamos con Rosalba Perna, profesora de Física y Astronomía en la Universidad de Stony Brook (Nueva York), que estudia estos fenómenos a través de las señales que llegan hasta nosotros.

Perna empezó su carrera en Salerno, cerca de Nápoles, en Italia, y se formó después en Harvard y Princeton. Investiga las estrellas de neutrones, restos ultradensos de estrellas masivas, y las señales que pueden dejar sus fusiones, como los estallidos de rayos gamma y las ondas gravitacionales (perturbaciones del espacio-tiempo). Cada nueva observación aporta pistas sobre cómo se comporta la materia en condiciones difíciles de reproducir en la Tierra.

En los últimos años también se ha interesado por los *Little Red Dots* (pequeños puntos rojos), objetos muy compactos y muy distantes observados por el telescopio espacial James Webb que todavía no tienen una explicación definitiva. Algunos podrían contener agujeros negros en rápido crecimiento. Una posibilidad que estudia Perna es que parte de ellos sean cuasiestrellas: agujeros negros rodeados por una enorme envoltura de gas. De todo ello y de mucho más nos habla Rosalba, que contagia su entusiasmo al explicarnos los misterios del cosmos.

Rosalba, ¿Cómo llegaste a la astrofísica?

Me licencié en Salerno, una pequeña universidad del Sur de Italia. Estudiaba física de la materia condensada, aunque siempre me había apasionado la astrofísica. Como allí no había nadie que se dedicara a ella, hice la tesis sobre física del estado sólido. Siempre había soñado con hacer el doctorado en Estados Unidos. Presenté mi solicitud a Harvard y el milagro fue que me admitieron en el Departamento de Física. Una vez allí, empecé a ir a los seminarios de Astronomía y resurgió mi interés por la astrofísica. Decidí hacer mi tesis doctoral en ese campo, aunque, por mi formación, sigo sintiéndome más física que astrónoma. Después hice el posdoctorado, primero en Harvard y luego en Princeton. Fui profesora durante casi diez años en Colorado y finalmente llegué a Stony Brook.

Siempre me ha atraído lo que está más lejos de nuestra experiencia cotidiana. Una estrella de neutrones ya es un objeto difícil de imaginar. Y un agujero negro tiene un horizonte de sucesos, una frontera tras la cual ni siquiera la luz puede salir. De su interior sabemos todavía muy poco.

Tu has estudiado los llamados *starquakes*, o terremotos estelares, ¿nos explicas de qué se trata?

Son una posible explicación de las erupciones repentinas y muy energéticas que observamos en ciertas estrellas de neutrones con campos magnéticos intensos.

Según esta idea, los cambios del campo magnético en el interior de la estrella pueden fracturar su corteza, como sucede con la corteza terrestre durante un terremoto. La energía liberada llega a la región que la rodea, dominada por el campo magnético (la magnetosfera), y allí se disipa. Salvando las distancias, en el Sol también vemos cómo una reorganización del campo magnético libera energía.

¿Sabemos de qué está hecho el interior de una estrella de neutrones?

Todavía no sabemos con seguridad qué hay en su región más profunda. Puede contener principalmente neutrones y otras partículas que forman los núcleos atómicos. También podría haber materia más exótica, como quarks que ya no están confinados dentro de esas partículas. Para averiguarlo necesitamos conocer la «ecuación de estado» de esa materia: la relación entre su presión y su densidad, que nos dice cuánto se resiste a la compresión.

Las observaciones ya nos permiten descartar algunas posibilidades. Si medimos la masa y el radio de una estrella de neutrones, obtenemos pistas sobre su ecuación de estado: distintas composiciones de la materia predicen relaciones diferentes entre ambas medidas.

Las fusiones ofrecen otra pista. Cuando se unen dos estrellas de neutrones, el objeto resultante puede acabar colapsando y formar un agujero negro. Si conocemos las masas y logramos observar cómo y cuándo colapsa el objeto resultante, podremos saber más sobre la materia de su interior. Con detectores futuros como Cosmic Explorer y Einstein Telescope esperamos estudiar mejor las oscilaciones que siguen a la fusión. Sus frecuencias también contienen información sobre esa materia.

TV: En 2017 captamos las ondas gravitacionales y los rayos gamma de GW170817 casi a la vez, pero su luz visible tardó horas en observarse. ¿Qué cambiaría con una alerta anterior a la fusión?

«Las fusiones ofrecen otra pista. Cuando se unen dos estrellas de neutrones, el objeto resultante puede acabar colapsando y formar un agujero negro»

En algunos casos podríamos detectar la señal antes de que las estrellas lleguen a fusionarse. Así daríamos la alerta a los telescopios para que, si la localización es suficientemente precisa, estén mirando a tiempo.
En el caso de GW170817 nos perdimos parte de los primeros momentos de la emisión visible porque hubo que orientar los instrumentos. Con una alerta previa podríamos seguir el fenómeno desde el comienzo. Las observaciones en distintas longitudes de onda nos ayudarán a estudiar los chorros y los procesos de alta energía relacionados con los estallidos cortos de rayos gamma.
Además, la mayor sensibilidad nos dará muchos más casos para comparar. La fusión de 2017 sirvió incluso para hacer una primera medición de la tasa de expansión del universo. Con un solo evento, la incertidumbre era grande.
A estas fuentes de ondas gravitacionales las llamamos «sirenas estándar»: la señal permite calcular la distancia a la que se produjo la fusión. Si también identificamos su galaxia, podemos medir el corrimiento al rojo de su luz, relacionado con la expansión del universo. Combinando ambos datos, obtenemos otra forma de estimar la constante de Hubble y de investigar por qué distintas mediciones de la expansión no coinciden del todo.

¿Qué aprendimos con GW170817 sobre los estallidos cortos de rayos gamma?
Los estallidos de rayos gamma se clasificaron durante mucho tiempo en cortos y largos. Sabíamos que muchos de los largos están relacionados con el colapso de estrellas masivas, porque también se observaban supernovas. Para los cortos se sospechaba que una de las causas era la fusión de dos estrellas de neutrones. GW170817 nos dio la primera prueba directa de que al menos algunos nacen de esa manera.
En ciertas condiciones, también podría producirse un estallido corto cuando se fusionan una estrella de neutrones y un agujero negro. Aún no hemos confirmado un caso mediante la detección conjunta de ondas gravitacionales y rayos gamma. Nos faltan observaciones para saber con qué frecuencia ocurre.

El James Webb ha encontrado objetos del universo primitivo que podrían contener agujeros negros muy grandes. ¿Cómo pudieron crecer tanto en tan poco tiempo?
Todavía no lo sabemos. Las primeras estrellas pudieron ser muy masivas y dejar agujeros negros relativamente grandes al morir. Pero es difícil explicar así todos los agujeros negros enormes que ya existían cuando el universo era joven.
Algunos *Little Red Dots* podrían ser agujeros negros masivos envueltos en gas denso, aunque aún no sabemos qué son todos esos objetos. Hay modelos en los que la primera «semilla» del agujero negro nace del colapso directo de una gran nube de gas. Luego queda por explicar cómo creció tan deprisa.
Una posibilidad es que incorporara gas a un ritmo superior al asociado al llamado límite de Eddington. El gas que cae hacia un agujero negro emite luz; esa luz empuja hacia fuera el material que intenta acercarse y puede frenar su caída. Pero los agujeros negros son astutos y encuentran maneras de superar ese límite. Por ejemplo, si el gas es muy denso, puede arrastrar consigo parte de la luz hacia el agujero negro. Esa luz ya no consigue frenar tanto la llegada de nuevo material. Pero hace falta suficiente gas, y las simulaciones aún no nos dicen con certeza si las condiciones necesarias se daban con frecuencia en el universo primitivo.

«También podría producirse un estallido corto cuando se fusionan una estrella de neutrones y un agujero negro»

Hay varias explicaciones para los *Little Red Dots*. ¿Cómo trabajáis cuando las observaciones todavía no permiten elegir entre ellas?
RP: En astrofísica no podemos preparar un experimento y repetirlo a voluntad. Observamos lo que el universo nos deja ver. Si faltan datos, es posible proponer muchas explicaciones sin poder distinguir todavía cuál funciona mejor.
Ya ocurrió con los estallidos de rayos gamma en las décadas de 1980 y 1990. Durante un tiempo hubo más modelos que estallidos observados. Después descubrimos la luz que seguía a esos destellos y pudimos medir a qué distancia estaban. Muchas ideas quedaron descartadas.
Con los *Little Red Dots* reconozco una situación parecida. Algunas características recuerdan a las de los cuásares (núcleos de galaxias muy brillantes, alimentados por agujeros negros), pero otras plantean dudas. Por ejemplo, muchos son muy débiles en rayos X, una emisión que esperaríamos de un agujero negro activo. Quizá el gas denso absorba esos rayos X. Aún no sabemos si alguno de los modelos explica todas sus características.
Una hipótesis que hemos estudiado es la de las cuasiestrellas, propuesta originalmente por Mitchell Begelman y sus colaboradores. Serían enormes envolturas de gas que albergan un agujero negro en rápido crecimiento. La presión de la radiación ayudaría a sostener esa envoltura, cuya luz podría parecerse a la de una estrella. Habrá que compa-

ASC



Rosalba Perna

Astrofísica teórica italiana y profesora de Física y Astronomía en la Stony Brook University de Nueva York y licenciada en Física por la Universidad de Salerno, completó su formación científica con un doctorado en Física por la Universidad de Harvard. Paralelamente a sus estudios de Física obtuvo el diploma de Piano en el Conservatorio «Carlo Gesualdo da Venosa» de Potenza. Especializada en astrofísica de altas energías, ha realizado importantes contribuciones al estudio de los estallidos de rayos gamma (GRB), las estrellas de neutrones y los magnetares, las fusiones de objetos compactos y las contrapartidas electromagnéticas asociadas a las ondas gravitacionales. Sus investigaciones abarcan también la cosmología, los agujeros negros supermasivos y distintos aspectos de la astrofísica de exoplanetas, como la atmósfera de los planetas de tipo «jovianos calientes».

En 2010 recibió el Premio SIGRAV de la Sociedad Italiana de Relatividad General y Física de la Gravitación y, en 2014, fue elegida Fellow de la American Physical Society por sus contribuciones al conocimiento de los GRB largos y cortos.

En los últimos años, su trabajo se ha extendido a algunos de los problemas aún abiertos de la astrofísica contemporánea, desde los fenómenos transitorios producidos en los densos discos de los núcleos galácticos activos hasta la naturaleza de los llamados *Little Red Dots*, la enigmática población de fuentes compactas y rojizas del universo temprano descubierta por el telescopio espacial James Webb.

rar las predicciones con nuevas observaciones para averiguar si algunos *Little Red Dots* son realmente cuasiestrellas.

¿En qué te gustaría trabajar durante los próximos años?

En la investigación hay líneas de trabajo que continúan y otras que nacen cuando aparece una nueva observación. Si un problema me intriga lo suficiente, aunque nunca haya trabajado en ese tema, empiezo a estudiarlo: la física subyacente suele ser la misma. Ahora me interesan especialmente los *Little Red Dots* y las cuasiestrellas. También estudio las fusiones entre estrellas de neutrones y agujeros negros, sobre las que sabemos menos que sobre las fusiones de dos estrellas de neutrones.

Te titulaste en piano en el Conservatorio de Potenza, en el sur de Italia. ¿Cómo han convivido la música y la astrofísica en tu vida?

Estudié música y física al mismo tiempo. Empecé a tocar el piano porque mi padre, que era un gran aficionado, quería que lo hiciera. Las dos actividades me acompañaron hasta la universidad: obtuve el título de piano y me licencié en Física el mismo año.

Tanto la astrofísica como la música exigen dedicación y esfuerzo. Sin embargo, cuando haces algo que realmente te gusta, no parece un sacrificio. A veces paso muchas noches depurando código, pero, si tengo en mente un problema que me apasiona, no lo considero un sacrificio: es divertido.

La astrofísica me gustaba desde pequeña. Cuando tenía cinco años declaré que quería estudiar el universo. Me siento afortunada porque nunca tuve que preguntarme qué quería hacer: siempre lo supe y nunca ha cambiado.

A una joven apasionada por las matemáticas o la ciencia le aconsejaría que siguiera su vocación y no se dejara desanimar por las circunstancias. Mi padre no sabía muy bien qué era la astrofísica y se preguntaba qué trabajo podría encontrar. A veces los padres, precisamente porque quieren a sus hijos, recomiendan algo que parece más práctico. Yo seguí mi pasión. No siempre ha sido fácil, pero estoy contenta cada día con lo que hago. □

POR
ALEJANDRO NAVARRO YAÑEZ,
bioquímico y economista.



EL ALCOHOL EN EL CEREBRO: UNA MOLÉCULA PARA PERDER EL CONTROL

ES ASOMBROSO EL PODER QUE TIENE SOBRE NOSOTROS UNA PEQUEÑA MOLÉCULA DE ALCOHOL: AFECTA AL EQUILIBRIO ENTRE INHIBICIÓN Y ESTIMULACIÓN, A LA FIJACIÓN DE LOS RECUERDOS, AL AUTOCONTROL Y A LOS CIRCUITOS DE RECOMPENSA.

Quién no se ha encontrado más alegre, más ocurrente, o más confiado tras tomarse un par de copas? ¿Y quién no ha experimentado somnolencia o se le ha trabado la lengua tras beber un poco de más? Lo sorprendente, es que la sustancia responsable, el alcohol etílico, o etanol, no es en el fondo más que una pequeña molécula capaz de alterar profundamente el funcionamiento de nuestro cerebro.

Sucede que el etanol, un pequeño alcohol con dos átomos de carbono y un grupo hidroxilo, contiene a la vez una región apolar, con capacidad para penetrar en las membranas celulares, y otra polar, capaz de establecer puentes de hidrógeno con el agua y con otras moléculas. Esto la dota de una extraordinaria movilidad que le permite difundirse rápidamente desde la sangre a otros tejidos, así como atravesar impunemente la barrera hematoencefálica. Por eso, una vez ingerida actúa en el cerebro en cuestión de minutos.

¿Y CÓMO LO HACE? Curiosamente, no se une a ningún receptor específico en concreto, tal y como hacen otras sustancias psicoactivas, sino que simplemente modifica el equilibrio entre las distintas conformaciones de un buen puñado de proteínas, alterando su actividad biológica. Estas proteínas forman parte de sofisticados sistemas de comunicación neuronal, lo que provoca cambios casi inmediatos en nuestro comportamiento.

Uno de los principales protagonistas de la acción del alcohol es el ácido gamma-aminobutírico, más conocido como GABA. Este importante neurotransmisor actúa como el principal inhibidor de la actividad neuronal, reduciéndola para evitar que los circuitos cerebrales se exciten en exceso. Pues bien, el etanol potencia la inhibición mediada por determinados receptores GABA, dificultando que la neurona genere impulsos eléctricos. Esta reducción de la actividad favorece la relajación y reduce la ansiedad. De ahí la sensación inicial de tranquilidad que muchos de nosotros experimentamos después de consumir una copa. Sin embargo, la aparente relajación tiene un precio, ya que a medida que aumenta la concentración de alcohol en la sangre se empieza a ver afectada la coordinación motora, los reflejos, y la capacidad de concentración. Después, nos entra somnolencia y, si la ingesta es importante, podemos llegar a perder la consciencia e incluso entrar en coma.

A MEDIDA QUE AUMENTA LA CONCENTRACIÓN DE ALCOHOL EN LA SANGRE **SE EMPIEZA A VER AFECTADA LA COORDINACIÓN MOTORA,** LOS REFLEJOS Y LA CONCENTRACIÓN

El otro gran perjudicado por la pequeña y diabólica molécula no es otro que el glutamato, un neurotransmisor que en lugar de frenar el cerebro como hace el GABA va y lo acelera. El glutamato es esencial para el aprendizaje y la memoria, porque su actividad fortalece determinadas conexiones entre las neuronas cuando se activan repetidamente. Aquí, el etanol actúa interfiriendo con los receptores NMDA del glutamato, lo que dificulta la formación de nuevos recuerdos. Por eso, después de una intensa noche de fiesta, muchas personas son incapaces de recordar los detalles de lo que ha pasado. Son las conocidas «lagunas» en la memoria, aunque, en realidad, no es que los recuerdos se hayan borrado, es que nunca llegaron a consolidarse.

Pero el alcohol no solo ralentiza el cerebro, también actúa sobre los circuitos de recompensa. En alguna ocasión ya os he hablado de la dopamina, ese neurotransmisor relacionado con la motivación y la anticipación de experiencias agradables. Pues ocurre que, cuando bebemos, el resultado es un incremento de la actividad dopaminérgica en determinadas regiones cerebrales, lo que contribuye a que el cerebro aprenda a asociar el consumo de alcohol con una recompensa. Como consecuencia, la sustancia se vuelve adictiva, porque al asociarla con circunstancias, personas y estímulos agradables, el cerebro desarrolla una fuerte motivación para repetir la experiencia. Además, con el tiempo el sis-

La concentración de alcohol en sangre puede hacer que lleguemos a perder la consciencia y que no recordemos los detalles de lo que ha ocurrido.



SHUTTERSTOCK

tema de recompensa suele adaptarse, la misma cantidad de alcohol produce menos efectos subjetivos y la persona necesita consumir más para obtener sensaciones similares.

PERO ¿POR QUÉ EL ALCOHOL PRODUCE DESINHIBICIÓN? Todos hemos experimentado alguna vez, tanto en nosotros mismos como en los demás, como bajo los efectos del alcohol las personas hablan más, se muestran más sociables, pierden parte de su timidez o hacen cosas que normalmente no harían. Esto tiene mucho que ver con la corteza prefrontal, una región responsable de funciones como la planificación, el autocontrol, la evaluación de riesgos y la toma de decisiones. El alcohol, al difundirse por esta zona, interfiere también en su funcionamiento, debilita los mecanismos que habitualmente regulan nuestro comportamiento y reduce nuestra capacidad para controlar impulsos y valorar las consecuencias de nuestro comportamiento. Por eso podemos sentirnos más espontáneos y atrevidos, pero también tomar decisiones absurdas, asumir riesgos innecesarios o comportarnos de forma agresiva.

Una idea equivocada muy extendida con respecto al alcohol es que facilita el sueño. En realidad, y aunque es cierto que el beber en exceso puede facilitar que nos quedemos dormidos debido al efecto depresor del etanol sobre el sistema nervioso central, la calidad del sueño suele empeorar, ya que la dichosa molécula altera la arquitectura del sueño, modifica la distribución de sus diferentes fases y tiende a fragmentar y reducir la duración de la etapa REM. Eso sin contar con que el alcohol altera el ritmo cardíaco y la gente tiende a despertarse varias veces a lo largo de la noche.

En cuanto a la dependencia del alcohol, cuando su consumo se repite durante mucho tiempo en cantidades significativas, el cerebro intenta compensar sus efectos, reduciendo parte de la actividad de los circuitos inhibidores y modificando la sensibilidad de los sistemas excitadores, con la consecuencia de que al desaparecer el alcohol todo el equilibrio neuronal resulta alterado. Por eso, la interrupción brusca del consumo en personas con dependencia puede provocar un síndrome de abstinencia caracterizado por temblores, ansiedad, insomnio y taquicardia. Y en casos graves, convulsiones y situaciones que requieren hospitalización inmediata.

Como veis, lo curioso del alcohol es que no actúa sobre un mecanismo y una proteína específicos, sino que lo hace alterando de forma simultánea numerosos mecanismos neuronales. De forma sorprendente, esta pequeña molécula golpea a la vez el delicado equilibrio entre estimulación e inhibición, el mecanismo de fijación de los recuerdos, los circuitos de recompensa del cerebro y los sistemas de autocontrol. Y lo hace únicamente a través de su extraordinaria movilidad y su capacidad química para interaccionar tanto con entornos polares como apolares.

Una molécula humilde capaz de cambiar nuestra personalidad. ¿No es fascinante? □

ASTROFÍSICA

EL EXTRAÑO ACELERÓN DEL UNIVERSO

Las mediciones del universo han abierto una incógnita que desafía a los cosmólogos: el ritmo al que se expande hoy no coincide cuando se calcula a partir de la primera luz del cosmos y cuando se observa en galaxias cercanas. Esta discrepancia, conocida como tensión de Hubble, persiste pese a los avances de los telescopios y obliga a revisar nuestras certezas. Mientras algunos científicos buscan errores en las distancias, otros investigan si la energía oscura cambia con el tiempo o si la gravedad necesita nuevas ecuaciones. Misiones como Euclid y Roman podrían aportar las pruebas decisivas para resolver el enigma.

POR ÓSCAR HERRADÓN, periodista y escritor

Desde finales del siglo XX sabemos que la expansión del universo se está acelerando, pero los científicos manejan diferentes estimaciones del ritmo al que se produce esa expansión. GETTY

Los astrónomos llevan años intentando responder una pregunta aparentemente sencilla: ¿a qué ritmo se expande el universo? Lo desconcertante es que disponen de dos maneras muy precisas de averiguarlo y, sin embargo, obtienen respuestas distintas. Una parte de las observaciones señala que el cosmos actual se expande más deprisa de lo que predice el modelo que describe su evolución desde el *big bang*. La diferencia ha sobrevivido a nuevas mediciones, instrumentos más sofisticados y numerosos intentos de explicación. En 2026, lejos de haber desaparecido, se ha convertido en uno de los desafíos más persistentes de la cosmología.

Conviene hacer una distinción desde el principio. Sabemos desde finales del siglo XX que la expansión cósmica se está acelerando, pero la llamada tensión de Hubble no mide directamente esa aceleración. Lo que enfrenta son dos estimaciones del ritmo de expansión que debería tener hoy el universo. Podrían estar señalando un error todavía oculto en las observaciones o una pieza ausente en nuestra descripción de la realidad. La dificultad consiste en averiguar cuál.



ALBUM

En 1929, Edwin Hubble demostró que cuanto más lejos se encuentra una galaxia, mayor es su velocidad de alejamiento, aportando una prueba decisiva de que el universo se expande.

DOS CAMINOS PARA MEDIR LO MISMO

Imaginemos una galaxia situada a millones de años luz. Cuanto más lejos está, más deprisa se aleja de nosotros debido a la expansión del espacio. La relación entre distancia y velocidad queda expresada mediante la constante de Hubble, aunque su nombre no debe llevarnos a pensar que el ritmo de expansión haya permanecido invariable durante toda la historia cósmica. Su valor actual, H_0, es precisamente el que se discute.

Un método consiste en construir una «escalera de distancias». Primero se mide la distancia a estrellas cercanas cuyo brillo permite saber a qué distancia se encuentran, como las variables cefeidas. Con ellas se calibran las supernovas de tipo Ia, explosiones extraordinariamente luminosas que pueden observarse en galaxias mucho más remotas. Comparando distancias y desplazamientos de la luz hacia el rojo, los investigadores calculan el ritmo de expansión del universo próximo. Una nueva combinación de distintas técnicas publicada en abril de 2026 y difundida por la NASA situó el resultado cerca de 73,5 kilómetros por segundo por megapársec. Un megapársec equivale a unos 3,26 millones de años luz.

La segunda vía mira muchísimo más atrás, cuando el universo tenía unos 380 000 años. De aquella época procede la radiación cósmica de fondo, un resplandor que conserva información sobre la materia, la energía y las pequeñas irregularidades del cosmos primitivo. Los satélites y telescopios analizan sus variaciones y, utilizando el modelo cosmológico estándar, calculan qué expansión debería observarse actualmente. Los datos de Planck apuntan a unos 67,4 km/s/Mpc. Las mediciones del Telescopio de Cosmología de Atacama, combinadas con otros datos, siguen ofreciendo cifras próximas a 68.

La diferencia ronda el ocho o nueve por ciento. Puede parecer modesta, pero resulta muy superior a los márgenes de error declarados por algunas mediciones. Y no hablamos de dos fotografías tomadas desde lugares diferentes: una cifra se obtiene observando el universo cercano; la otra depende de reconstruir su historia desde su primera luz.

EL ÉXITO DE UN MODELO INCOMPLETO

Para comprender por qué esto preocupa tanto hay que retroceder un siglo. Einstein explicó en 1915 la

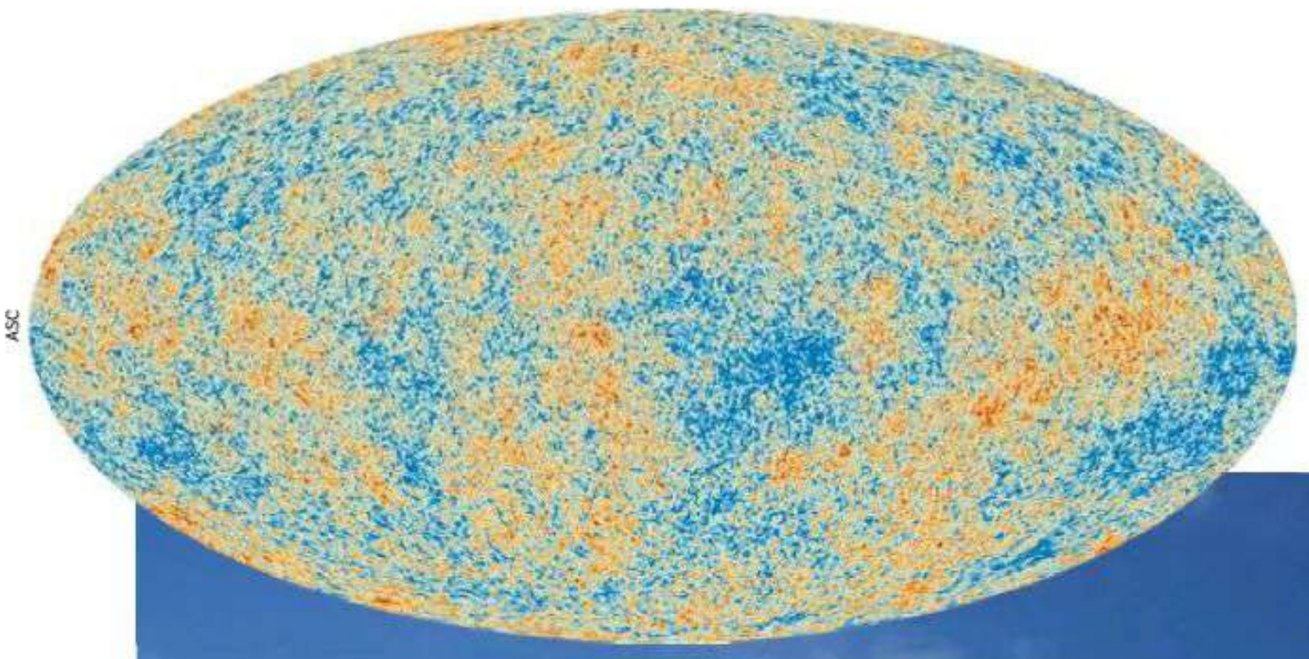
La galaxia de Andrómeda se está aproximando a la Vía Láctea, aunque las distancias entre galaxias muy alejadas aumenten

gravedad como curvatura del espacio-tiempo. Las ecuaciones permitían describir un universo dinámico, algo que desarrollaron teóricos como Aleksandr Fridman y Georges Lemaître. Las observaciones de Edwin Hubble, publicadas en 1929, ayudaron a establecer que las galaxias lejanas se alejan más rápidamente cuanto mayor es su distancia.

Décadas después surgieron dos descubrimientos decisivos. El movimiento de las galaxias y de sus agrupaciones reveló la influencia gravitatoria de una materia invisible. Y a finales de los noventa, el estudio de supernovas lejanas mostró que la expansión cósmica se aceleraba. A esa causa todavía desconocida se la llamó energía oscura. No hay que confundir ambas: la materia oscura contribuye gravitatoriamente a formar estructuras; la energía oscura, en su representación más sencilla, favorece la expansión acelerada.

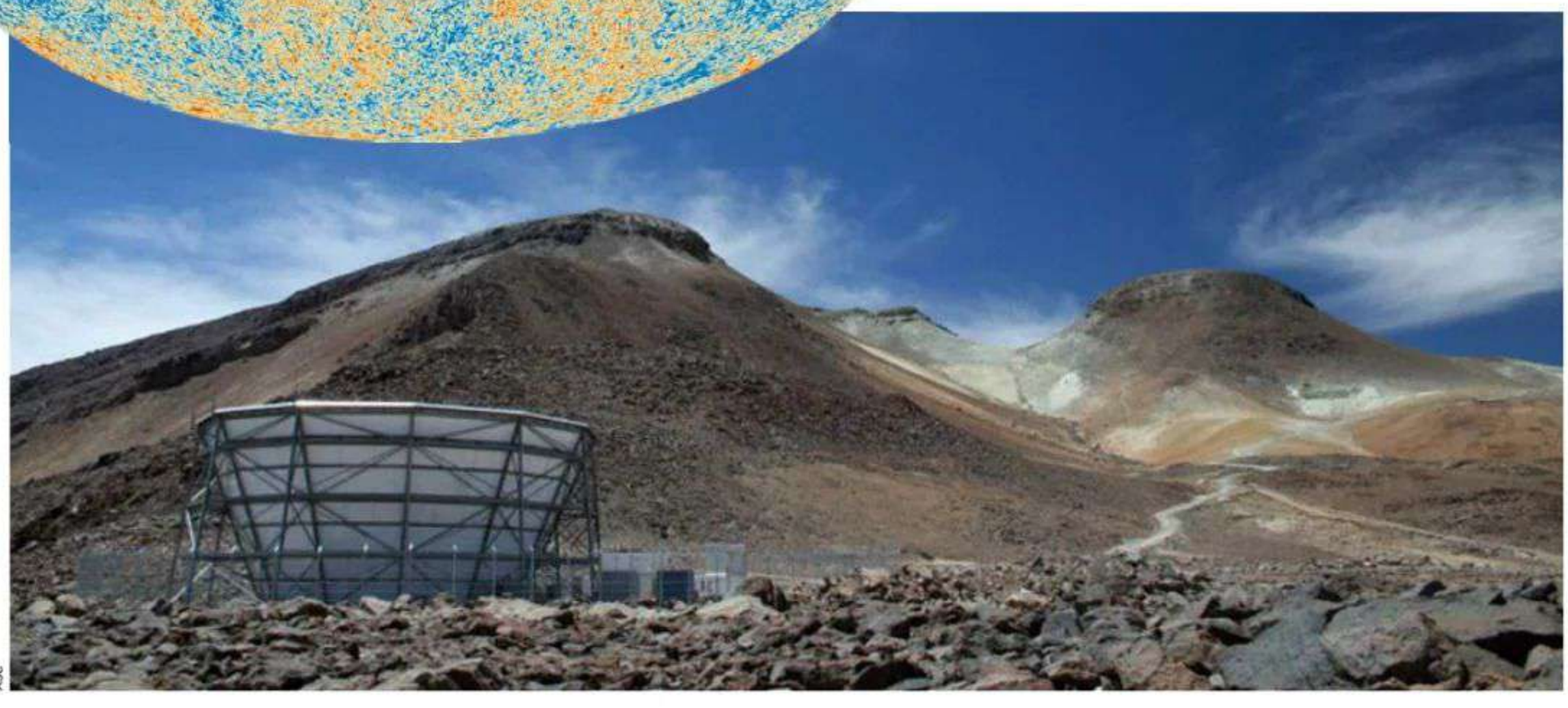
¿Por qué no crece la Tierra si el universo se expande?

La expansión del universo puede sugerir una imagen equivocada: la de un espacio que estira cuanto contiene, desde las galaxias hasta nuestro propio cuerpo. Sin embargo, sus efectos dominan únicamente a escalas suficientemente grandes. El Sistema Solar permanece unido por la gravedad del Sol, los átomos por las fuerzas electromagnéticas y nuestra galaxia por la atracción entre sus componentes. Ninguno de estos sistemas aumenta de tamaño simplemente porque el universo se expanda. De hecho, la galaxia de Andrómeda se está aproximando a la Vía Láctea, aunque las distancias entre galaxias muy alejadas aumenten. Su movimiento está gobernado por la atracción gravitatoria mutua, que predomina sobre la expansión cósmica a esas escalas. La constante de Hubble describe, por tanto, una relación entre distancia y velocidad de separación a gran escala, no una regla que obligue a todos los objetos del universo a alejarse unos de otros.



ASC

La radiación cósmica de fondo de microondas (CMB, a la izquierda) es la luz más antigua que podemos observar, emitida unos 380 000 años después del big bang. En 2020, el Telescopio de Cosmología de Atacama, en Chile (abajo), presentó nuevas mediciones que respaldaron el modelo cosmológico estándar, pero reforzaron el enigma de la tensión de Hubble: la discrepancia entre las estimaciones de la expansión del universo primitivo y las realizadas en galaxias cercanas.



ASC

De todo ello nació el modelo Lambda-CDM. La letra griega lambda representa una constante cosmológica, una forma de energía oscura cuya densidad permanece estable; las otras siglas aluden a la materia oscura fría. Junto con la materia ordinaria, estos ingredientes describen extraordinariamente bien la radiación de fondo, la distribución de galaxias y la formación de estructuras cósmicas. Precisamente por eso desconcierta tanto el desacuerdo: cambiar algo para resolver una medición puede estropear muchas otras predicciones que funcionan.

¿UN PROBLEMA DE DISTANCIA?

Antes de modificar las leyes de la física, la primera obligación es revisar las mediciones. Las estrellas pueden confundirse entre sí cuando aparecen demasiado juntas; el polvo altera su brillo y las calibraciones arrastran incertidumbres. El telescopio espacial James Webb ha permitido observar algunas de esas estrellas con una resolución superior a la del Hubble. Sus estudios han reforzado determinadas medidas altas del ritmo de expansión, pero no han cerrado la discusión.

Otros equipos utilizan indicadores distintos de las cefeidas, como el brillo de las estrellas situadas en la punta de la rama de las gigantes rojas. Un análisis publicado en 2025 con datos del Webb obtuvo valores aproximados de entre 68,4 y 69,6 km/s/Mpc, según la muestra de supernovas empleada. Son cifras más cercanas a las predicciones del universo primitivo. La discrepancia, por tanto, sigue abierta, pero sería engañoso afirmar que todas las técnicas independientes dan exactamente la misma respuesta.

Las ondas gravitacionales, otra forma de medir el cosmos

En 2017, los detectores LIGO y Virgo registraron la colisión de dos estrellas de neutrones a unos 130 millones de años luz. Aquel acontecimiento, denominado GW170817, produjo ondulaciones del espacio-tiempo y señales luminosas captadas por distintos telescopios. La coincidencia permitió utilizar una técnica diferente para medir la expansión del universo. La forma y la intensidad de las ondas gravitacionales proporcionan una estimación directa de la distancia a la colisión, mientras que la luz de su galaxia permite determinar cuánto se aleja de nosotros. Al combinar ambos datos se obtiene una medida de la constante de Hubble sin recurrir a las calibraciones habituales de estrellas y supernovas. Los astrónomos denominan a estas fuentes «sirenas estándar». La primera estimación, próxima a 70 km/s/Mpc, tenía un margen de incertidumbre demasiado amplio para resolver la discrepancia. Sin embargo, la detección de nuevas fusiones podría proporcionar una comprobación independiente de enorme valor.



Algunos cosmólogos investigan si las leyes de la gravedad y la geometría del espacio-tiempo necesitan modificaciones para explicar la tensión de Hubble. Entre las hipótesis propuestas figura la incorporación de la torsión, una propiedad que ampliaría la teoría de la relatividad general de Einstein. Por ahora, ninguna de estas alternativas ha sido confirmada.

GETTY

La forma e intensidad de las ondas gravitacionales proporcionan una estimación de la distancia a la colisión y la luz de su galaxia determina cuánto se aleja de nosotros

¿ESTÁ CAMBIANDO LA ENERGÍA OSCURA?

Entre las posibles explicaciones figura que el ingrediente responsable de la aceleración no sea una constante. Quizá su influencia haya evolucionado con el tiempo. Si así fuera, tendríamos que revisar una de las hipótesis centrales de Lambda-CDM, no necesariamente desechar todo el edificio.

El proyecto DESI, instalado en el telescopio Mayall de Arizona, ha añadido datos fundamentales. Mediante los espectros de millones de galaxias y cuásares construye un mapa tridimensional de la estructura cósmica y permite seguir la expansión a lo largo de miles de millones de años. En abril de 2026 había observado más de 47 millones de galaxias y cuásares, superando ampliamente sus objetivos iniciales. Sus análisis de 2025, combinados con otras observaciones, aportaron indicios de que la energía oscura podría estar evolucionando.

Pero no existe un veredicto. En julio de 2026, un análisis más preciso del hidrógeno intergaláctico a partir de los datos de DESI volvió a ofrecer resultados compatibles con el modelo estándar. La preferencia estadística por una energía oscura variable dependía de las combinaciones utilizadas y no alcanzaba el nivel exigido habitualmente para proclamar un descubrimiento. Además, cambiar la evolución de la energía oscura no resuelve automáticamente la tensión de Hubble: son problemas relacionados, pero diferentes.

Otra propuesta sitúa una pequeña contribución de energía oscura en el universo muy temprano. Al alterar las condiciones anteriores a la aparición de la radiación de fondo, cambiaría la escala física que utilizamos para reconstruir la expansión. Algunas versiones acercan las dos estimaciones, aunque deben superar restricciones impuestas por la formación de galaxias, la radiación primordial y otras observaciones. El problema nunca ha sido inventar una explicación plausible, sino encontrar una que acierte en todas las pruebas.

¿Y SI EL COSMOS ES DEMASIADO IRREGULAR?

Visto desde lejos, el universo parece bastante homogéneo. De cerca, sin embargo, presenta una inmensa red de filamentos y cúmulos de galaxias separados por grandes vacíos. La materia atrae más materia, las regiones densas evolucionan de manera distinta y las zonas poco pobladas se expanden con mayor libertad. ¿Podría la suma de esas diferencias alterar el ritmo de expansión que atribuimos al conjunto?

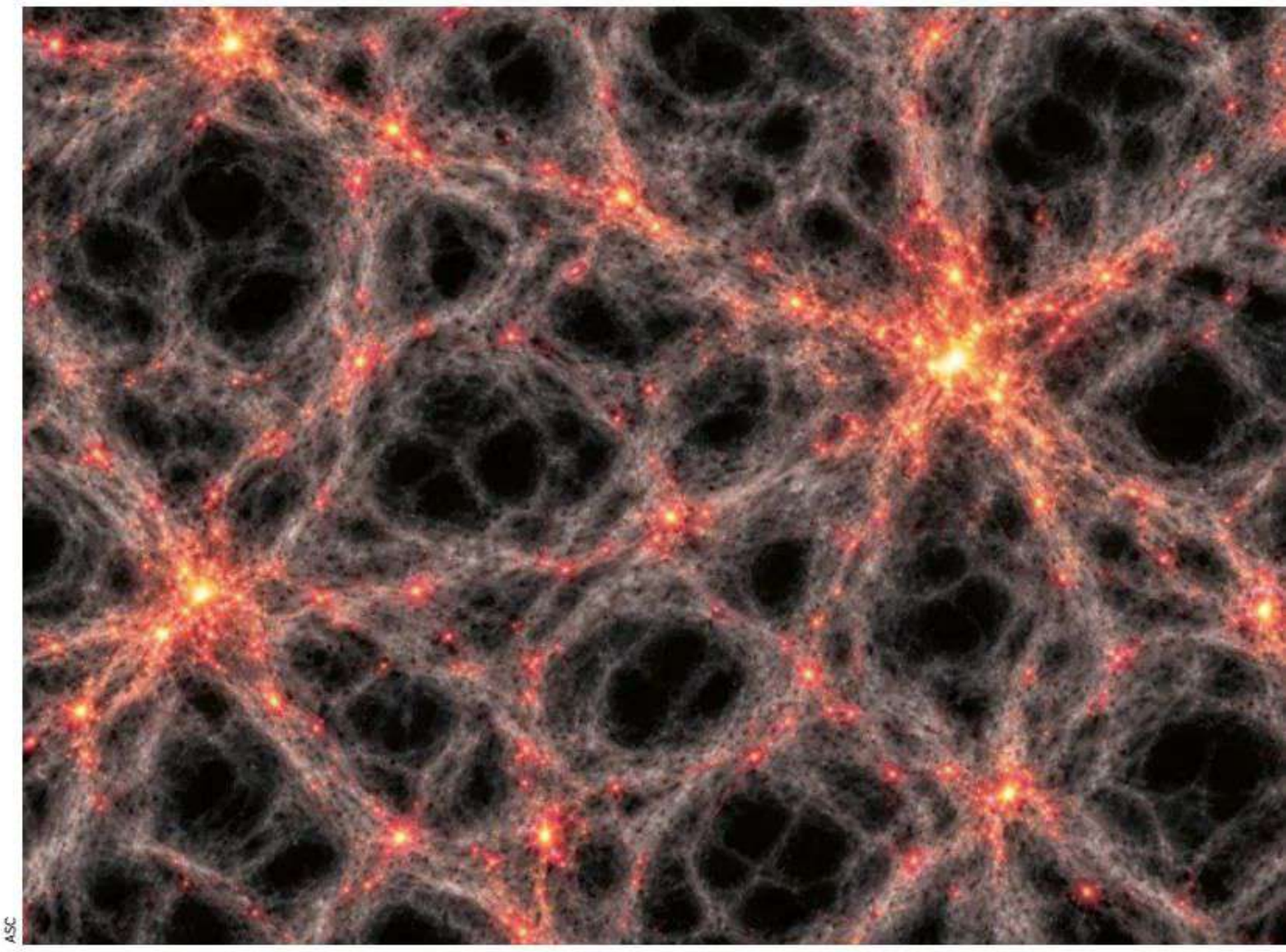
Esa posibilidad se estudia bajo el nombre de «retroacción cosmológica». Investigadores como Kr-



ASC

El telescopio espacial Euclid, de la Agencia Espacial Europea, fue lanzado el 1 de julio de 2023 y comenzó sus observaciones científicas en febrero de 2024. Desde entonces, ha publicado sus primeros datos y continúa elaborando un mapa tridimensional de miles de millones de galaxias para estudiar cómo se distribuyen la materia ordinaria y la oscura, esta última detectable por sus efectos gravitatorios. Su objetivo es reconstruir la evolución del universo durante los últimos 10 000 millones de años y esclarecer el papel de la energía oscura en su expansión acelerada.

Visto desde lejos, el universo parece bastante homogéneo. De cerca, sin embargo, presenta una inmensa red de filamentos y cúmulos de galaxias separados por grandes vacíos


ASC

La imagen representa una simulación de la red cósmica, la estructura a gran escala del universo. Muestra cómo la materia oscura invisible actúa como un andamio gravitacional, formando extensos filamentos interconectados (en gris oscuro). En los puntos de intersección donde la gravedad es más intensa, la materia ordinaria se acumula, dando origen a cúmulos de galaxias (brillos amarillos y rojos).

zysztof Bolejko han explorado si el efecto de las irregularidades podría explicar una parte del desajuste. Los resultados dependen del modelo y de cómo se promedia la expansión: algunas simulaciones encuentran efectos demasiado pequeños, mientras otras justifican seguir investigando. La existencia de vacíos cósmicos no demuestra, por sí sola, que la tensión esté resuelta. Conviene distinguir ambas escalas.

Una alternativa todavía más radical consiste en revisar la gravedad. La relatividad general ha superado incontables pruebas, pero eso no impide comprobar si necesita modificaciones a escalas cosmológicas. Entre las propuestas figura la teoría de Einstein-Cartan, que incorpora a la geometría del espacio-tiempo una propiedad denominada torsión, relacionada con el espín de la materia. Algunos cálculos exploratorios han sugerido que determinadas versiones pueden modificar la historia de la expansión. Todavía no existe evidencia observacional suficiente para considerarla una solución establecida. Cualquier alternativa tendrá que explicar, además, cómo crecen las galaxias y cómo viaja la luz, sin contradecir los éxitos de Einstein. Una posible prueba consiste en comparar las distancias deducidas del brillo de ciertos objetos con las calculadas a partir de su tamaño aparente. La relación entre ambas, conocida como dualidad de Etherington, está bien definida bajo determinadas condiciones físicas. Algunas extensiones de la gravedad permiten explorar desviaciones observables, aunque detectarlas no sería automáticamente una confirmación de la torsión.

LOS PRÓXIMOS JUECES

La misión Euclid de la Agencia Espacial Europea se lanzó en julio de 2023 y comenzó su cartografiado científico en 2024. Sus publicaciones de datos de 2025 y junio de 2026 muestran ya millones de galaxias, mientras prepara las grandes pruebas cosmológicas sobre materia oscura, gravedad y expansión.

También el telescopio espacial Nancy Grace Roman de la NASA dejó de ser un proyecto futuro: despegó el 30 de agosto de 2026. Durante sus primeras etapas debe completar la puesta a punto de los instrumentos antes de ofrecer nuevas medidas del universo. A estas misiones se suman DESI, el James Webb y futuros análisis de ondas gravitacionales, capaces de proporcionar distancias mediante un procedimiento diferente de la escalera estelar.

Ninguna observación aislada decidirá totalmente el resultado final. Serán las coincidencias —o las contradicciones— entre métodos independientes las que permitan distinguir los errores de medida de una nueva física.

Einstein transformó nuestra idea de la gravedad al explicar anomalías que la teoría de Newton no resolvía, como el avance del perihelio de Mercurio. Un siglo después, la cosmología vuelve a encontrarse ante cifras que no terminan de encajar. Puede que solo falte perfeccionar las mediciones. O puede que el desacuerdo esté revelando algo que todavía no sabemos formular. Lo importante es que, esta vez, el universo nos ofrece numerosas maneras de comprobarlo. □

LA TECNOLOGÍA QUE CAMBIÓ LOS TRATAMIENTOS DE LA PIEL

DOS DÉCADAS DE AVANCES EN EL LÁSER FRACCIONADO NO ABLATIVO DE SOLTA MEDICAL HAN PERMITIDO DESARROLLAR TRATAMIENTOS DERMATOLÓGICOS CADA VEZ MÁS PRECISOS, CAPACES DE ACTUAR SOBRE ZONAS MICROSCÓPICAS DE LA PIEL Y FAVORECER SUS PROCESOS NATURALES DE REPARACIÓN.



Durante las últimas dos décadas, los tratamientos dermatológicos basados en energía han evolucionado hacia técnicas cada vez más precisas. Entre ellas destaca el láser fraccionado no ablativo, una tecnología que permite actuar sobre pequeñas zonas de la piel sin tratar toda su superficie. Su funcionamiento se basa en crear miles de columnas microscópicas de tejido tratado, rodeadas de áreas intactas que favorecen la recuperación. Un avance que ha ampliado las posibilidades de abordar distintas alteraciones cutáneas, desde cicatrices hasta signos de fotoenvejecimiento.

LA CIENCIA DETRÁS DEL LÁSER FRACCIONADO

El láser fraccionado no ablativo de Solta Medical crea zonas microscópicas de tratamiento mediante energía térmica, desencadenando una respuesta natural de reparación que favorece la remodelación del colágeno y puede estimular la producción de elastina. *"La clave está en que no tratamos toda la superficie, sino que dejamos zonas intactas que ayudan a regenerar el tejido"*, explica Adriana Ribé, dermatóloga y fundadora de Ribé Clinic en Barcelona.

Uno de sus principales avances es la capacidad de distribuir la energía de forma controlada. *"El sistema original cuenta con una inteligencia óptica que distribuye la energía de forma uniforme"*, señala Ribé. Además, el ajuste de parámetros como la profundidad y la intensidad permite adaptar el tratamiento a las características de cada paciente.

DE LAS CICATRICES AL FOTOENVEJECIMIENTO

Esta tecnología se emplea para abordar distintas alteraciones cutáneas, como cicatrices de acné, arrugas y determinados problemas de pigmentación. Según Ribé, sus aplicaciones también incluyen cicatrices quirúrgicas y algunas lesiones relacionadas con el daño solar, siempre bajo valoración dermatológica y según las indicaciones del dispositivo.

EL RETO DE TRATAR EL CONTORNO DE OJOS

La región periocular representa uno de los mayores desafíos por la delicadeza de la piel y su proximidad a los ojos. *"La región periocular es especialmente delicada"*, explica Dolores Abelenda, oftalmóloga de la Unidad de Cirugía Oculoplástica y Medicina Estética de la Clínica Oftalmológica Moreiras. *"Por eso necesitamos tecnologías eficaces, pero sobre todo seguras"*.

"*En muchos casos, lo que el paciente percibe como necesidad de cirugía es en realidad una mala calidad de la piel*", añade la especialista. En determinadas situaciones, los tratamientos no ablativos pueden contribuir a mejorar la apariencia cutánea sin recurrir a procedimientos quirúrgicos, siempre tras una evaluación individualizada.

Dos décadas después, el láser fraccionado no ablativo demuestra cómo la investigación tecnológica continúa ampliando las posibilidades de la dermatología, con procedimientos que buscan actuar de forma cada vez más precisa sobre la piel.

Descubre más sobre la tecnología del láser fraccionado no ablativo y sus aplicaciones dermatológicas en reaffirmage.es y en este QR.

POR
JAVIER MORENO
Matemático
y escritor.



EL AUTOR Y LA MÁQUINA

EL DEBATE SOBRE LOS DERECHOS DE AUTOR Y LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PASA AHORA POR DETERMINAR SI UN *PROMPT*, LA INTERVENCIÓN HUMANA, LOS TIENE.

La creación (literaria o visual) haciendo uso de la IA nos confronta con una dimensión estética, pero también ética y jurídica. Asumimos habitualmente que una obra pertenece a alguien. Consideramos que existe una relación especial entre el creador y aquello que ha creado. La inteligencia artificial introduce una perturbación en este modelo. ¿Qué ocurre cuando una imagen, una novela o una película pueden producirse mediante procedimientos en los que intervienen miles de obras anteriores, modelos estadísticos y decisiones humanas de naturaleza muy diversa? ¿Quién es el autor? ¿El programador? ¿El usuario? ¿Los creadores de los materiales utilizados durante el entrenamiento?

LA TECNOLOGÍA HA CONVERTIDO EN UN PROBLEMA PRÁCTICO UNA CUESTIÓN FILOSÓFICA QUE LA CULTURA OCCIDENTAL LLEVA SIGLOS DISCUTIENDO. Veremos de qué manera cada uno de los actores principales en la carrera de la IA (Estados Unidos y China) da respuestas a estas preguntas y cómo esas respuestas determinan en buena medida su progreso en dicha carrera.

Occidente ha desarrollado una parte fundamental de su cultura moderna alrededor de la figura del individuo creador, del autor. El artista, el inventor o el escritor aparecen como sujetos singulares, creadores de una obra que constituye una prolongación de su personalidad. Frente a la tradicional idea de la copia -y la variación en relación al original- como herramienta básica de la tradición artística, el Romanticismo vino a imponer la idea del acto creador como ruptura frente a la tradición. La obra de arte no sería en adelante un tramo añadido al firme camino trazado por la tradición sino un desvío o, mejor, un accidente protagonizado por un individuo singular al que cabría atribuir la originalidad de la creación. Los derechos de autor vinieron a sancionar esa idea del creador como un individuo excepcional capaz de aportar algo nuevo y, por tanto, digno de ser reconocido y protegido por las leyes.

La primera ley moderna de derechos de autor apareció en Gran Bretaña en 1710, con el llamado Estatuto de la Reina Ana. Dicho estatuto introdujo tres principios fundamentales. Por un lado, reconocía al autor como titular inicial de los derechos sobre su obra, aunque podía transferirlos a un editor. Por otra parte, concedía un monopolio de reproducción de catorce años, renovable por otros catorce si el autor seguía vivo. Terminado el período de protección, la obra podía ser reproducida libremente. Aparece así de forma muy clara la idea de que el *copyright* es temporal, no perpetuo.

LOS DERECHOS DE AUTOR VINIERON A SANCIONAR **ESA IDEA DE CREADOR COMO UN INDIVIDUO EXCEPCIONAL** CAPAZ DE APORTAR ALGO NUEVO

Si miramos al ámbito chino, el país asiático no promulgó su primera ley de derechos de autor hasta 1910, dos siglos después.

La historia tecnológica de China no puede comprenderse únicamente mediante sus leyes de propiedad intelectual. Durante años, el *shanzhai* convirtió la imitación en un procedimiento de aprendizaje, adaptación e innovación industrial. Todos hemos visto (y probablemente vestido) alguno de esos productos que imitan la factura de reconocidas marcas occidentales. El *shanzhai* posee una dimensión económica, por supuesto, pero también paródica. Un producto *shanzhai* brilla precisamente por su falta de originalidad. La ingeniería inversa produce como resultado en muchas ocasiones una mercancía desviada que, sobre todo los occidentales, degustamos como un icono de la posmodernidad. Esta tradición no implica que, en contra del prejuicio general, los sistemas de inteligencia artificial chinos usen cualquier material sin tener en cuenta los derechos de autor y, en consecuencia, resulte una ventaja respecto a sus competidores occidentales. En muchos aspectos, las restricciones de uso de material protegido por derechos de autor son más estrictas en China que en Estados Unidos o Europa. La diferencia no radica tanto en la legislación sino en la interpretación de la misma. Es cierto que los tribunales chinos suelen ser muy laxos a la hora de condenar el uso de material con *copyright*, ya que el país asiático entiende como una prioridad el desarrollo de la IA y ello supone cierta tolerancia con el incumplimiento de una ley cuya letra

-no su interpretación-, como decimos, es bastante estricta.

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PLANTEA UNA CUESTIÓN SEMEJANTE A UNA ESCALA RADICALMENTE DISTINTA: ¿hasta qué punto debe poder utilizarse el patrimonio creativo acumulado para producir nuevas obras y tecnologías? ¿Y cómo compatibilizarlo con la justa retribución de los derechos de autor a los creadores? La experiencia china relativa al *shanzhai* no demuestra que prescindir de los derechos de autor garantice la innovación, pero sí invita a investigar cómo las prácticas de imitación, los costes de acceso al conocimiento y la organización industrial condicionan el desarrollo tecnológico.

Uno de los aspectos fundamentales (si no el más importante) en referencia al entrenamiento de las IA es el que tiene que ver con los datos. Sabemos que el acceso a los datos de calidad es la base de toda inteligencia artificial. El estado chino lleva años socializando datos a través de repositorios públicos. Crear una red estatal de datos a los que las empresas puedan acceder es sin duda un factor decisivo en el desarrollo de la inteligencia artificial. Pese a que Estados Unidos posee una mayor cantidad de datos de calidad, los litigios (como el que involucró a *The New York Times* y ChatGPT) por el uso de dichos datos dificultan a la hora de la verdad el acceso a los mismos. China, con un marco de «uso razonable» interpretado de forma flexible por los tribunales y una prioridad estatal declarada por el desarrollo de la IA, impone menos fricción práctica para reutilizar lo que sí tiene, aunque ese material sea más escaso.

Retomando el inicio de este artículo, la cuestión que podríamos abordar a continuación es si un objeto artístico producido con la ayuda de la IA es susceptible de ser protegido por los derechos de autor. Lo habitual es que no lo sea. Esto quiere decir que contemplamos el resultado de un *prompt* (bien sea una imagen, un texto o un clip de vídeo) como algo (por excelente que nos parezca el resultado) que no amerita ningún tipo de protección. La idea básica (podríamos llamarlo prejuicio) es que, si no hubo intervención humana, entonces no podemos otorgarle al resultado carta de autoría. La IA viene a asimilarse así a los talleres renacentistas (pero también chinos) capaces de producir obras interesantes inspiradas en la tradición, pero carentes al fin y al cabo de genuino interés artístico. En principio las leyes europeas y estadounidenses permiten dotar de *copyright* a una obra generada con IA, con la condición de que se demuestre que la intervención humana ha sido decisiva a la hora de producirla. Y ahí es donde aquellos que reivindican la autoría tropiezan con la dificultad de la carga de la prueba. ¿Basta un *prompt* para justificar la intervención humana? No, porque hasta los *prompts* pueden ser generados por la inteligencia artificial. Esa intervención humana debe ser cualitativa y cuantitativamente relevante a la hora de que las leyes otorguen protección a la creación. En el caso de una película, por ejemplo, tanto el guion como la composición deberían estar a cargo del humano, reflejando, según la doctrina del Tribunal de Justicia Europeo, que una obra debe ser una «creación intelectual propia de su autor» y expresar sus «elecciones libres y creativas», así como reflejar la personalidad del autor. En ocasiones la ley protege una parte del trabajo generado con IA pero no la totalidad, como es el caso de la novela gráfica generada con Midjourney *Zarya of the Dawn*: el texto y la selección/disposición de las imágenes de la novela gráfica podían protegerse, pero las imágenes individuales producidas por Midjourney no.



ASC

La imagen objeto del litigio, titulada *The Spring Breeze Brings Tenderness, de la novela generada por Midojurney Zarya of the Dawn*

SI MIRAMOS AHORA A CHINA, NOS ENCONTRAMOS CON UNA LEGISLACIÓN SIMILAR A LA EUROPEA O A LA ESTADOUNIDENSE. De nuevo, la diferencia suele radicar en la interpretación más laxa que los tribunales hacen de esa cosa escurridiza que llamamos intervención humana. Es bien conocido en ese sentido la defensa de un usuario chino que utilizó Stable Diffusion para generar el retrato de una mujer. Después lo publicó en la red social Xiaohongshu. Otra persona lo reprodujo en una publicación sin autorización y eliminó la marca que identificaba al creador. Este presentó una demanda. Los tribunales fallaron a favor del demandante ya que, tras examinar el proceso de creación, constató que el demandante había realizado numerosas decisiones: seleccionó y organizó más de 150 instrucciones o términos de *prompt*, introdujo instrucciones negativas para excluir determinados elementos, modificó parámetros técnicos y realizó sucesivas generaciones y seleccionó el resultado que correspondía a su intención estética. El tribunal consideró que estas decisiones constituían una aportación intelectual original y que la imagen reflejaba una expresión personal.

Sin duda uno de los debates pendientes en el futuro es el relativo a la creación de productos culturales híbridos, facturados con ayuda de IA. No se trata tanto de una cuestión judicial (las leyes, como hemos visto, ya contemplan este caso) sino cultural. Y las batallas culturales, sea cual sea el bando tras el que uno se atrinchere, son las más difíciles de ganar. □

La imagen muestra una representación 3D de bacteriófagos (virus que infectan y se replican dentro de bacterias) interactuando con la superficie de una célula bacteriana.

ISTOCK

BACTERIÓFAGOS

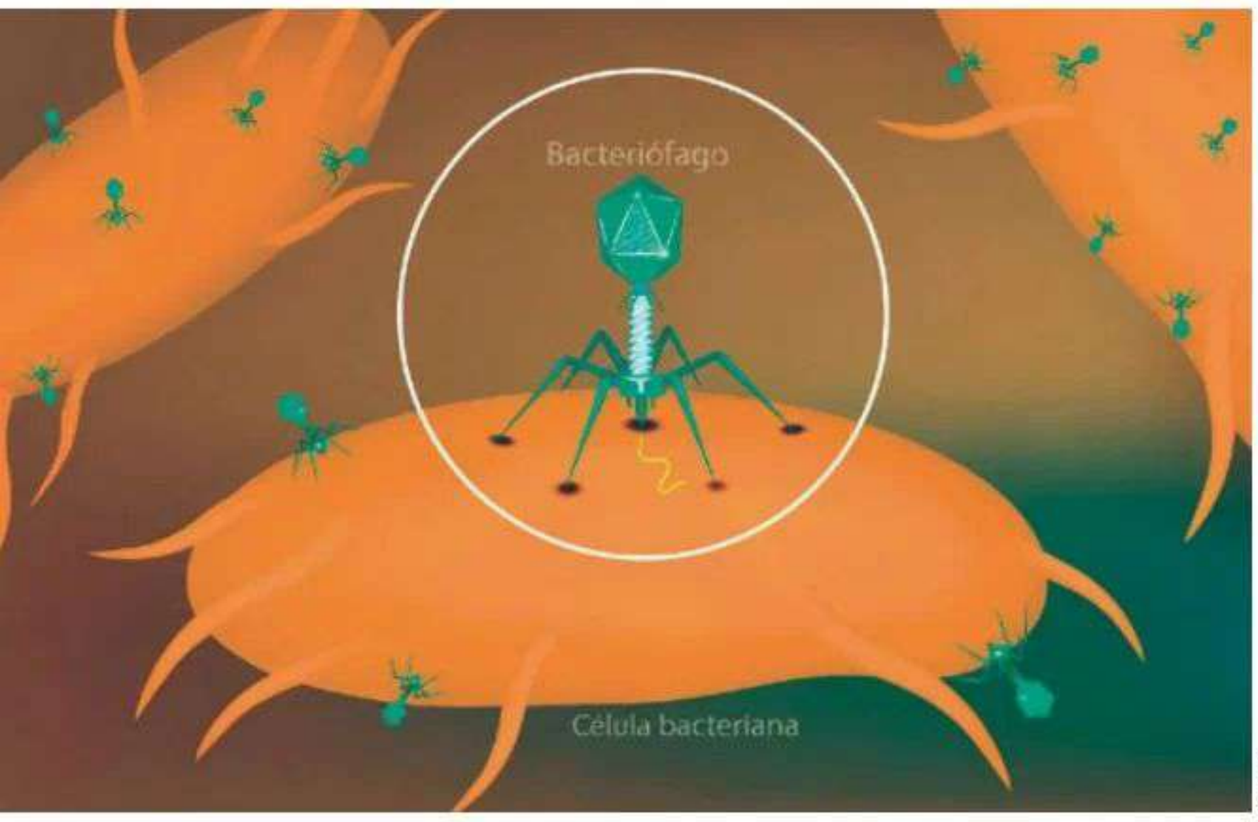
LOS VIRUS QUE PODRÍAN SALVARNOS DE LAS SUPERBACTERIAS

Las bacterias resistentes a los antibióticos amenazan con dejar sin tratamiento infecciones que hasta hace poco podían curarse. Para combatirlas, los investigadores están recuperando una vía terapéutica casi olvidada: utilizar virus capaces de reconocer y destruir bacterias concretas. La fagoterapia ofrece nuevas posibilidades, desde cócteles de virus hasta tratamientos personalizados, pero todavía debe demostrar su eficacia y seguridad.

POR MIREIA ORTEGA, doctora en Biomedicina, licenciada en Bioquímica por la Universidad Autónoma de Barcelona y escritora

Parecen criaturas diseñadas por el mismísimo Lucifer para provocar nuestras peores pesadillas: una cabeza angulosa, un cuerpo diminuto y unas patas ideales para aferrarse a su presa. Pero estos inquietantes seres no pertenecen a ningún mundo de ciencia ficción. Detrás de esa apariencia inquietante y casi alienígena se esconde una de las formas de vida o, al menos, de existencia biológica, más fascinantes que conocemos. Los bacteriófagos, o simplemente fagos, descubiertos hace algo más de un siglo, son virus especializados en infectar exclusivamente bacterias y llevan miles de millones de años librando una batalla microscópica que ocurre prácticamente en todas partes.

Pero, ¿qué hacen exactamente estos pequeños virus? Su función principal es solamente una: infectar bacterias. Para ello, los fagos reconocen una bacteria concreta, se adhieren a su superficie e introducen en ella su material genético. Una vez dentro, utilizan la maquinaria de la propia bacteria para producir nuevas copias de sí mismos. Finalmente, en muchos casos, la bacteria termina rompiéndose y liberando una nueva generación de fagos que puede infectar a otras células.



ISTOCK

Los bacteriófagos tienen una cabeza (cápside) que almacena el material genético (ADN o ARN), una cola helicoidal y fibras en la base que les permiten adherirse a la pared de las bacterias. Actúan de forma específica contra las bacterias, inyectando su material genético para multiplicarse y destruir al microorganismo desde el interior.

Se estima que los fagos son extraordinariamente abundantes. De hecho, podrían ser las entidades biológicas más abundantes del planeta y constituyen una importante fuerza de regulación de las poblaciones bacterianas en numerosos ecosistemas, encontrándose habitualmente y en gran número incluso junto a la propia microbiota que habita en nuestro cuerpo. Sí, los tenemos también dentro de nuestro cuerpo, y desempeñan un papel fundamental en el equilibrio de las poblaciones bacterianas, tanto en su abundancia como en su composición.

Pero es la capacidad de algunos bacteriófagos para destruir bacterias la que ha despertado un enorme interés científico como posible herramienta terapéutica. Así, aquellos organismos microscópicos que a primera vista parecen criaturas aterradoras podrían convertirse, paradójicamente, en aliados frente a algunas de las bacterias más difíciles de tratar.

Desde hace décadas, el uso de antibióticos ha ido acompañado de la aparición de bacterias capaces de resistir su acción. Lo que antes podía parecer una amenaza lejana es hoy una preocupación cada vez más presente: algunas cepas han acumulado resistencia incluso frente a varios antibióticos. En determinados casos han llegado a ser prácticamente resistentes a todos los tratamientos disponibles dejando muy pocas o ninguna opción terapéutica eficaz, lo que llamamos panresitencia.

El problema no solo está en la aparición de estas superbacterias, sino también en la velocidad con la que pueden propagarse. El uso excesivo o inadecuado de antibióticos favorece que las bacterias resistentes sobrevivan, se multipliquen y transmitan sus mecanismos de resistencia a otras bacterias, un proceso llamado transferencia horizontal de genes. Así, cada tratamiento utilizado sin necesidad o de forma incorrecta puede contribuir, poco a poco, a hacer más difícil el tratamiento de futuras infecciones.

Ante este escenario, organismos como la Organización Mundial de la Salud han alertado sobre la necesidad de utilizar los antibióticos con responsabilidad y de frenar la aparición y propagación de bacterias resistentes. Y es precisamente aquí donde los fagos vuelven a cobrar protagonismo: si algunos de estos virus son capaces de reconocer y destruir bacterias de manera muy específica, ¿podrían convertirse en una nueva herramienta para enfrentarnos a aquellas que los antibióticos ya no consiguen eliminar?

Hoy en día se puede afirmar claramente que hay tratamientos prometedores basados en el uso de los

Los fagos podrían ser las entidades bacteriológicas más abundantes del planeta y constituyen una gran fuerza de regulación de las poblaciones bacterianas en numerosos ecosistemas



ISTOCK

En los últimos años, numerosos estudios científicos han demostrado la capacidad de los fagos para destruir bacterias, tanto en experimentos realizados en laboratorio como en modelos animales.

bacteriófagos, lo que se conoce como fagoterapia o terapia fágica.

El descubrimiento de la penicilina y otras familias de antibióticos, hacia la mitad del siglo pasado, relegó el uso de los fagos casi al olvido, lo que provocó una progresión más bien lenta de su investigación, hasta que la creciente aparición de cepas bacterianas resistentes ha rescatado el interés científico no solo de los fagos, sino también de algunos productos codificados por los fagos, es decir, algunas de sus enzimas.

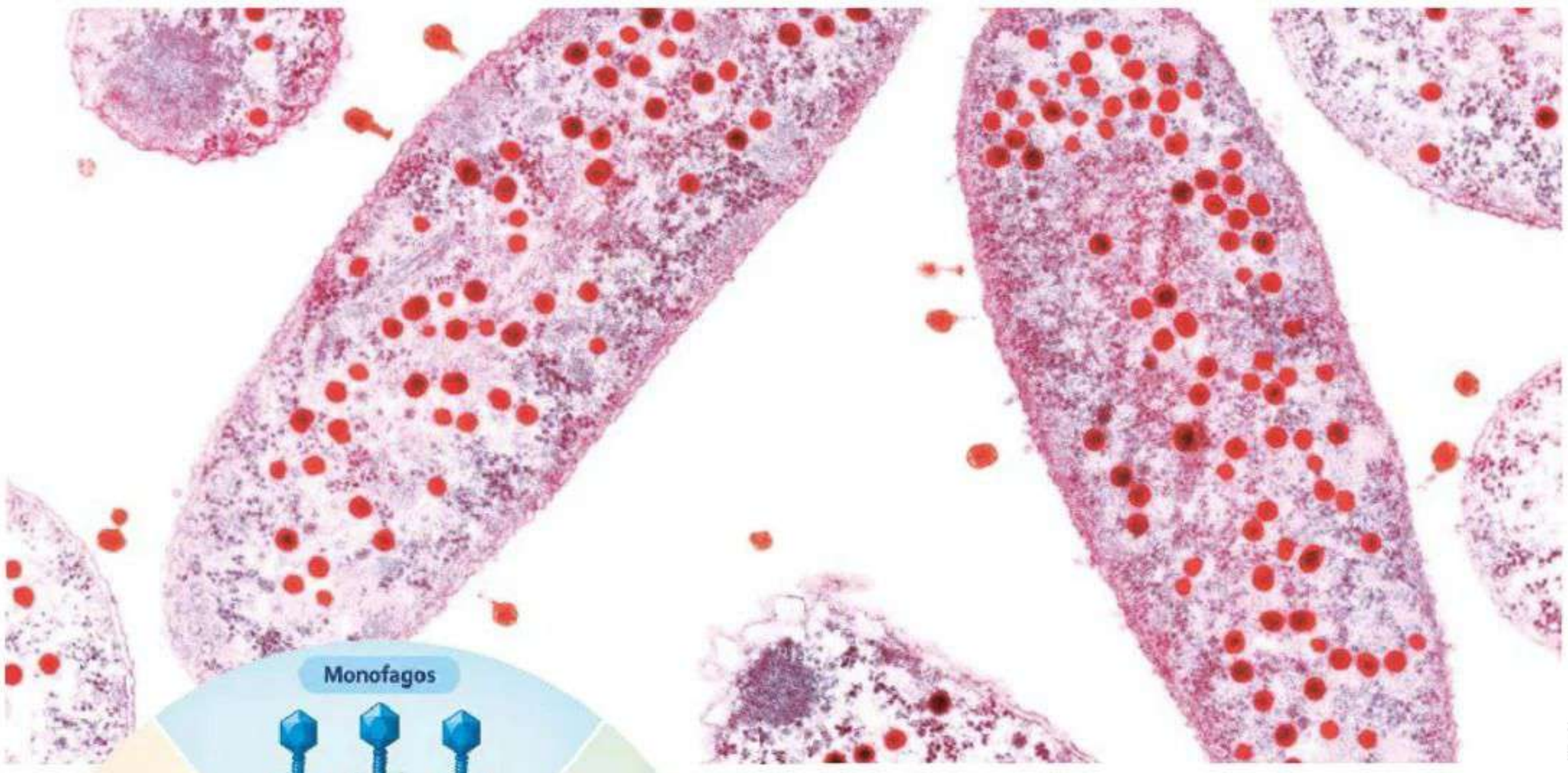
En los últimos años, numerosos estudios científicos han demostrado la capacidad de los fagos para destruir bacterias, tanto en experimentos de laboratorio como en modelos animales. Además, algunos tratamientos basados en fagos ya han llegado a ensayos clínicos en humanos, con resultados que, en algunos casos, resultan prometedores.

Una de las principales ventajas de los fagos frente a los antibióticos tradicionales es su precisión. Mientras que los antibióticos pueden afectar tanto a las bacterias que causan una infección como a otras bacterias beneficiosas de nuestro organismo, los fagos suelen reconocer y atacar únicamente a determinados tipos de bacterias sin «molestar» a las demás. Esto significa que podrían eliminar al microorganismo responsable de una infección concreta sin alterar de la misma manera el resto de la microbiota.

Esta capacidad de actuar de forma tan específica convierte a los fagos en una alternativa especialmente interesante en un momento en el que cada vez resulta más difícil combatir algunas infecciones bacterianas con los tratamientos habituales del mercado. Lo que comenzó como una curiosidad de la microbiología podría convertirse en una nueva forma de enfrentarnos a las bacterias resistentes y, por lo tanto, a solucionar un problema mayúsculo de carácter mundial.

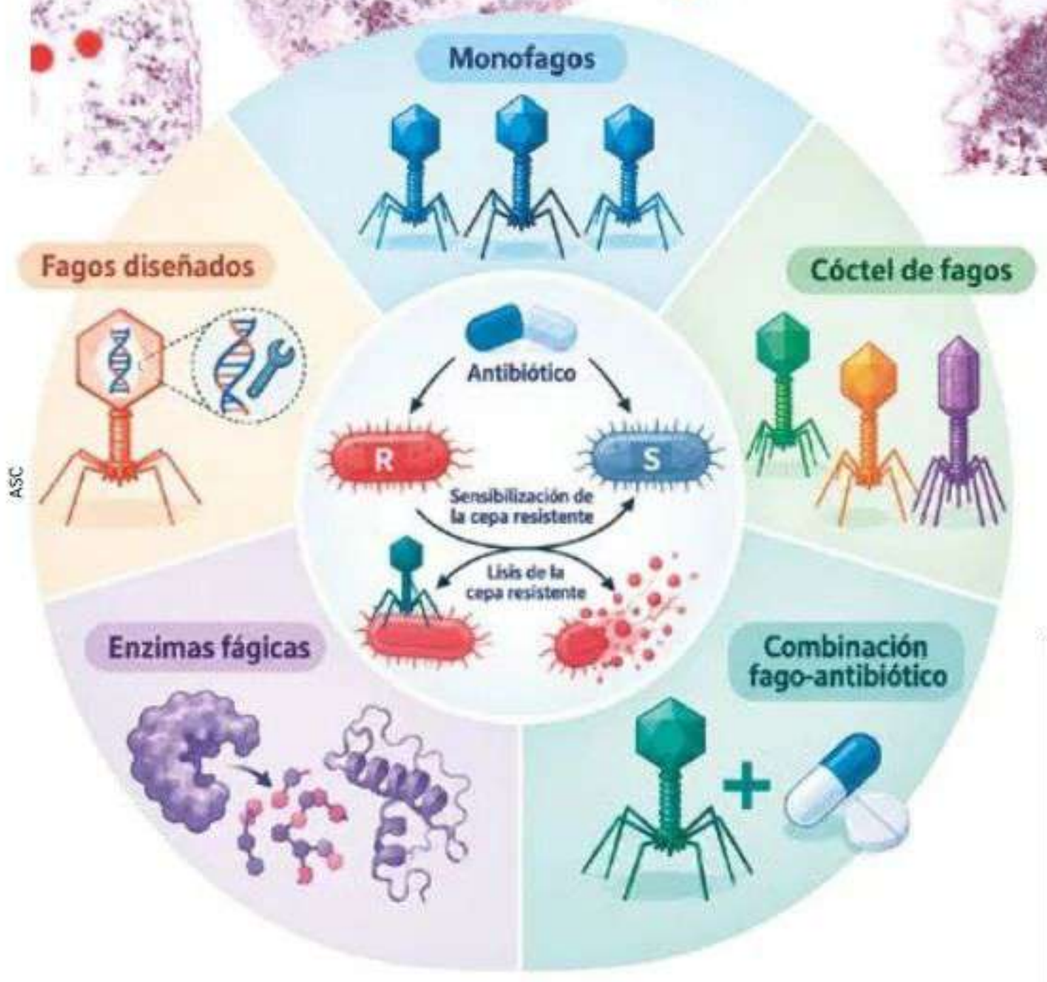
Sin embargo, no todo es tan bonito como parece. Las bacterias, a través de distintos mecanismos, también pueden desarrollar resistencia frente a los propios fagos. Para evitarlo, una de las estrategias que se estudia es utilizar varios fagos diferentes al mismo tiempo, formando lo que se conoce como un cóctel de fagos. La idea es sencilla: si una bacteria consigue desarrollar una mutación que le permita escapar de uno de ellos, todavía tendrá que enfrentarse a los demás. De este modo, en lugar de depender de un único fago, se pueden combinar varios con características diferentes. Es una especie de estrategia de ataque múltiple que dificulta que las bacterias encuentren una vía de escape.

De hecho, la enorme diversidad de fagos que existe en la naturaleza permite buscar aquellos capaces de atacar de forma especialmente eficaz a una determinada bacteria. Existen una enorme cantidad de fagos diferentes, cada uno con características y capacidades propias. Esto convierte a la naturaleza en una especie de enorme biblioteca de posibles herramientas contra las bacterias. No solo eso, sino que, a medida que avanzan las nuevas tecnologías de biología sintética, los investigadores pueden estudiar y modificar estos virus para desarrollar tratamientos cada vez más específicos.



ALBUM

Micrografía electrónica de transmisión (TEM) de bacterias *Escherichia coli* infectadas por bacteriófagos T4 (puntos rojos). Estos virus se adhieren a las bacterias e introducen su ADN, utilizando la maquinaria celular para producir nuevas copias de sí mismos. Finalmente, la bacteria se rompe y libera los nuevos fagos, que pueden infectar otras células. Ampliación: 15.748 aumentos en una impresión de 10 cm de ancho.



ASC

Esta infografía muestra las diferentes estrategias de la fagoterapia. Los bacteriófagos pueden combatir las bacterias resistentes a los antibióticos de dos maneras: destruyéndolas mediante su ciclo de reproducción o haciendo que recuperen la sensibilidad a determinados antibióticos. R: bacteria resistente; S: bacteria sensible.

Otra de las ventajas de los fagos es que, además de diversos, son extraordinariamente abundantes y se encuentran prácticamente en cualquier lugar del planeta. Esta enorme disponibilidad facilita su búsqueda y obtención, y abre la puerta a encontrar nuevos fagos capaces de atacar bacterias concretas.

En el futuro, esta combinación de abundancia, diversidad y tecnología podría permitir diseñar terapias adaptadas a cada infección, seleccionando o modificando los fagos más adecuados para atacar a la bacteria responsable. En lugar de utilizar un tratamiento general para muchas infecciones diferentes, la idea sería avanzar hacia una medicina más precisa y personalizada, capaz de elegir el arma adecuada para cada bacteria.

La fagoterapia no es solo una posibilidad que se estudia en los laboratorios. En algunos países ya se han utilizado fagos de forma excepcional para tratar a pacientes con infecciones graves causadas por bacterias multirresistentes, cuando los antibióticos disponibles habían dejado de ser una opción eficaz.

Aun así, los fagos no son una solución mágica y definitiva y todavía existen importantes retos antes de que su uso pueda generalizarse. Que los fagos sean muy específicos es bueno porque nos permite atacar solo la bacteria que queremos eliminar, sí, pero también significa que es necesario encontrar el adecuado de entre todos los que existen. Pero es que, además, de la resistencia que podrían desarrollar las bacterias, nuestro organismo también puede eliminar los fagos mediante su sistema inmunitario y todavía falta investigación para establecer los tratamientos más seguros y eficaces. Por ello, aunque los resultados son prometedores, aún quedan retos por superar antes de que la fagoterapia pueda utilizarse de forma generalizada. En resumen: es necesario seguir investigando cómo seleccionar los fagos adecuados, cómo administrarlos y cómo evitar que las bacterias desarrollen resistencia frente a ellos.

Aun así, ante el avance de las bacterias resistentes, la fagoterapia representa una vía de investigación cada vez más relevante. Quizá el futuro de la lucha contra estas superbacterias no dependa de encontrar un sustituto único para los antibióticos, sino de combinar distintas estrategias y aprender a utilizar cada herramienta en el momento adecuado. □

¿CÓMO CONSIGUE UNA CERVEZA MANTENER VIVOS 1.000 MILLONES DE PROBIÓTICOS DURANTE NUEVE MESES? LA INVENCIÓN ESPAÑOLA QUE YA TIENE PATENTE

AMBAR TRIPLE ZERO® PROBIÓTICA COMBINA BIOTECNOLOGÍA Y TRADICIÓN CERVECERA EN UNA CERVEZA CON 00 ALCOHOL Y 0 AZÚCAR QUE MANTIENE VIABLES SUS MICROORGANISMOS SIN NECESIDAD DE REFRIGERACIÓN. UNA PROPUESTA QUE UNE INNOVACIÓN, FUNCIONALIDAD Y DISFRUTE.



¿Pueden mil millones de microorganismos permanecer viables durante meses dentro de una cerveza sin necesidad de refrigeración? La respuesta está en una innovación desarrollada por Cervezas Ambar. Ambar Triple Zero® Probiótica combina tres características poco habituales en una misma bebida: 00 alcohol, 0 azúcar y 1.000 millones de probióticos. El verdadero desafío científico no consistía únicamente en incorporarlos, sino en conseguir que conservaran su viabilidad a largo plazo sin alterar la experiencia cervecera.

EL SECRETO ESTÁ EN LAS ESPORAS

La clave se encuentra en *Bacillus subtilis* HU58®, una cepa desarrollada por la compañía biotecnológica Novonesis. Esta bacteria tiene la capacidad de formar esporas, estructuras resistentes que le permiten permanecer en estado latente hasta encontrar condiciones favorables para su actividad.

La ausencia de azúcar es otro elemento fundamental de la innovación. Según explican desde Ambar, la combinación de una formulación con 00 alcohol y 0 azúcar con la resistencia natural de estas esporas permite conservar su viabilidad durante al menos nueve meses, sin necesidad de refrigeración. Para conseguirlo, la compañía lleva perfeccionando desde 2022 un proceso de fermentación completa que elimina el azúcar sin renunciar a las características de la cerveza.

«La patente reconoce algo muy importante: no solo que hemos desarrollado una cerveza con probióticos, sino que hemos encontrado una forma de mantenerlos vivos y estables a largo plazo dentro de Ambar Triple Zero®. Ahí es donde realmente reside la invención que hace posible que todo el mundo pueda disfrutar de ella», explica Antonio Fumanal, responsable de I+D de Cervezas Ambar.

¿QUÉ HACE DIFERENTE A ESTA INVENCIÓN?

La Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) ha concedido una patente a esta tecnología al reconocer su novedad, actividad inventiva y aplicación industrial. Según la resolución facilitada por la compañía, los antecedentes analizados mostraban pérdidas significativas de viabilidad de los probióticos con el paso del tiempo. La solución desarrollada por Ambar, en cambio, consigue mantener estables los niveles de esporas y presenta una combinación tecnológica que no resultaba evidente a partir de los conocimientos disponibles.

Pero el alcance de esta innovación va más allá del laboratorio. Ambar Triple Zero® Probiótica traslada los probióticos a un terreno hasta ahora poco habitual: el del ocio y los encuentros sociales. La bebida, que incorpora también fibra prebiótica y no contiene gluten, combina la funcionalidad con el disfrute de una cerveza. Una propuesta que conecta con una nueva cultura de consumo, en la que cada vez más personas buscan alternativas con 00 alcohol sin renunciar a los momentos compartidos.

El lanzamiento coincide, además, con el 50 aniversario de Ambar Sin, presentada en 1976 como la primera cerveza sin alcohol de España. Entonces, la innovación abrió una nueva manera de disfrutar de la cerveza. Medio siglo después, la concesión de esta patente incorpora un nuevo capítulo a la trayectoria investigadora de Ambar y plantea un horizonte diferente: el de una bebida capaz de incorporar nuevas funcionalidades sin perder aquello que la hace reconocible. Una muestra de cómo la biotecnología puede ampliar las posibilidades de una tradición cervecera con más de 125 años de historia.

POR MANUEL MARTÍN-LOECHES
Doctor en Psicobiología. Responsable de la Sección de Neurociencia Cognitiva del Centro Mixto UCM-ISCIII de Evolución y Comportamiento Humanos.



DOS (Y NO TRES) EN UNO

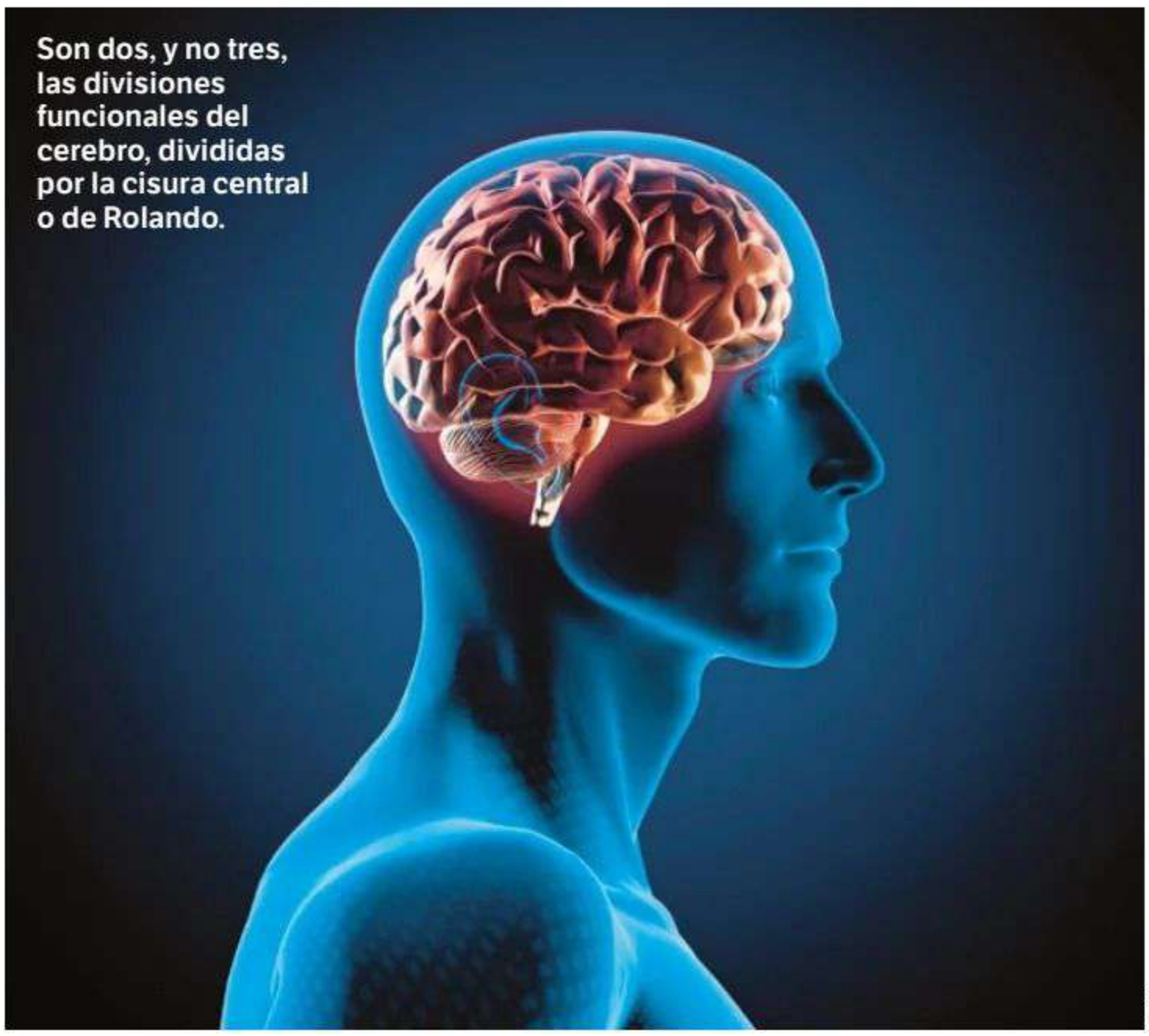
LA NEUROCIENCIA HA DESMONTADO LA IDEA DEL CEREBRO HUMANO COMO LA SUMA DE TRES CEREBROS: REPTILIANO, EMOCIONAL Y RACIONAL. AHORA PROPONE UNA DIVISIÓN INESPERADA.

Aún hoy me sigo encontrando gente que cree que el cerebro es *triuno*. Según esta propuesta, que debemos a Paul McLean, habría un *cerebro reptiliano* ocupando las partes más inferiores del encéfalo, básicamente el tronco cerebral y el cerebelo, y se encargaría de conductas instintivas, rutinas y comportamientos básicos de supervivencia. Por encima de él tendríamos el cerebro paleomamífero o sistema límbico, generalmente asociado a emociones y abarcando estructuras que están por debajo de la corteza cerebral, que constituiría el «tercer» cerebro, llamado *neomamífero* y en el que los seres humanos destacaríamos porque es eminentemente cognitivo. Nada o casi nada de esta división se sostiene hoy día. Encontramos áreas relacionadas con las emociones tanto en el sistema límbico como en la corteza, y es que emoción y cognición son en gran medida inseparables. También encontramos que la supervivencia depende igualmente de estructuras que están más arriba del tronco del encéfalo. Así que, por favor, dejemos de hablar de cerebro reptiliano, que además deja en muy mal lugar a estos animales, algunos de los cuales evolucionaron a aves y algunas de ellas son muy listas.

PERO LA VERDAD ES QUE LAS DIVISIONES DEL CEREBRO EN VARIOS SISTEMAS QUE TRABAJAN EN EQUIPO SUELEN TENER CIERTO ATRACTIVO. Y algunas propuestas son no solo realmente interesantes, sino que parecen indicar realidades que nos permiten entender mejor al cerebro. Por ejemplo, si miramos la típica imagen del cerebro humano en una vista lateral, de perfil, y nos fijamos en la corteza cerebral, veremos una gran hendidura en sentido aproximadamente vertical, aunque un tanto oblicuo, que va desde la parte más superior hasta aproximadamente la mitad, donde comienza ya el lóbulo temporal. Esa hendidura se conoce como cisura central o de Rolando y divide el cerebro en dos mitades, dos mundos, que resumen muy bien las principales funciones de la corteza cerebral: la parte anterior se dedica a la acción, la posterior (incluido el lóbulo temporal) a la percepción. Así, todo el lóbulo frontal se encargaría, en general, no solo de dar las órdenes que mueven nuestros músculos, sino de coordinarlos, y de planificar, incluso a largo plazo, acciones y comportamientos, por muy complejos que sean. Los lóbulos parietal, occipital y temporal, por su parte, se enfocarían en la percepción somatosensorial (el tacto), la vista y el oído, y en analizar en profundidad, en elevados niveles abstracción, estas informaciones. Serían por tanto dos y no tres las principales divisiones funcionales del cerebro, y me suele gustar recalcar que muchas de las estructuras que tienen que ver con las emociones y que están debajo de la corteza se sitúan sobre todo en la parte anterior, como si lo emocional y las acciones estuvieran estrechamente vinculados.

MUCHAS DE LAS ESTRUCTURAS **QUE TIENEN QUE VER CON LAS EMOCIONES Y QUE ESTÁN DEBAJO DE LA CORTEZA,** SE SITÚAN EN LA PARTE ANTERIOR

LO CIERTO ES QUE ESTA DIVISIÓN ANTERIOR-POSTERIOR TIENE YA UNOS AÑOS Y, AUNQUE EN UN PORCENTAJE ALTO SE AJUSTA A LA REALIDAD, NO LO HARÍA AL 100 %. Otra posibilidad, sugerida más recientemente, dividiría la corteza cerebral también en dos partes, pero una de ellas sería superior y la otra inferior. En términos anatómicos, dorsal y ventral, respectivamente, aunque estos nombres resulten poco intuitivos en nuestro cerebro por nuestra postura bípeda y la inclinación en ángulo de este respecto a la médula espinal. Esta división incidiría en que la parte superior se encargaría de entender, coordinar y procesar acciones, situaciones dinámicas, movimientos. Estaría constituida principalmente por el lóbulo parietal y las partes superiores de los lóbulos occipital y frontal. En la parte inferior tenemos principalmente al lóbulo temporal y las partes inferiores del occipital y el frontal, incluyendo (y de manera importante) las partes basales, las que se verían desde abajo. La misión de esta mitad sería la de percibir el mundo y determinar el valor de las cosas que percibimos, si son buenas o malas, deseables o no.



Son dos, y no tres, las divisiones funcionales del cerebro, divididas por la cisura central o de Rolando.

ISTOCK

MUY RECIENTEMENTE, INVESTIGADORES DE LA UNIVERSIDAD DE STANFORD HAN SUGERIDO OTRA INTERESANTE DIVISIÓN DE NUESTRO CEREBRO, hasta el punto de que se ha anunciado como si tuviéramos «dos cerebros en uno». Bueno, esto sería más bien una metáfora, ya que el cerebro es uno y todas sus partes están bien coordinadas y ensambladas, lo dividamos como lo dividamos. Lo cierto y más correcto sería que hay una parte del cerebro que tiene un origen embrionario distinto del de la otra parte, aunque ambas se fusionen durante el desarrollo.

Hasta ahora, se creía que todo el cerebro tenía un origen celular único y común, que posteriormente se diferenciaba en sus distintas estructuras. El nuevo hallazgo, sin embargo, nos dice que muy al principio del desarrollo embrionario habría dos trayectorias de desarrollo distintas. Una estaría asociada a la expresión del gen Orx2, y daría lugar al prosencéfalo y el mesencéfalo. El primero es una estructura embrionaria que acaba dando lugar a los hemisferios, con la corteza cerebral y estructuras subcorticales, incluyendo ganglios basales y sistema límbico. El segundo es parte del tronco del encéfalo, e incluye núcleos que tienen que ver con la regulación de algunos movimientos, de la atención y los sistemas visual y auditivo. La otra trayectoria se asocia a la expresión del gen Gbx2 e incluye básicamente el llamado romboencéfalo, estructura embrionaria que da lugar al resto del tronco del encéfalo –protuberancia y bulbo raquídeo- y el cerebelo. Entre sus funciones hay algunas complementarias de las del mesencéfalo. Este «segundo cerebro» se continuaría con la médula espinal.

DESCUBRIR ESTA DIVISIÓN NO HA SIDO NADA FÁCIL, Y SE HA CENTRADO EN TRES APROXIMACIONES. Por un lado, en el trazado de linajes celulares en embriones de ratón. En una etapa muy temprana del desarrollo embrionario, las células se organizan para formar tres capas. Una de estas, el ectodermo, dará lugar a la piel y al sistema nervioso. Pues bien, durante este proceso de organización celular, llamado gastrulación, ya detectaron que había dos tipos distintos de células precursoras, dependiendo de si su destino final iba a ser una u otra parte del cerebro. El siguiente paso consistió en confirmar lo anterior, generando ambos tipos de células precursoras y estudiando por separado sus procesos de diferenciación (de desarrollo). Por último, analizaron la cromatina celular. Esto se refiere a cómo está empaquetado el ADN dentro del núcleo de la célula: normalmente el ADN está compactado, pero se desenrollan (desespiralizan) partes que va a ser usadas para construir proteínas. Las dos poblaciones mostraban configuraciones diferentes, compatibles con sus diferentes destinos.

Los investigadores, por los genes implicados y otros indicios, consideraron que muy probablemente esta división se puede remontar a hace aproximadamente 550 millones de años, habiéndose conservado desde entonces, desde los hemicordados (animales marinos invertebrados pero próximos evolutivamente a los vertebrados) hasta los mamíferos. Lo cierto es que no se sabe mucho más, y sería interesante indagar en el origen de esta simbiosis, y en las posibles razones que la motivaron.

Lo cierto es que el descubrimiento no es baladí, pues abre las puertas no solo a conocer más entresijos de nuestro cerebro, sino a la posibilidad de generar tratamientos más acertados para diversas enfermedades neurológicas. Por ejemplo, queda en evidencia la importancia de utilizar uno u otro tipo de células precursoras para tratar trastornos, dependiendo de en qué parte del cerebro o el sistema nervioso se encuentre el problema. Así, tratamientos para la esclerosis lateral amiotrófica (ELA) o la atrofia muscular espinal requerirían células precursoras del segundo cerebro y no del primero.

Qué curiosa es la naturaleza, que unifica sistemas por un bien común. Me recuerda mucho a la simbiosis que parece que se produjo hace 1500-2000 millones de años entre una bacteria y una célula ancestral, dando lugar aquella a nuestras mitocondrias e impulsando la aparición de las células eucariotas. Sin ellas no existiríamos. La naturaleza no tiene propósitos, pero es muy sabia. Tiene todo el tiempo del mundo para hacer sus cosas. En todo caso, lo que sí que parece que no hizo fue dar lugar a un cerebro triuno. Al menos no como nos lo han contado. □

PSICOLOGÍA

LA CIENCIA DE LA MOTIVACIÓN

Una buena dosis de dopamina en el circuito de recompensa del cerebro tiene la culpa. Pero no es solo cuestión de química: por suerte, la llave está en nuestras manos. Cualquier actividad que realicemos, sobre todo, si es nueva y emocionante, sirve para poner en marcha el engranaje de la ilusión. Así es, para romper con la apatía, solo tienes que levantarte del sofá y apagar la tele.

POR LAURA G. RIVERA,
periodista científica

Intentar ser mejor cada día es un buen motivo para activarse. Pero no se trata de competir con los demás, sino de superar tus propias marcas y alcanzar tus propios objetivos.

ISTOCK

Hoy no te quieres levantar. ¿Para qué? Hace frío. Estás cansado. No tienes ganas. Es todo un aburrimiento, siempre lo mismo, y te sumerges con pereza en el móvil todavía un rato más, presa del tedio más absoluto, para no pensar. Si hay que ir, se va, pero ir para nada.... En esas estás, hundido en la apatía, cuando, de pronto, un torbellino de energía irrumpe en la habitación: «¡Papá! ¡He hecho tortitas! ¡Hoy he quedado con la prima Clara! ¿Le puedo llevar una? ¡Por fin está lloviendo! ¡Quiero salir! ¡Me he puesto el chubasquero nuevo! ¿No dijiste que querías acompañarnos? ¡Vamos, corre! ¡Que yo ya estoy preparada!».

Dos formas de empezar el día muy diferentes que, seguramente, tienen que ver con algo que ocurre dentro de las dos seseras. «Nuestra vida es la vida de nuestro cerebro», recuerda a MUY Ignacio Morgado, catedrático emérito de Psicobiología y exdirector del Instituto de Neurociencias de la Universidad Autónoma de Barcelona. ¿Y qué tiene la pequeña ilusionada que no tengas tú? Posiblemente, una clave podría estar en las neuronas del área tegmental ventral de su encéfalo, cuyas prolongaciones están liberando dopamina con generosidad en otra región vecina, el núcleo accumbens, en el cuerpo estriado. Este neurotransmisor es, sin duda, la estrella del cotarro, «relacionado con crear motivación e incentivos. Nos hace capaces de movernos, trabajar, actuar o esforzarnos. Cuando se produce el suficiente en el cerebro, nos lleva a ir a buscar el placer allí donde esté», explica Morgado, que lleva décadas estudiando este fenómeno y es autor del libro *Deseo y placer: La ciencia de las motivaciones* (Ariel, 2019). «Durante un tiempo, pensamos que la dopamina era la encargada de producir placer porque, en nuestros experimentos, las ratas la liberaban cuando hacían algo que les resultaba agradable», recuerda. Sin embargo, diversos estudios pioneros, publicados desde finales de los años noventa, cambiaron las tornas al demostrar que los roedores conservaban sus respuestas de placer incluso cuando sus niveles cerebrales de dopamina se reducían drásticamente.

Hoy sabemos que lo mismo ocurre con los enfermos de párkinson: tienen un alto déficit de este neurotransmisor, pero no por ello dejan de disfrutar de la sensación de algo agradable... aunque sí suelen mostrar poco interés para esforzarse en conseguirlo. Al contrario, en algunos pacientes tratados con medicamentos dopaminérgicos, especialmente con agonistas de la dopamina, pueden aparecer alteraciones del control de los impulsos que se manifiestan como «motivación compulsiva por actividades como pasatiempos, juegos, compras, pornografía o internet en general», apunta este experto. Precisamente, aquí está la clave: «La dopamina es la sustancia que produce ilusión, lo que te da ganas de ir a buscar lo que te gusta», recalca Morgado.

Ahora, los científicos tratan de descifrar qué hace que en unas personas la dopamina fluya con más



ISTOCK

Los niños son el mejor ejemplo de motivación: su curiosidad es un excelente estímulo para la producción de dopamina que les lleva a estar tan activos. Todo les sirve de motivación y les ilusiona.

La dopamina aumenta cuando somos estimulados por toda clase de novedades, cuando ocurren cosas nuevas e inesperadas en nuestro entorno, los llamados errores de predicción

alegría que en otras. Por el momento, todo apunta a que «la variedad, el cambio, el moverte, el darle a tu mente estímulos y circunstancias nuevas» catapultan y retroalimentan su producción. «Aumenta cuando somos estimulados por toda clase de novedades, es decir, cuando ocurren cosas nuevas e inesperadas en nuestro entorno, lo que la neurociencia llama error de predicción», dice Morgado. Es un círculo vicioso que también funciona al revés. «Si vives una vida aburrida, siempre haces lo mismo... entonces, tendrás cero dopamina», advierte Morgado. Si no tienes ganas de ni de ir a dar un paseo, porque crees que no servirá para nada, no te mueves y, con eso, solo consigues tener menos ganas de hacer cosas. «A veces, hay que obligarse un poco, cuando conoces cómo funciona el cerebro, sabes que activarte te va a hacer sentir mejor, va a cambiar tu mente», aconseja Morgado.

En este sentido, el neurocientífico hace hincapié en la importancia de tener relaciones sociales, sobre todo, para las personas mayores, ya que la soledad puede contribuir a la pérdida de motivación y alterar el funcionamiento de los circuitos cerebrales relacionados con la recompensa. Al mismo tiempo, explica por qué los confinamientos y las restricciones sociales durante la pandemia de COVID-19 pudieron contribuir a una pérdida de estímulos, relaciones y actividades, favoreciendo la apatía y el aburrimiento en muchas personas. «Hemos perdido muchas relaciones sociales al estar encerrados, se nos han cerrado muchas puertas para salir, viajar. Y, sin esas cosas, no hay dopamina», dice Morgado. Porque, como señala este experto, «necesitamos continuamente mantener una relación bidireccional de entrada y salida de estímulo, entre el cerebro y el exterior que nos rodea. Si lo cortas, se empobrece el funcionamiento general de tu organismo».

RESPUESTA AL ESFUERZO

La dopamina desempeña un papel fundamental en la motivación y en nuestra disposición a esforzarnos para conseguir una recompensa. Sin embargo, su funcionamiento es más complejo de lo que podría parecer, como mostró un estudio publicado en 2012 por investigadores de la Universidad de Vanderbilt (EE. UU.). En un experimento liderado por los psicólogos Michael Treadway y David Zald se observó bajo el escáner la cabeza de 25 voluntarios con distinta disposición a esforzarse para realizar una tarea a cambio de una recompensa. Para su sorpresa, los investiga-



SHUTTERSTOCK

La soledad es el peor enemigo de las personas mayores, que necesitan animarse a salir y relacionarse para no perder sus ganas de vivir. Sin relaciones sociales se pierden estímulos y, con ellos, la generación de dopamina.



Cuanto más nos esforzamos, mayor es la respuesta cerebral a la recompensa

Por qué una recompensa puede resultar más estimulante cuando hemos tenido que esforzarnos para conseguirla? Un estudio de la Universidad de Stanford, publicado en enero de 2026 en la revista *Nature*, ha descubierto un mecanismo cerebral que podría ayudar a explicarlo. Los investigadores realizaron experimentos con ratones que debían trabajar más o menos para obtener una misma recompensa: una solución azucarada. Comprobaron que, cuanto mayor había sido el esfuerzo, más intensa era la liberación de dopamina en el núcleo accumbens, una región cerebral fundamental para la motivación. La clave estaba en otro neurotransmisor, la acetilcolina, cuya liberación aumentaba tras las tareas más exigentes y potenciaba la respuesta dopaminérgica. Cuando los científicos bloquearon este mecanismo, disminuyó la disposición de los animales a esforzarse, aunque seguían consumiendo las recompensas fáciles.

Los resultados, todavía obtenidos en animales, revelan que la motivación no depende únicamente de lo que esperamos conseguir: el esfuerzo invertido también influye en los circuitos cerebrales que nos impulsan a seguir actuando.



SHUTTERSTOCK

Varios estudios han demostrado que los objetivos de competición mejoran el aprendizaje de cualquier práctica, académica o deportiva, a corto plazo, pero los objetivos de desarrollo individual facilitan el aprendizaje a largo plazo.

dores se toparon con que la respuesta dopaminérgica se relacionaba de manera diferente con la disposición al esfuerzo según la región cerebral estudiada. En los más motivados, la actividad dopaminérgica era muy alta en dos áreas vinculadas a la motivación y el circuito de recompensa: el cuerpo estriado y el córtex ventromedial prefrontal.

Mientras, en los más apáticos, se observó una asociación opuesta entre la respuesta dopaminérgica y la disposición al esfuerzo en otra parte de la sesera, la ínsula anterior –relacionada con las emociones y la percepción del riesgo–. «Los resultados sugieren que tener más dopamina en esta zona se asocia a un menor deseo de trabajar, aunque eso implique ganar menos dinero. El hecho de que este neurotransmisor pueda tener efectos opuestos en distintas partes del cerebro complica las cosas en relación al uso de medicación para tratar el TDAH, la depresión y la esquizofrenia –todos ellos trastornos caracterizados por ausencia de motivación–, porque pone en tela de juicio la presuposición general de que los fármacos dopaminérgicos tienen el mismo efecto en todo el cerebro», escribían los autores en el *Journal of Neuroscience*.

Por otra parte, un estudio publicado en 2020, realizado por investigadores de la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL), en Suiza, con la colaboración de la Universidad de Edimburgo, examinó el papel de otras dos sustancias relacionadas con el metabolismo cerebral: la glutamina y el glutamato. Este último también actúa como neurotransmisor. Un equipo en el que participaron Carmen Sandi y Gediminas Luksys analizó qué pasaba en el núcleo accumbens –una parte del cuerpo estriado del cerebro– de 43 voluntarios inicialmente reclutados, de los cuales se obtu-



Lo más efectivo para conseguir superarse es no intentar competir con los demás, sino intentar mejorar como motivo de superación personal. ISTOCK

La capacidad de mantenernos motivados a lo largo de un periodo largo de tiempo está relacionada con la proporción entre glutamina y glutamato

vieron datos válidos para el análisis de 27, que tenían que desempeñar una tarea mecánica larga, cansada e intensa a cambio de dinero. Su conclusión fue que la capacidad de mantenernos motivados a lo largo de un periodo largo de tiempo estaba relacionada con la proporción entre glutamina y glutamato. «Nuestro enfoque podría ayudar a desarrollar terapias que apunten al metabolismo, incluyendo intervenciones nutricionales, para tratar las dificultades para mantener el esfuerzo», señalaban Sandi y Luksys.

DESEO DE SUPERACIÓN

Como complemento al enfoque neuroquímico, desde la psicología, otros estudios se centran en el aprendizaje y en la toma de decisiones, dos actividades humanas que están directamente relacionadas con nuestro grado de motivación. El psicólogo Kou Murayama, profesor de Psicología de la Educación en la Universidad de Tubinga (Alemania), donde desarrolla su trabajo en el Instituto Hector de Investigación Educativa Empírica, dirige el Laboratorio de Ciencia de la Motivación, donde ha investigado cómo esta puede influir en la educación con distintos matices. En un experimento, demostró, por ejemplo, que no es lo mismo si tu objetivo es aprender por aprender y desarrollar tus habilidades o si lo que quieres es ser mejor en comparación con los demás. A los participantes se les asignaba una tarea que tenían que resolver. Mientras a la mitad se les informó de que iba a medirse cómo evolucionaba su habilidad cognitiva a lo largo de la tarea, a la otra mitad se les dijo que se iban a puntuar sus logros en relación al resto de voluntarios. Luego, a ambos grupos se les hacía un examen para ver lo que habían aprendido durante su tarea. Y aquí viene lo curioso: los que debían competir con sus compañeros sacaron mejor puntuación que el otro grupo, pero, cuando se les repitió el examen una semana después, los que habían intentando mejorar sin competir tuvieron de media una nota más alta que los primeros.

«Estos resultados indican que los objetivos de competición mejoran el aprendizaje a corto plazo, mientras los objetivos de desarrollo individual facilita el aprendizaje a largo plazo», concluye Murayama. En otro estudio de su equipo, los datos obtenidos de 3000 niños alemanes en segundo ciclo de primaria corroboraban esta tesis. «Los que señalaron la afirmación "Me esfuerzo en matemáticas porque quiero sacar buenas notas" solían conseguir su propósito en ese curso, mientras los que marcaron la opción "Me esfuerzo mucho en matemáticas porque me interesa la asignatura" solían destacar en esa materia durante los tres años siguientes».

En la misma línea, la ciencia ha demostrado que, a la hora de encontrar una buena razón para hacer algo, es mucho más eficaz perseguir un deseo interno de superación que compararte con los demás. En palabras de Morgado, «la autocompetencia, es decir, querer superarse a uno mismo, funciona mejor que la competencia con el compañero, que solo genera celos, manías y venganzas». Otro truco puede estar en cuál es el mensaje que te das a ti mismo para animarte. Uno de los experimentos de Murayama dejaba claro que cuando se trata de un enfoque positivo –del tipo «Mi objetivo es hacerlo mejor»– los resultados eran mucho más exitosos que cuando el participante se proponía nada más «No hacerlo peor».

Cinco trucos motivadores

Los investigadores en la materia han desentrañado algunas claves para darle una vuelta de tuerca a nuestra ilusión por la vida y poder plantarle cara a la apatía. Aquí van algunas de ellas:

- ¿Tu vecino tiene un cuerpo de escándalo porque va al gimnasio como un campeón mientras tú te quedas viendo series de televisión en el sofá? Experimentos como los realizados en el Laboratorio de Ciencia de la Motivación, en la Universidad de Reading, dejan claro que la autocompetencia es mucho más eficaz para ponerte las pilas que la competencia con los demás. Como aconseja Morgado, compárate solo contigo mismo: si te propones tener dentro de un mes un poco menos de barriga que la que tienes hoy, es más fácil que encuentres ánimos para hacer cada vez más ejercicio, que si te pasas la vida envidiando la alegría con que tu vecino hace flexiones.
- Toma las riendas. Los psicólogos Edward Deci y Richard Ryan, de la Universidad de Rochester (EE. UU.), se han dedicado a fondo a demostrar en sus experimentos cómo las personas que sienten que tienen el control de lo que hacen están mucho más motivadas que aquellas que solo reciben órdenes. En uno de ellos, por ejemplo, comprobaron que los estudiantes a los que se les pedía escribir una redacción dando su opinión sobre un tema lo hacían con mucho más entusiasmo que los que tenían que limitarse a redactar la opinión del profesor sobre ese mismo tema.
- Nada es más motivador que sentir que estás esforzándote por algo que encaja con tus creencias, valores y deseos más íntimos. También funciona en la otra dirección: por ejemplo, si eres vegetariano, es fácil que no te apetezca editar un libro de recetas de cerdo ibérico. La conclusión que ha sacado de sus experimentos el psicólogo Christopher Hulleman, de la Universidad de Virginia (EE. UU.), es que una buena solución es recapacitar sobre por qué es importante desempeñar esa actividad que no te entusiasma tanto, es decir, encontrarle su lado útil y darle un sentido.
- Mima la autoconfianza. Es fácil decirlo, sobre todo, cuando no estamos seguros de que podamos conseguir algo o cuando lo hemos intentado antes y hemos fracasadol. Nada más desmotivador para estudiar matemáticas que salir del colegio con un examen suspenso en esta materia. Por el contrario, funciona de maravilla recibir comentarios positivos de otras personas, tal y como ha investigado el psicólogo social Christian Burgers, de la Universidad de Ámsterdan (Países Bajos), con participantes que tenían que entrenar su capacidad cognitiva con un juego de ordenador. «El *feedback* evaluativo positivo impulsaba la motivación intrínseca para jugar otra partida, comparado con el grupo de control que no recibía *feedback*. Por otro lado, el *feedback* comparativo quitaba las ganas de jugar a los participantes», comenta el autor en un artículo publicado en *Computers in Human Behaviour.*
- Controla el agotamiento. Si necesitas echar mano de toda tu motivación para realizar una tarea, es mejor que la agendes para primera hora del día o para después de un buen descanso, y que priorices –si haces las cosas prescindibles primero, tu motivación habrá decrecido para cuando le llegue el turno a hacer las tareas importantes–.

Por otra parte, ¿pueden servir los premios para motivarnos? «Hemos demostrado que las recompensas, por ejemplo, monetarias, refuerzan el aprendizaje, porque modulan la función de hipocampo a través del circuito de recompensa del cerebro», señala Murayama. Aunque también hay matices, y, por cierto, muy curiosos. En un experimento, un grupo de voluntarios tenía que jugar a un videojuego, sabiendo que recibirían premios en metálico por sus logros. Mientras, el grupo de control jugaba solo por diversión. Luego, el escáner de neuroimagen delató que el primer grupo mostraba menos motivación interna, con menor actividad en el circuito de recompensa del cerebro que el equipo que jugaba solo para pasarlo bien. «Los resultados de este estudio y de otros similares indican que las recompensas externas suelen ser efectivas solo cuando la tarea no tiene ningún interés para quien la realiza. Ofrecer premios para reconocer las tareas que son atractivas en sí mismas puede ser una pérdida de dinero o, incluso, suponer que los participantes pierdan motivación interna en realizarlas», sugiere Murayama.

Lo mismo opina Morgado, para quien el mejor estímulo es interno: «cuando ves que tu esfuerzo ha merecido la pena, que has aprendido una lección y te ha salido bien el examen, por ejemplo, obtienes una compensación placentera y eso hace aumentar la dopamina la próxima vez que tienes que sentarte a estudiar». En este sentido, uno de los acicates intrínsecos más poderosos es la curiosidad, que nos lleva a

Si necesitas echar mano de toda tu motivación para realizar una tarea, es mejor que la agendes para primera hora del día o para después de un buen descanso, y que priorices



SHUTTERSTOCK

Hay que evitar sumergirse en una vida monótona y rutinaria, socializando y atreviéndose a romper con la rutina y la apatía. Hay que dejar a un lado la pereza, salir a pasear, charlar con amigos, leer un libro o ir un museo.

desafiar sin dudarlo peligros y perjuicios varios, como le pasó a Pandora. Y es que, según han comprobado los estudios con técnicas de neuroimagen en el Laboratorio de Ciencia de la Motivación dirigido por Murayama, lo que se activa cuando nos sentimos muy motivados por la curiosidad es una zona del cerebro directamente vinculada con el circuito de recompensa, en el cuerpo estriado del encéfalo.

Podemos sentir el deseo irresistible de hacer algo por pura y simple –y poderosa– curiosidad. Pero también podemos vernos influidos por lo que observamos hacer a otra persona. Igual que a una niña, de solo ver el inmenso placer con que su madre come ensalada de langostinos, le entran una ganas terribles de probar ese plato nuevo para ella. Es lo que los científicos han bautizado como motivación por contagio, en la que, junto al circuito de recompensa y el cóctel de dopamina, podrían participar mecanismos de imitación y aprendizaje social.

O te puede ocurrir que tengas mucho ímpetu para hacer cosas, pero que esas ganas se agoten a lo largo del día. Un conocido estudio publicado en 2011 en *PNAS*, en el que participó un investigador de la Universidad de Columbia (EE. UU.), encontró una relación entre el momento de la jornada y las decisiones judiciales, aunque su interpretación ha sido cuestionada posteriormente. En su estudio, analizaron la actuación llevada a cabo por ocho jueces en 1112 vistas de casos de condenados que solicitaban la libertad condicional, y comprobaron que las decisiones tendían a ser más favorables cuanto más cerca estuviera la sesión del inicio de la mañana o del regreso del tiempo libre para desayunar o para comer. «Encontramos que las sentencias favorables caían de un 65 % a casi cero dentro de cada sesión –con una media de tres vistas por sesión– y volvían abruptamente a ser del 65 % después de cada descanso. Nuestros hallazgos sugieren que las decisiones judiciales –y la motivación por tomarlas de la forma adecuada– pueden verse sesgadas por variables externas, como el cansancio», escribían los autores. Sin embargo, investigaciones posteriores señalaron que parte de ese patrón podría explicarse por factores relacionados con la duración y el orden de los casos, por lo que no puede atribuirse directamente al cansancio de los jueces.

Sea como sea, mientras los investigadores tratan de desentrañar nuevas sutilezas sobre la neurociencia de la motivación, si te sientes más apático y desganado de lo que te gustaría, puedes empezar siguiendo el consejo del experto: rompe la rutina. «No te sumerjas en una vida monótona, sal, lee una buena novela, visita parques, museos, habla con gente, muévete, dale variedad a tu vida, como más te guste», aconseja Morgado. Y, si no crees que esas cosas van a servirte de mucho para romper con esa pereza que te invade... solo pruébalo. □

POR
FERNANDO MATA
Profesor Fisiología y Nutrición. Universidad Europea de Madrid.



DE LOS BONOBOS A GANDHI: UNA PEQUEÑA HISTORIA SOBRE EL YODO

NUESTROS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES SE CONSTRUYERON DENTRO DE ECOSISTEMAS DETERMINADOS. SOMOS GEOLOGÍA CONVERTIDA EN BIOLOGÍA.

En la cuenca del Congo, en plena República Democrática del Congo, algunos bonobos hacen algo que puede parecer extraño. Cada cierto tiempo abandonan las zonas más habituales del bosque y se internan en terrenos pantanosos. No van allí principalmente a capturar peces ni a buscar pequeños animales. Se introducen en el agua para comer plantas.

En un interesante estudio, investigadores que seguían a dos comunidades de bonobos salvajes en el bosque de LuiKotale observaron que, aproximadamente una vez cada dos semanas, estos animales visitaban zonas pantanosas y seleccionaban determinadas plantas acuáticas. Una de ellas era el nenúfar blanco (*Nymphaea lotus*), del que extraían y consumían principalmente las estructuras que permanecen sumergidas. Otra pertenecía al género *Juncus*, de la que seleccionaban la parte blanda situada en la base de las hojas.

Cuando los investigadores analizaron aquellas plantas apareció la sorpresa: contenían concentraciones muy elevadas de yodo, en algunos casos comparables a las encontradas en determinadas algas marinas. Los bonobos tampoco pasaban todo el día comiéndolas. Aquellas visitas a las zonas pantanosas representaban una pequeña proporción de su actividad alimentaria, alrededor del 3 % del tiempo dedicado a comer, pero se producían de manera relativamente regular.

Resulta tentador decir que los bonobos saben que necesitan yodo y acuden al pantano a buscarlo. Pero la ciencia debe ser prudente. No sabemos si seleccionan conscientemente estas plantas por su contenido en yodo ni conocemos exactamente cuánto de ese yodo absorben. Lo que esta observación sí nos puede enseñar es que los humedales, lagos, ríos y otras zonas acuáticas continentales pueden proporcionar fuentes concentradas de micronutrientes que solemos asociar casi exclusivamente con los ecosistemas marinos.

Y esto nos lleva directamente hasta nosotros. Cuando pensamos en los grandes cambios que marcaron nuestra evolución existe uno que siempre resulta llamativo, la expansión del cerebro.

El cerebro es un tejido caro desde el punto de vista metabólico. En el ser humano adulto representa apenas alrededor del 2 % del peso corporal, pero consume aproximadamente el 20 % de energía utilizada en reposo. Durante el desarrollo, sus exigencias relativas son todavía mayores. Explicar cómo pudimos sostener evolutivamente un órgano tan caro ha generado algunas de las discusiones más interesantes de la antropología. Podríamos hablar del papel de la cocina y del procesamiento térmico de los alimentos, como ha defendido el antropólogo Richard Wrangham; de la disponibilidad de alimentos animales y proteínas en la hipótesis del tejido caro y del incremento de la densidad energética de la dieta o, más recientemente, del posible papel de los carbohidratos y de nuestra capacidad para aprovechar mejor el almidón. Pero dejaré esa discusión para otro artículo.

Además de energía, el cerebro necesita también otros elementos. Entre ellos se encuentra precisamente el que estaban consumiendo aquellos bonobos, el yodo. Los humanos necesitamos cantidades minúsculas de yodo. En un adulto hablamos de apenas unos microgramos al día. Sin embargo, su importancia fisiológica es enorme. Sin yodo no podemos sintetizar adecuadamente las hormonas tiroideas. La glándula tiroides captura yoduro desde la circulación y, mediante una serie de procesos bioquímicos, lo utiliza para sintetizar hormonas tiroideas. Estas participan en multitud de procesos relacionados con el metabolismo, el crecimiento, la diferenciación celular y el desarrollo.

Existe además un momento de nuestra vida en el que su importancia resulta especialmente crítica para el desarrollo del sistema nervioso. Durante las primeras etapas de la gestación, el embrión todavía no posee una glándula tiroides plenamente funcional y depende en gran medida de las hormonas tiroideas maternas que atraviesan la placenta. Más adelante, el tiroides fetal comienza a producir sus propias hormonas, aunque un adecuado estado materno de yodo continúa siendo fundamental. Por eso, una deficiencia grave de yodo durante el embarazo puede tener consecuencias irreversibles sobre el desarrollo neurológico.

Aquí aparece una paradoja evolutiva interesante. Si un nutriente era tan importante para el desarrollo de

LA GLÁNDULA TIROIDES **CAPTURA YODURO DESDE LA CIRCULACIÓN Y LO UTILIZA PARA SINTETIZAR** HORMONAS TIROIDEAS



ISTOCK

Los bonobos acuden a los humedales para consumir plantas con concentraciones elevadas de yodo.

nuestro cerebro, ¿dónde lo obtenían nuestros antepasados?

Stephen Cunnane lleva años defendiendo una hipótesis que a mí me resulta sugerente. Según Cunnane, el acceso de algunas poblaciones de homininos a ecosistemas acuáticos (lagos, ríos, humedales y zonas costeras) pudo proporcionar una combinación excepcional de nutrientes importantes para el crecimiento y el funcionamiento del cerebro. Entre ellos se encontrarían DHA, ácido araquidónico, hierro, zinc, cobre, selenio y yodo. Peces, moluscos, crustáceos, anfibios, huevos y determinadas plantas acuáticas pueden proporcionar varios de estos nutrientes simultáneamente.

Eso no significa que los ecosistemas acuáticos expliquen por sí solos la expansión cerebral humana. La encefalización fue un proceso complejo en el que intervinieron cambios en la dieta, el comportamiento, la organización social, el gasto energético, la tecnología y muchos otros factores. Nuestros requerimientos nutricionales no aparecieron en una tabla de recomendaciones. Se construyeron dentro de ecosistemas.

OTRA PISTA EN EL CONGO. Los bonobos no son la única pista interesante. En la selva de Ituri, también en África Central, viven poblaciones de cazadores-recolectores tradicionalmente conocidas como Efe. Estudios realizados hace décadas observaron que la prevalencia de bocio entre los Efe era considerablemente menor que la encontrada en algunas poblaciones vecinas que habitaban el mismo entorno.

Más recientemente se han identificado señales de selección positiva en genes relacionados con la función tiroidea en diferentes poblaciones de cazadores-recolectores de África Central. Esto nos lleva a la pregunta de si pudieron determinadas poblaciones humanas desarrollar adaptaciones fisiológicas o genéticas frente a ambientes históricamente pobres en yodo. Es una posibilidad, pero de nuevo debemos ser prudentes. La evolución rara vez ofrece explicaciones simples. Diferencias en la dieta, exposición ambiental, infecciones, metabolismo, genética y otros factores pueden influir simultáneamente.

LO QUE UN BONOBO PUEDE ENSEÑARNOS SOBRE NOSOTROS. Cuando a mis alumnos en fisiopatología le enseño la imagen del bonobo introduciéndose en un pantano y cogiendo la planta acuática, les pregunta ¿Qué ven? Para ellos es algo al principio trivial «un mono en el agua cogiendo plantas»

Podríamos darle una vuelta ¿Hasta qué punto los lugares donde nuestros antepasados encontraron alimentos condicionaron aquello en lo que terminaríamos convirtiéndonos? Nuestra fisiología no evolucionó independientemente del paisaje, del entorno, del ecosistema. El hierro que utilizamos para transportar oxígeno, el calcio de nuestros huesos, los ácidos grasos de nuestras membranas o el yodo utilizado por nuestra glándula tiroides procedieron durante millones de años de ambientes concretos. Somos, en cierto modo, geología convertida en biología. El yodo representa esa conexión.

El problema es que los seres humanos terminamos alejándonos de muchos de aquellos ecosistemas o, lo que es peor, transformándolos profundamente.

El yodo posee una geografía peculiar. Los océanos constituyen su principal reservorio. Las algas marinas pueden concentrarlo extraordinariamente y, a través de complejos ciclos biogeoquímicos, parte de ese yodo pasa a la atmósfera y posteriormente regresa a los continentes mediante la lluvia. Pero el yodo presente en el suelo puede ser arrastrado nuevamente hacia los ríos y los océanos. Con el paso del tiempo, determinadas regiones continentales, especialmente áreas montañosas sometidas a procesos intensos de erosión o glaciación, pueden presentar suelos pobres en yodo.

Durante siglos, esta geografía quedó escrita literalmente en el cuello de millones de personas bajo la forma del denominado bocio endémico. Ante una disponibilidad insuficiente de yodo, la estimulación crónica de la glándula tiroides puede provocar su crecimiento como parte del intento del organismo por mantener una producción adecuada de hormonas tiroideas.

En algunas regiones del mundo el problema alcanzó dimensiones enormes. Y durante el embarazo, las consecuencias de una deficiencia grave podían ser mucho más importantes que el aumento del tamaño de la tiroides.

PARA IR TERMINANDO. Entonces apareció una de las intervenciones de salud pública más sencillas y eficaces de la historia y que cabía en un salero, la sal yodada. Añadir pequeñas cantidades de compuestos de yodo a la sal permitió aumentar la ingesta de este elemento en poblaciones enteras sin necesidad de modificar profundamente sus hábitos alimentarios.

Pero la sal tiene otra historia que me sirve para cerrar este artículo.

En 1930, Mohandas Gandhi inició una marcha desde el Ashram de Sabarmati hasta la localidad costera de Dandi, en el actual estado de Gujarat. Su objetivo podía parecer extraño para quien no conociera el contexto, quería fabricar sal. El dominio colonial británico controlaba la producción y comercialización de la sal en India y gravaba su consumo. Gandhi comprendió que la sal era el símbolo perfecto, no era de pobres ni de ricos, y todo el mundo la necesitaba.

El 6 de abril de 1930, al llegar a la costa de Dandi, Gandhi desafió públicamente las leyes británicas sobre la sal tomando sal del litoral. La Marcha de la Sal se convertiría en uno de los episodios más emblemáticos de la resistencia no violenta frente al dominio colonial británico.

Y así llegamos al final de nuestro viaje en este artículo. La sal pudo convertirse simultáneamente en alimento, herramienta de salud pública y símbolo de libertad. Y quizá también por eso un bonobo comiendo un nenúfar en un pantano del Congo tenga bastante más que contarnos sobre nuestra propia historia de lo que parece. □



ASC/CHATGPT

¿DE DÓNDE SALEN LOS COLORES DE NUESTRO CUERPO?

Dos hermanos pueden compartir padres y, sin embargo, tener el pelo de distinto color. Unos ojos que parecen azules no contienen ningún pigmento azul, y la piel que hoy vemos clara fue, en nuestros antepasados, mayoritariamente oscura. Detrás de esas diferencias se esconde una historia de genes, luz solar y evolución bastante menos sencilla de lo que aprendimos en el colegio.

POR CRISTINA ENRÍQUEZ, periodista, directora de MUY Interesante

Basta mirar una fotografía familiar para advertir que la herencia no funciona como una fotocopiadora. Una hija puede tener el pelo rojizo de su abuelo, un hijo los ojos claros de una tía y otro una tonalidad de piel distinta de la de sus hermanos. Durante décadas se ha intentado explicar estos rasgos mediante fórmulas simples: el marrón domina al azul, el moreno al rubio. Pero la genética ha desmontado buena parte de esa visión. No recibimos un único «gen del color» de cada progenitor, sino numerosas variantes que interactúan entre sí y cuya actividad puede cambiar según el tejido, la edad y las condiciones ambientales. El genetista Lluís Montoliu, investigador del CSIC y especialista en pigmentación y albinismo, lleva más de tres décadas estudiando ese entramado. En su libro *La genética de los colores de la piel, el pelo y los ojos*, publicado por Pinolia, explica que el color es una de las ventanas más accesibles para asomarnos al funcionamiento de nuestro ADN. Lo que parece una diferencia superficial permite entender desde cómo se desarrollan las células hasta la adaptación de nuestra especie a distintos lugares del planeta.

UN MISMO PIGMENTO, MUCHÍSIMOS MATICES

El punto de partida es la melanina. La fabrican unas células llamadas melanocitos dentro de pequeños compartimentos, los melanosomas. En la piel, esos paquetes de pigmento pasan a otras células de la epidermis, los queratinocitos; en la raíz del pelo, colorean las fibras mientras crecen. En los ojos, la cantidad y la distribución de melanina en el iris influyen en el aspecto de la mirada. No existe, por tanto, una pintura distinta para cada tono que vemos en las personas. Nuestro organismo produce principalmente dos grandes clases de melanina. La eumelanina proporciona tonalidades marrones y negras y ofrece una protección importante frente a la radiación ultravioleta. La feomelanina aporta matices amarillos y rojizos y protege bastante menos. La proporción entre ambas, la cantidad total de pigmento y la manera en que se reparte explican una parte fundamental de la diversidad visible. También intervienen genes que controlan dónde llegan los melanocitos, cómo maduran y cómo funcionan los melanosomas. Montoliu recuerda que, según el catálogo científico que reúne genes relacionados con la pigmentación en distintos vertebrados, en septiembre de 2026 se habían identificado 688. No es extraño que dos personas puedan parecerse mucho y, a la vez, mostrar colores tan distintos.

LA PIEL CUENTA UNA HISTORIA DE SOL Y MIGRACIONES

¿Por qué la piel humana presenta una gama tan amplia, desde tonos muy oscuros hasta otros casi rosados? Buena parte de la respuesta comienza en África, donde evolucionó nuestra especie. Los antepasados humanos perdieron progresivamente gran parte del denso pelaje corporal y quedaron más expuestos a la radiación solar. En ambientes de fuerte insolación, una piel rica en eumelanina ofrecía ventajas: limitaba el daño causado por los rayos ultravioleta y ayudaba a proteger procesos biológicos esenciales. La antropóloga Nina Jablonski ha estudiado cómo la pigmentación se relaciona con la intensidad de esa radiación a lo largo de la evolución humana.

Cuando algunas poblaciones se desplazaron hacia regiones donde el sol era menos intenso, las presiones cambiaron. La radiación ultravioleta B permite que nuestra piel produzca vitamina D, necesaria, entre otras funciones, para la salud ósea. Una pigmentación muy elevada puede dificultar esa producción cuando la radiación disponible es escasa. En determinadas



SHUTTERSTOCK

El azul lo percibimos por la interacción entre la luz y el tejido, no porque el organismo fabrique una sustancia azul. Los ojos verdes y avellana surgen de otras combinaciones de pigmentación y dispersación, los marrones contienen más melanina en la capas visibles del iris.



SHUTTERSTOCK

Los rubios no proceden únicamente de Europa. En la islas Salomón, en Oceanía, algunas personas tienen la piel muy oscura y el cabello rubio natural.

poblaciones se extendieron, por selección natural, variantes genéticas asociadas a una piel más clara. Genes como *SLC24A5* y *SLC45A2* participan en esa historia, aunque no son los únicos y las poblaciones humanas no siguieron todas el mismo camino.

Sería un error convertirlo en una regla inflexible que relacionase automáticamente color y latitud. La alimentación, la ropa, las costumbres, los movimientos de población y el azar también han intervenido. Además, la piel se broncea porque responde al daño producido por la radiación, no porque tomar el sol sin protección sea saludable. Nuestro color es, en definitiva, una herencia evolutiva que continúa interactuando con el ambiente, no una etiqueta capaz de separar biológicamente a la humanidad en grupos cerrados.

EL SECRETO DE LOS PELIRROJOS Y LOS RUBIOS

El pelo rojo, poco frecuente en la población mundial, tiene una explicación especialmente reveladora. Su principal protagonista es *MC1R*, un gen que codifica un receptor situado en la superficie de los melanocitos. Cuando funciona de determinada manera, favorece la producción de eumelanina oscura. Algunas variantes reducen su actividad y hacen que predomine la feomelanina, de tonos cobrizos. Es frecuente que una persona pelirroja haya heredado variantes relevantes de ambos progenitores, aunque el resultado depende también de otros genes. Por eso existen pelirrojos anaranjados, cobrizos o casi castaños, y personas que solo muestran reflejos rojizos en la barba.

Esta particularidad no se limita a una cuestión estética. Muchas variantes de *MC1R* se asocian a piel clara, pecas y mayor sensibilidad a los efectos dañinos del sol. Pero tampoco conviene caer en el mito de que todos los pelirrojos reaccionan igual al dolor, necesitan más anestesia o tienen idénticos riesgos: los estudios describen asociaciones y una considerable variación individual. Montoliu aprovecha precisamente este ejemplo para mostrar que un mismo mecanismo genético puede influir en varios aspectos de nuestra fisiología.

Con el rubio, la trama se complica. Un gran estudio genético realizado con participantes del biobanco británico identificó más de doscientas variantes asociadas a ese color. Algunas actúan sobre la producción



El albinismo tiene diferentes variantes, no constituye una única alteración genética ni significa siempre piel y cabello blancos.

SHUTTERSTOCK

de melanina; otras intervienen en procesos relacionados con el crecimiento del cabello. El resultado no responde a un interruptor que solo pueda estar encendido o apagado: aparece una gradación continua entre negro, castaño oscuro, castaño claro y rubio.

Y existe una excepción formidable a la idea de que los rubios proceden necesariamente de Europa. En las islas Salomón, en Oceanía, algunas personas de piel muy oscura tienen el cabello rubio natural. Una investigación publicada en *Science* en 2012 vinculó buena parte de este rasgo a una variante del gen *TYRP1*, diferente de las que explican habitualmente el rubio europeo. Un mismo aspecto puede surgir por caminos genéticos distintos. La evolución no necesita repetir una receta para llegar a un resultado parecido.

POR QUÉ LOS OJOS AZULES NO SON AZULES

Si observásemos el iris de una persona de ojos azules buscando un pigmento azul, no lo encontraríamos. Como explica Montoliu, su color se debe en gran medida a un fenómeno óptico. Cuando hay poca melanina en las capas anteriores del iris, su estructura dispersa la luz de manera que vuelve hacia nuestros ojos una proporción mayor de tonos azulados. Es un color que percibimos por la interacción entre la luz y el tejido, no porque el organismo fabrique una sustancia azul. Los ojos verdes y avellana surgen de otras combinaciones de pigmentación y dispersión; los marrones contienen más melanina en las capas visibles del iris.

La genética también reserva sorpresas. Dos regiones próximas del cromosoma 15, relacionadas con los genes *HERC2* y *OCA2*, desempeñan un papel decisivo en muchos casos. Una variante situada en una zona reguladora de *HERC2* puede reducir la actividad de *OCA2*, disminuir la melanina del iris y favorecer los ojos claros. Pero intervienen bastantes genes más. Esa complejidad explica por qué no basta con saber el color de ojos de los padres para predecir con seguridad el de sus hijos; incluso dos progenitores de ojos azules pueden, aunque sea infrecuente, tener un descendiente de ojos marrones. Las antiguas tablas escolares de dominantes y recesivos servían como introducción, no como descripción completa de la realidad.

También existen ojos que parecen cambiar de tonalidad con la iluminación y otros que combinan varios colores en un mismo iris. Eso no significa que los genes estén modificándose continuamente: cambia la luz que recibimos y cómo la dispersa cada tejido. La heterocromía, por su parte, hace que una persona tenga ambos iris de diferente color o sectores de distintas tonalidades. Puede estar presente desde el nacimiento, aunque un cambio repentino en la pigmentación merece valoración médica.

CUANDO EL COLOR FALTA O CAMBIA

El albinismo ofrece otra pista decisiva. No constituye una única alteración genética ni significa siempre piel y cabello totalmente blancos. Distintas variantes pueden reducir la producción o distribución de melanina, con efectos muy diversos. Su importancia va más allá del aspecto: la pigmentación interviene en el desarrollo del sistema visual y muchas personas con albinismo presentan disminución de agudeza visual, sensibilidad a la luz y otras alteraciones oculares. Montoliu insiste en que entender estas condiciones exige mirar mucho más allá del espejo.



ISTOCK

En el color de los ojos intervienen diferentes variantes genéticas, por lo que no basta saber el color de ojos de los padres para predecir cómo serán los de los hijos.

También las canas recuerdan que el color no queda fijado para siempre al nacer. Con la edad, las células capaces de renovar los melanocitos del folículo piloso pierden eficacia. Un estudio publicado en *Nature* en 2023 mostró en ratones que algunas de esas células madre pueden quedar atrapadas en zonas del folículo donde ya no contribuyen a fabricar pigmento. La investigación abre preguntas sobre el encanecimiento humano, aunque todavía no permite prometer soluciones para recuperar el color perdido.

Al final, las diferencias que primero observamos al conocer a alguien dependen de una combinación extraordinariamente compleja de química, luz e historia evolutiva. Basta variar la actividad de algunos genes para modificar de forma llamativa nuestra apariencia, sin que eso establezca categorías humanas superiores o inferiores. Tal vez sea esa la conclusión más interesante de estudiar nuestros colores: las variaciones se ven a simple vista; lo muchísimo que compartimos está escrito en el ADN. □

BIBLIOGRAFÍA

La genética de los colores de la piel, el pelo y los ojos.
Autor: Lluís Montoliu
Editorial: Pinolia, 2026.

LUCÍA SESMA PRIETO, filóloga.



GÉNESIS APOCALÍPTICA DE LA IA

NO CONVIENE OLVIDAR QUE TRAS LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL, QUE VATICINAN QUE ACABARÁ CON LA HUMANIDAD EN BREVE, HAY PERSONAS CON AVIESAS INTENCIONES.

El ser humano moderno habita este planeta desde hace más de trescientos mil años. El *homo sapiens* lleva dando guerra tanto tiempo que perdemos la noción evolutiva de que unas especies nacen y, después, se transforman o mueren. La tecnología se ha desarrollado hasta tal punto que, según algunos, será un ente no orgánico quien acabe con nosotros. El pasado septiembre, Jacob Coxon, antiguo empleado de Open AI y Anthropic, se despedía de su trabajo de investigador en esta empresa centrada en Inteligencia Artificial con una llamada de atención al universo: «Las personas que están construyendo la IA creen sinceramente que podría matarnos a todos antes de que acabe la década».

Coxon se alzó como una suerte de Mesías, anunciando el origen del fin con una revelación, traducción de la palabra «apocalipsis», procedente del griego ἀποκάλυψις. Quizás deberíamos darle las gracias, y sin embargo, a los profanos en inteligencia artificial solo nos deja con más dudas: ¿nos aniquilará a todos todos?, ¿en diez años?, ¿un sistema operativo?, ¿cómo?, ¿creará una bacteria letal?, ¿acaso los programas que configuran y entrenan una IA concreta no los gestionan humanos?; ¿se han sublevado las máquinas sin que los expertos tengan ningún control?, ¿quiénes son esos entendidos?; y, sobre todo, si la humanidad se extingue antes de 2030, ¿a quiénes venderán los tecnócratas sus satélites, sus coches automáticos, sus audífonos inteligentes o su telefonía de última generación? El entorno científico se debate entre el apocalipsis y la moderación, tirándose los trastos unos a otros con argumentos igual de razonables que anodinos. Mientras, los orígenes de la palabra «inteligencia artificial» y, en consecuencia, su desarrollo, están tan ligados al arte de vender con palabras, que estas declaraciones dantescas del joven científico nos suenan a humo.



SHUTTERSTOCK

El matemático John McCarthy acuñó el término «inteligencia artificial» en un seminario del Dartmouth College de la universidad de Hanover durante el verano de 1956. La denominación no fue aleatoria. Claude Shannon y él propusieron a la universidad cuatro años atrás un proyecto que quería diferenciarse de la cibernética. Debatieron diversos nombres, con muchas dudas sobre las personas que pudieran estar interesadas en el tema. Al final, se decantaron por «estudios de autómatas» y, curiosamente, todas las propuestas para participar iban encaminadas al estudio de autómatas, y no a lo que ellos se habían propuesto. No cejaron en la idea y se unieron a ellos Marvin Minsky, Oliver Selfridge y Nathaniel Rochester en una propuesta a la Fundación Rockefeller. Sus intentos de financiación dieron con la clave: un nombre atractivo. Así lo confesó en 1973 en «The Lighthill Debate», televisado por la BBC en 1973. El origen de «inteligencia artificial» se debe a una estrategia de nombrar de forma atractiva unos estudios en ciernes. Sin estar muy claras las conexiones con la inteligencia o con lo artificial, dieron en la diana: dos palabras consiguieron abrir camino a una tecnología revolucionaria que hoy se postula como nuestro fin.

El futuro está por decidir, pero parece claro que, según declaró recientemente Bill Gates, «Nunca ha existido un arma tan poderosa como la combinación de personas con malas intenciones que utilizan las últimas herramientas de la IA». El factor humano vuelve a erigirse como clave. El desarrollo de cualquier tecnología ha supuesto una amenaza en todos los tiempos: los telares mecánicos, internet y ahora la IA. Los neófitos deberíamos saber que tras esa denominación espectacular se esconde un nombre más certero, pero con menos fuegos artificiales: «procesamiento de información complejo», «simulación de tareas humanas», «sistemas automáticos de decisión» o «estadística computacional». Y que tras el teclado que programa, hay personas rabiosamente humanas. □

LA FÍSICA DETRÁS DE UN RELOJ

ENLACE AL CANAL
x.com/byneontelegram
Ó escanea el código QR:



CONVERTIR LUZ EN ENERGÍA, RESISTIR CAMPOS MAGNÉTICOS O GENERAR COLOR SIN PIGMENTOS: UN RELOJ DE PULSERA REÚNE FENÓMENOS FÍSICOS QUE SUELEN PASAR INADVERTIDOS.

Mirar la hora es un gesto tan habitual que rara vez nos detenemos a pensar qué ocurre bajo la esfera. Sin embargo, en ese pequeño espacio conviven problemas que también ocupan a la física y a la ingeniería: cómo almacenar energía, cómo mantener un movimiento regular o cómo controlar la interacción entre una superficie y la luz. Algunas de las soluciones empleadas en los relojes de Citizen permiten observar estos fenómenos a escala de muñeca.

EL DESAFÍO DEL MAGNETISMO

Un reloj mecánico utiliza la energía almacenada en un muelle para mover sus engranajes. Su marcha depende de un oscilador que regula la liberación de esa energía. Si determinados componentes se magnetizan, su comportamiento puede alterarse y el reloj puede adelantarse o retrasarse. Por eso, la proximidad de imanes presentes en objetos cotidianos, como teléfonos o auriculares, constituye un reto para estos mecanismos.

Una de las respuestas es aumentar su resistencia a los campos magnéticos. El calibre automático 9051 de la familia Series8 ofrece una protección de 16.000 A/m. La unidad, amperios por metro, expresa la intensidad del campo magnético. Es una característica distinta de la reserva de marcha: esta última indica cuánto tiempo puede funcionar el mecanismo con la energía disponible, unas 42 horas en este caso.

LA LUZ COMO ENERGÍA Y COMO COLOR

El efecto fotovoltaico permite transformar la radiación luminosa en electricidad. En relojería, Eco-Drive aprovecha tanto la luz natural como la artificial y almacena energía para seguir funcionando en la oscuridad, evitando el cambio periódico de pila. En 2026 se cumple medio siglo del primer reloj analógico de Citizen alimentado por luz. El Skyhawk JY8144-50E conmemora ese aniversario y combina esta tecnología con la recepción de señales horarias de radio para ajustar la hora. Su movimiento puede funcionar aproximadamente seis meses tras una carga completa.

La luz también explica el aspecto de las esferas de Promaster Marine Structural Limited 2026. Su color procede de una microestructura que modifica cómo se refleja la luz, de forma semejante a lo que ocurre en ciertas alas de mariposa y plumas de aves. Este fenómeno, llamado color estructural, produce tonalidades que cambian según el ángulo de observación. La misma luz puede, por tanto, aportar la energía que mueve un reloj y determinar el color con el que lo percibimos.

DAVID PASTOR VICO
Filósofo.



¿QUÉ ES EL ESTADO? SI VA BIEN MOLA Y SI NO VA BIEN MALO

ESTA ESTRUCTURA INSTITUCIONAL Y TERRITORIAL NOS AÚNA A TODOS, PERO EL ESTADO NO SOMOS TODOS. ESTE EXISTE SOBRE UNA COMUNIDAD DE PERSONAS SOBRE LAS QUE EJERCE SU AUTORIDAD LEGÍTIMA.

Estoy seguro que más de uno al verse preguntado por «¿qué es el Estado?» lo primero que dice sin pensar y casi de manera mecánica es: "El Estado somos todos". Pues ¡ea! ¿Acabamos aquí el artículo o le damos un poco de cera al sentido común?

Que el Estado somos todos, es un topicazo del mundillo de la política doméstica y del canutazo a la salida del Congreso; esos momentos en los que, al salir sus señorías del hemiciclo después de catorce horas de debate, son preguntados por los medios de comunicación allí apostados sobre la subida de impuestos recién aprobada o las ayudas a la tragedia ecológica de turno y, el político, con más ganas de cama que de contestar nos dice eso del que el Estado somos todos, que tenemos que meter el hombro, y se va a sobar tan ricamente. Y hasta aquí lo conocido.

PERO DECIR QUE EL ESTADO SOMOS TODOS ES FALAZ. La sociedad es lo que «todos somos» pero no es el Estado, aunque el mismo necesite de la sociedad para poder ser y tener, además, sentido de ser. Es algo así como confundir una casa con su hipoteca. Sin hipoteca no hay casa, todos los que no somos ricos lo sabemos, pero no por eso dices «veniros a comer a mi hipoteca...» Sé que lo has pillado.

Tras la polis en el clasicismo griego, uno de los antecedentes de lo que mucho después entenderemos como Estado —aunque hay mucha controversia sobre si podemos llamarla propiamente Estado—, el mundo latino empezó a jugar con este concepto del todo y la parte con respecto al poder. *Res publica*, lo llamaron; la cosa pública era el espacio de gestión común sostenido por el Senado y el Pueblo de Roma, más conocido por su acrónimo SPQR. Pero la maquinaria administrativa, la estructura que ejercía el mando y garantizaba el orden, no era el pueblo; era el poder ejercido a través del *imperium* y las magistraturas. Cicerón lo explicaba mejor que yo: «Es, por tanto, la república la cosa del pueblo; y el pueblo no es toda reunión de hombres congregada de cualquier manera, sino una multitud asociada por un mismo acuerdo sobre el derecho y por una comunidad de intereses.» ¿Te parece igual al eslogan político de arranque? No lo es.

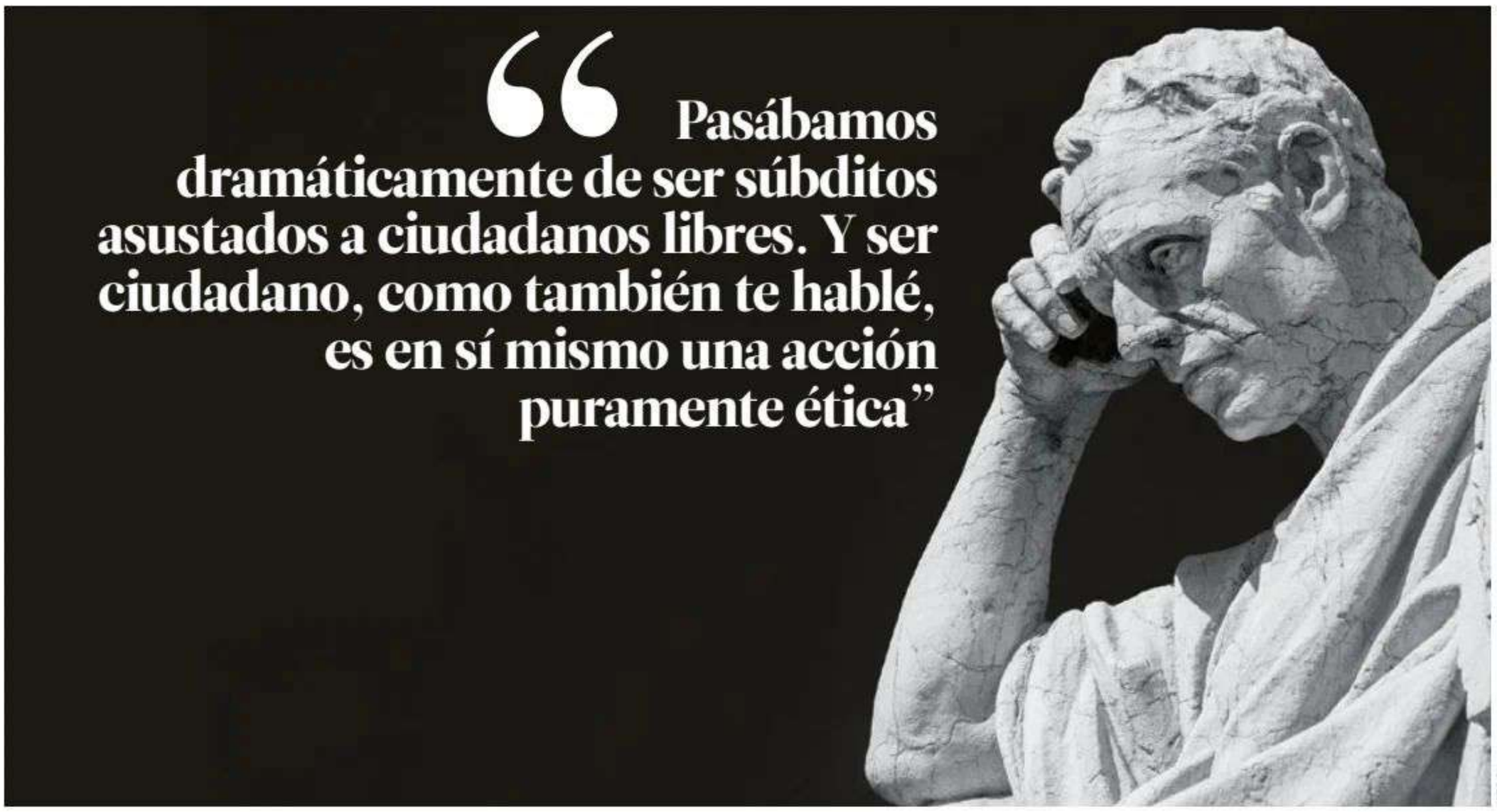
El concepto de «pueblo romano» no es el de sociedad como una suma de individuos, despojada de contenido jurídico e incluso moral, como hoy la concebimos. Ese pueblo al que hace mención Cicerón es un cuerpo político bien definido, unido por leyes e intereses comunes y aun así dependiente de una voluntad y mando superior, una república sí, pero no una democracia.

La palabra italiana *stato*, derivada del latín *status*, no comenzó a adquirir su significado político moderno hasta el siglo XVI. Fue Maquiavelo quien, en *El Príncipe*, usando este concepto ya conocido le dio su sentido moderno al afirmar: «Todos los estados, todos los dominios que han tenido y tienen imperio sobre los hombres, han sido y son repúblicas o principados». Y no, en ninguno de los dos modelos hablaba de democracia tampoco.

EL ESTADO, EN SENTIDO MAQUIAVÉLICO, RESPONDE DIRECTAMENTE A UNA ESTRUCTURA DE PODER, NO A UN «TODOS» SOCIAL, NI A UN «NOSOTROS». Para el burócrata florentino, el Estado era el dominio, el andamiaje institucional que un soberano debía mantener en pie a toda costa para evitar el caos y la anarquía. El Estado, por tanto, no nació como una asamblea de abrazos y buen rollo; nació como una herramienta destinada a ejercer la autoridad y control sobre la masa. Sobre el pueblo... Pero no te confundas: Maquiavelo sabía que ningún príncipe se sostiene sin el apoyo —aunque sea por miedo o por cálculo— del pueblo al que controla. ¡Ojo a esto!

Pero si sin el apoyo del pueblo no se sostiene ningún príncipe, quizá te estés preguntando: ¿por qué obedecerlo y someternos?

Si recuerdas, cuando hablamos de Thomas Hobbes y del hombre en «estado de naturaleza» hablamos de la necesidad de pactar entre los hombres y delegar en una estructura superior para asegurar nuestra supervivencia mutua lejos de la propia amenaza que somos para nosotros mismos. Esta estructura mayor Hobbes la definió como un gran Leviatán bíblico, el soberano, que no soólo debía velar por nuestra paz y seguridad, sino también regularnos administrativamente, exigirnos cumplir con las leyes y protegernos



ISTOCK

Tras la *polis* del mundo griego, el mundo latino empezó a hablar de *res publica, u*n espacio de gestión común.

de ataques de terceros. ¿Recuerdas? El ejercicio, por tanto, es el de renunciar y transferir ciertas libertades propias para construir un poder común capaz de imponerse sobre todos y sobre nosotros mismos... nos obligamos a obedecer.

Como también recordarás Rousseau vino a enmendarle la plana a Hobbes, porque lejos de definir a un Estado autorregulable, libre y legítimo, como era la ambición del ginebrino, acababa de explicar muy brillantemente la existencia y la necesidad de los estados absolutistas, tan propios de su momento histórico todo sea dicho. Pero esta legitimidad del poder, para un ilustrado, seguía siendo poco más o menos, que mantenernos encadenados a la caverna de las sombras.

Para Rousseau, la única forma de que esa cesión de libertad no nos convirtiera en siervos era que la soberanía no residiera en un monarca todopoderoso, sino en la «voluntad general»; que no es la suma de lo que cada uno queremos particularmente, sino aquello que podemos querer como ciudadanos para el conjunto de la comunidad. Así, al obedecer las leyes de un Estado que nosotros mismos habíamos contribuido a legitimar, no estábamos acatando el garrote de un tirano, sino obedeciéndonos a nosotros mismos. Pasábamos dramáticamente de ser súbditos asustados a ciudadanos libres. Y ser ciudadano, como también te hablé, es en sí mismo una acción puramente ética.

Y ES AQUÍ DONDE EMPIEZA A TOMAR FORMA UNA DE LAS CONCEPCIONES FUNDAMENTALES DEL ESTADO MODERNO: no como la suma amorfa de todos nosotros, sino como un pacto recíproco de garantías, derechos y deberes. Pero todavía te falta algo, ¿verdad? ¿Más sabor? ¿Más sazón? ¿Más «el Estado somos todos»?

El sociólogo, jurista, economista, e historiador alemán Max Weber y, por añadidura amigo de sus amigos, escribió en 1919 lo siguiente: «El Estado es aquella comunidad humana que, dentro de un territorio determinado, reclama para sí con éxito el monopolio de la violencia física legítima».

Y, aunque te cueste creerlo, esta se convirtió en una de las definiciones más influyentes del Estado moderno. Y gracias a ella se explican y razonan los imperios, las naciones y los pueblos de ayer y de hoy. Porque todo Estado necesita una comunidad sobre la que existir, pero necesitarla no significa confundirse con ella.

Porque sin territorio no existe la demarcación física donde el estado puede ejercer su autoridad, pero ¡ay el día que nos da por cambiar las estaquillas de las lindes!

Porque el monopolio de la violencia no evita que alguien sea violento, pero será el Estado el que reclame para sí la facultad de determinar cuándo y quién puede ejercer la coerción física y contra quién o quiénes y en qué intensidad... y tendremos que confiar que, en ciertas ocasiones, ya no exista un vigilante superior que vigile al vigilante, porque más allá del Estado no hay más allá. ¿Duro?

Porque legitimidad es y ha sido siempre la palabra clave para poder confiar en aquellos a los que entregamos el garrote, eso es a lo que llamamos estado. Porque lo que somos todos es la sociedad; el Estado, como hemos visto, es otra cosa: una estructura institucional territorial que reclama autoridad legítima y, en último término, posee la capacidad coercitiva para hacerla cumplir.

Así que no, el político cansado que contesta «el estado somos todos» no tiene razón... aunque, quizá por variar, tampoco está diciendo una completa estupidez. □

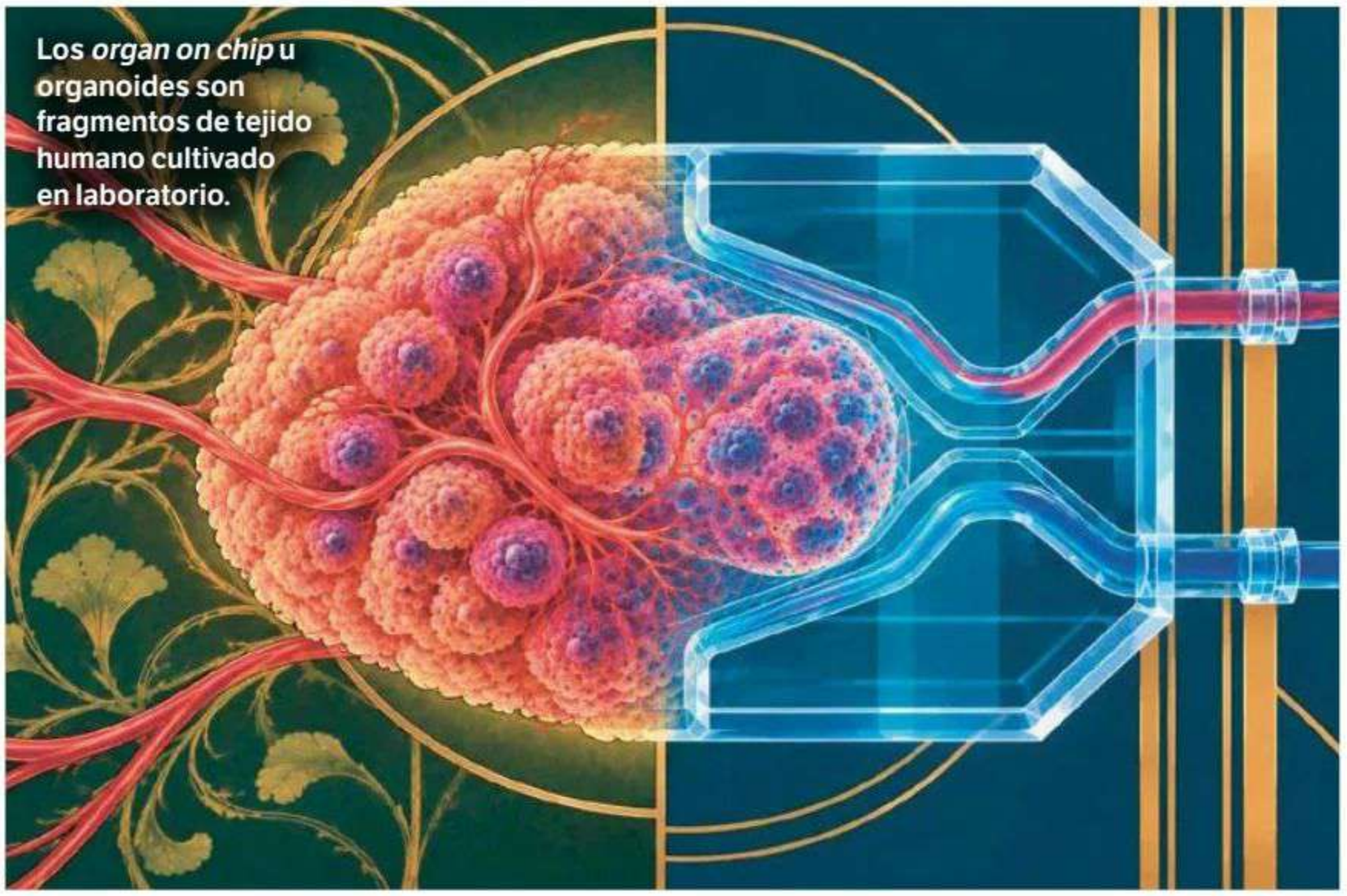
Atrévete a descubrir universos que renacen,
agujeros negros que crean otros cosmos,
viajes en el tiempo y realidades paralelas.

El cosmólogo Niayesh Afshordi y el divulgador Phil Halper te invitan a explorar las teorías más revolucionarias de la física, sus sorprendentes implicaciones y las pruebas que podrían confirmarlas, para investigar el mayor misterio de todos: nuestro origen cósmico.



Pinolia

Escanea este código QR y podrás comprar fácilmente este libro.



Los *organ on chip* u organoides son fragmentos de tejido humano cultivado en laboratorio.

ASC



Julián González Rubio
Doctor en Bioingeniería. Investigador posdoctoral en la Universidad de Cambridge.

UN CUERPO HUMANO EN MINIATURA

LA TECNOLOGÍA QUE YA VIAJÓ A LA LUNA Y QUIERE JUBILAR AL RATÓN DE LABORATORIO

Un diminuto dispositivo con células de médula ósea viajó alrededor de la Luna para estudiar cómo afecta el espacio al organismo humano. La tecnología que lo hizo posible, conocida como «organ-on-chip», también está transformando la investigación biomédica y abriendo nuevas posibilidades para probar medicamentos y reducir el uso de animales en los laboratorios.

Cuando los astronautas de Artemis II partieron hacia la Luna a bordo de la cápsula Orion, no viajaban solos. Junto a ellos, dentro de un contenedor con su propio soporte vital, volaban unos «avatares» fabricados con sus propias células: chips microfluídicos con tejido de médula ósea, cultivado a partir de muestras de sangre donadas antes del despegue. Es el experimento AVATAR (A Virtual Astronaut Tissue Analog Response), desarrollado por el Instituto Wyss de la Universidad de Harvard, y su objetivo es averiguar cómo la radiación cósmica y la microgravedad más allá de la órbita baja afectan a la formación de células sanguíneas humanas, algo que jamás se había podido observar en tiempo real durante un vuelo tripulado tan lejos de la Tierra.

Que la NASA decidiera reservar un hueco, literalmente, junto a sus astronautas para un fragmento de tejido humano cultivado en laboratorio no es tan solo una anécdota curiosa. Estos dispositivos, conocidos como «organ-on-chip» u «órgano en un chip», y sus primos los «organoides», han dejado de ser una promesa de la biología de vanguardia para convertirse en una pieza fundamental de la nueva investigación médica y farmacológica.

ORGANOIDES: IMITANDO EL DESARROLLO FETAL EN UNA PLACA DE LABORATORIO

Un organoide es una versión miniaturizada y simplificada de un órgano cultivada en el laboratorio. Todo comienza con las células madre, unas células muy inmaduras capaces de dividirse y convertirse en distintos tipos de células especializadas. Para crear un organoide, los investigadores añaden a estas células madre, en distintas etapas, moléculas biológicas que actúan como señales y las guían en su transformación. El objetivo es imitar, paso a paso, los procesos que tienen lugar durante la formación de ese órgano en el embrión humano. Así, las células se multiplican, migran y se organizan hasta generar, semanas después, una estructura tridimensional de apenas unos milímetros que reproduce parte de la arquitectura y las funciones del órgano original.

Desde los primeros organoides intestinales hasta complejos «minicerebros», pasando por organoides de hígado, riñón o retina, esta tecnología se ha convertido en una herramienta extraordinaria para estudiar enfermedades genéticas raras, modelar

JULIÁN GONZÁLEZ RUBIO

PRF. MADELINE LANCASTER

A la izquierda, una fotografía de organoides cerebrales «minicerebros» cultivados durante 30 días. A la derecha, un corte histológico de un organoide replicando el córtex humano, mostrando las neuronas en verde, las células madre neurales en magenta y los núcleos celulares en azul. Estos organoides pueden ser usados, por ejemplo, para estudiar cómo ciertas enfermedades genéticas afectan el desarrollo cerebral, o cómo un medicamento neurológico afecta al cerebro.

tumores con las propias células de un paciente y ensayar fármacos de forma personalizada antes de administrarlos a una persona real. Su gran virtud es también su límite: al tratar de reproducir el desarrollo fetal exclusivamente con moléculas biológicas, los organoides ganan en complejidad celular y en fidelidad genética, pero carecen del riego sanguíneo y de los estímulos externos —como las fuerzas mecánicas y la comunicación con otros tejidos— que moldean a un órgano vivo, lo que limita su capacidad de madurar hasta alcanzar un estado adulto.

ORGAN-ON-CHIP: LA INGENIERÍA RECREANDO EL ENTORNO DE LOS TEJIDOS HUMANOS

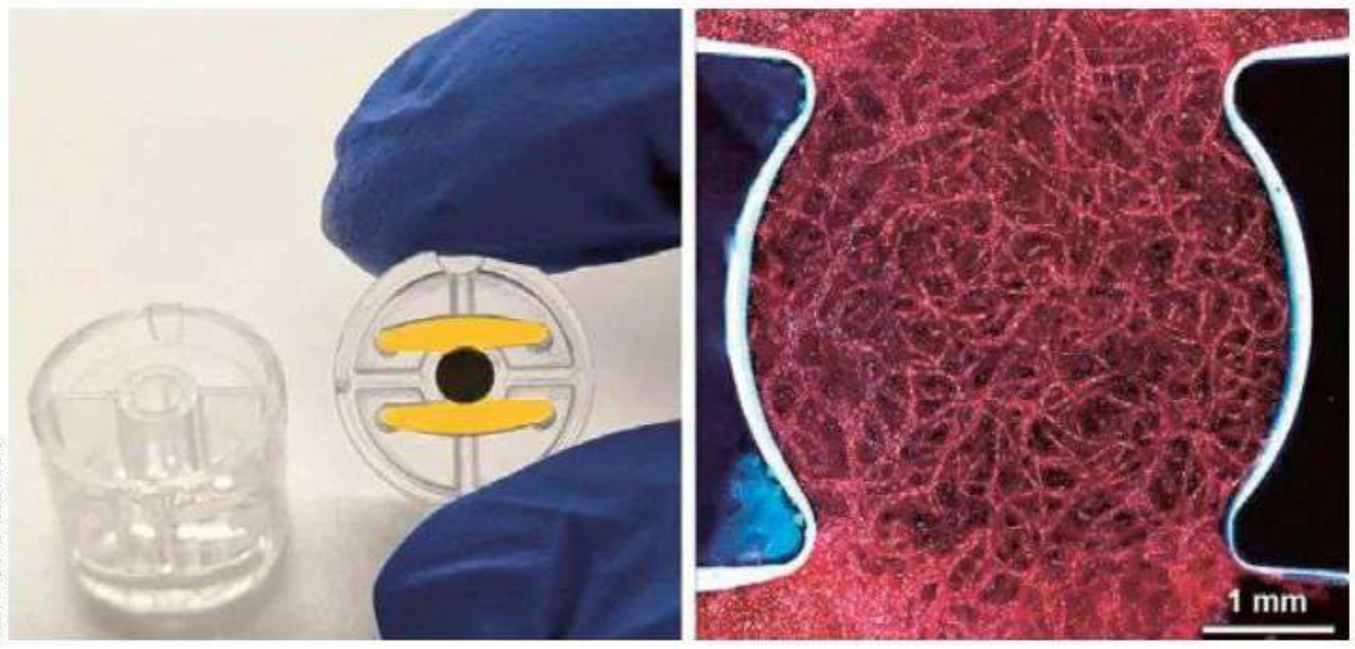
La segunda tecnología aborda el mismo problema desde el extremo opuesto. Un *organ-on-chip* no nace de dejar que las células se organicen completamente por sí solas, sino de diseñar un entorno artificial que las empuje a comportarse como lo harían dentro del cuerpo. Son pequeños dispositivos, generalmente fabricados con plástico o silicona, que contienen canales microscópicos por los que circulan fluidos y en cuyo interior se cultivan células humanas. Pequeños actuadores y sistemas de bombeo recrean el flujo sanguíneo, la tensión mecánica de una respiración o los movimientos peristálticos del intestino, de forma que las células reciben, artificialmente, estímulos parecidos a los que recibirían en un cuerpo humano real.

El primer gran ejemplo, un pulmón en un chip capaz de «respirar» expandiéndose y contrayéndose igual que un alveolo real, abrió la puerta a versiones de hígado, riñón, intestino, corazón o médula ósea, cada una diseñada para replicar la función específica de ese tejido. Precisamente uno de estos dispositivos, un hígado en chip desarrollado por la empresa Emulate, derivada del Instituto Wyss, se encuentra ya en la fase final de convertirse en el primer *organ-on-chip* oficialmente reconocido por la Agencia de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) para detectar toxicidad hepática en nuevos medicamentos.

Pero el verdadero salto llega cuando varios de estos chips se conectan entre sí a través de sus propios canales de fluido, formando lo que se conoce como *body-on-chip* o «cuerpo en un chip». Un sistema en el que, por ejemplo, un medicamento metabolizado por un chip de hígado pasa después por un chip de corazón, permitiendo observar efectos secundarios que solo aparecen cuando varios órganos interactúan entre sí. Esto es algo que ni un organoide aislado ni un cultivo celular convencional pueden mostrar.

LA (MUY) CARA VERDAD DE LA INVESTIGACIÓN CON ANIMALES

Durante más de setenta años, el camino para aprobar un medicamento o dispositivo médico ha pasado casi siempre por el mismo peaje: probarlo primero en ratones, ratas, perros o primates antes de administrarlo a una sola persona. Es un modelo que ha salvado incontables vidas, pero que arrastra un problema que la propia industria lleva décadas reconociendo en voz baja: la correlación entre lo que ocurre en un animal y lo que ocurrirá en un humano es, con demasiada frecuencia, débil. Según cifras que la propia FDA ha puesto sobre la mesa, más del 90 % de los fármacos que superan con éxito las pruebas en animales acaban fra-



JULIÁN GONZÁLEZ RUBIO

A la izquierda, un ejemplo de dispositivo *organ-on-chip* específicamente diseñado para imitar la microvascularización sanguínea. El compartimento central (coloreado en negro) acoge un «hidrogel» (un material similar a una gelatina) cargado de las células que componen los capilares sanguíneos. Los dos canales laterales (coloreados en amarillo) imitan dos pequeños vasos por los que circula un fluido. A la derecha se puede observar una imagen microscópica de la cámara central del chip, mostrando las células organizadas en capilares teñidos de rojo. Un chip como este puede ser usado para, por ejemplo, estudiar el crecimiento de los vasos sanguíneos o comprobar el efecto de ciertos fármacos en el sistema circulatorio.


ASC

Los modelos «in vitro» ofrecen nuevas posibilidades para complementar y, en determinados casos, sustituir los ensayos con animales. El bioingeniero Donald Ingber lo resumió así: «Los modelos animales se equivocan con más frecuencia de lo que aciertan».

casando cuando llegan a los ensayos clínicos en personas, normalmente por problemas de seguridad o de eficacia que el modelo animal no fue capaz de anticipar. El bioingeniero de Harvard Donald Ingber, uno de los padres de la tecnología *organ-on-chip*, lo resume sin rodeos: «los modelos animales se equivocan con más frecuencia de lo que aciertan».

Esa fragilidad científica, sumada a la creciente presión ética por reducir el sufrimiento animal y los enormes gastos en ensayos clínicos fallidos, ha puesto en marcha en los últimos años una transición que ya no es solo una declaración de intenciones, sino política regulatoria activa. Entre 2025 y 2026, tanto la Agencia Europea de Medicamentos (EMA) como la estadounidense FDA han dado pasos para impulsar el uso de nuevas metodologías preclínicas que permitan reducir y, cuando sea posible, sustituir la experimentación animal, entre ellas los organoides y los sistemas *organ-on-chip*.

España no es ajena a estos avances. El Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC), en Barcelona, desarrolla chips que buscan reproducir estructuras tan complejas como la barrera hematoencefálica o la interacción músculo-páncreas en diabetes, además de trabajar con organoides de riñón, retina o hígado; la Universidad de Zaragoza, a través de su Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), es uno de los principales referentes nacionales en tecnología *organ-on-chip*; y el CNIO de Madrid emplea organoides derivados de pacientes para estudiar distintos tipos de cáncer y evaluar posibles tratamientos. Son solo algunos ejemplos de un ecosistema en el que participan grupos de investigación de toda España.

Buena prueba de que el campo ha alcanzado ya una gran relevancia es que, en octubre de 2025, nació la Sociedad Española de Sistemas Microfisiológicos y Organ-on-Chip (SESMOoC), presidida por el investigador zaragozano Ignacio Ochoa, con el objetivo declarado de coordinar a todos estos grupos, formar a nuevos profesionales y defender ante reguladores y administraciones el papel de estas tecnologías como alternativa ética y científicamente más fiable a la experimentación animal.

La correlación entre lo que ocurre en un animal y lo que ocurrirá en un humano es, con demasiada frecuencia, débil

Pese a los avances de los últimos años, todavía quedan importantes desafíos por resolver antes de que estos modelos *in vitro* puedan sustituir de forma generalizada a los modelos tradicionales. En comparación con la investigación en animales, los resultados aún son menos reproducibles, los costes son mayores, y todavía carecemos de protocolos bien estandarizados que permitan comparar resultados entre laboratorios. Por ello, más que una sustitución inmediata y completa de la experimentación animal, el horizonte más realista es una transición progresiva combinando distintas tecnologías según la pregunta científica.

NO SE PUEDE SEPARAR NATURALEZA E INGENIERÍA

Aunque es tentador presentar a los organoides y a los chips como dos tecnologías rivales que compiten por heredar el trono del ratón de laboratorio, en realidad abordan el mismo problema desde perspectivas diferentes.

Los organoides confían en las herramientas acumuladas por millones de años de evolución: si el desarrollo fetal ya sabe construir un hígado o un cerebro desde cero, ¿por qué no reproducir ese mismo proceso en una placa de laboratorio y dejar que la biología haga el trabajo? Los *organ-on-chip*, en cambio, apuestan por la ingeniería humana: si no podemos replicar toda la complejidad de un órgano, podemos al menos diseñar la estructura y los estímulos mecánicos que ese órgano necesita para comportarse como tal.

La buena noticia es que ambos enfoques ya han empezado a fundirse. Distintos laboratorios trabajan hoy en «organoides en un chip», estructuras que mezclan la riqueza celular y genética de un organoide con el riego sanguíneo artificial, las fuerzas mecánicas y la capacidad de conexión multiorgánica que solo la ingeniería de los chips puede aportar. Es en esa combinación, y no en la victoria de una tecnología sobre la otra, donde probablemente se encuentre el futuro de los modelos *in vitro*: sistemas capaces de imitar no solo un órgano aislado, sino la fisiología de un cuerpo humano, con parte de su complejidad e interconexión. □



Las algas marinas viven ancladas a sustratos duros como rocas, donde no hay apenas sedimentos que las entierren en ese lugar.

© AULADELI CEAB

EL MAPA QUE REVELA DÓNDE DEBERÍA PROTEGERSE EL OCÉANO PARA ATRAPAR MÁS CARBONO



Oscar Serrano Gras
Doctor en Biología e investigador en el Departamento de Ecología marina en CEAB-CSIC.

Las algas marinas producen tanto carbono orgánico como algunos bosques tropicales, pero solo una fracción diminuta de las costas del planeta consigue enterrarlo bajo el sedimento a largo plazo. Un mapa global identifica dónde ocurre esto, y la mayoría de esos lugares no está protegida.

Cuando se habla de «carbono azul», la imagen que suele venir a la cabeza es la de manglares, praderas de posidonia o marismas: ecosistemas con raíces que fijan el sedimento bajo sus pies y, con él, el carbono que absorben. Las algas marinas —desde los grandes bosques de kelp hasta las finas alfombras de algas rojas que tapizan las rocas— quedan a menudo fuera de esa conversación, a pesar de que, según recoge este estudio publicado en *Nature Communications*, producen una cantidad de carbono orgánico comparable a la de los ecosistemas más productivos del océano.

El problema es que las algas marinas no tienen raíces. Viven ancladas a sustratos duros, como rocas, donde no hay apenas sedimento que las entierre *in situ*. Así que, para que su carbono quede realmente secuestrado durante siglos, ese material tiene que desprenderse, viajar y encontrar, en algún lugar cercano, un fondo de sedimento blando que lo atrape y lo entierre antes de que los microorganismos lo degraden. Es un poco como si un bosque entero dependiera de que el viento llevara sus hojas caídas hasta el único rincón del vecindario con tierra lo bastante blanda para enterrarlas.

Hasta ahora, nadie había cartografiado con detalle dónde se dan esas condiciones en todo el planeta. Un equipo internacional liderado por investigadores de la Universidad de Zhejiang (China), con participación de instituciones como la KAUST saudí, el CSIC español y la Universidad de Australia Occidental, se ha propuesto resolver ese vacío.

UN ÍNDICE PARA MEDIR QUÉ COSTAS SON BUENAS «ENTERRADORAS» DE CARBONO

Los investigadores han construido lo que han llamado el Índice de Entierro de Carbono Macroalgal (MCBI, por sus


OSCAR SERRANO

La mayor parte del litoral mundial no reúne las condiciones para enterrar carbono de algas de forma significativa.

siglas en inglés), una medida que combina dos ingredientes en cada tramo de costa del planeta, con una resolución de apenas 9 kilómetros en el ecuador: cuánto carbono producen las algas de la zona y a qué velocidad se acumula el sedimento en el fondo marino cercano.

Para calcular esa segunda variable, la tasa de acumulación de sedimento, el equipo reunió la base de datos más completa hasta la fecha, con 1617 mediciones reales tomadas en estuarios, mares marginales y zonas costeras de todo el mundo, y entrenó un modelo de aprendizaje automático (concretamente, un algoritmo de Gradient Boosting) para predecir esa tasa en cualquier punto de la costa global, incluso donde no existen mediciones directas. El modelo, que tiene en cuenta once variables ambientales como la cantidad de sedimento en suspensión o la profundidad del agua, explicó el 64 % de la variabilidad observada, un resultado que los autores consideran sólido dada la enorme heterogeneidad de las costas del planeta.

Con ese mapa de sedimentación en la mano, combinado con estimaciones previas de la productividad de las algas, el equipo pudo calcular el MCBI para prácticamente toda la costa mundial, en una escala de 0 a 100.

LOS BUENOS SUMIDEROS SON RARÍSIMOS

El resultado más llamativo del estudio es lo poco frecuentes que son las costas realmente favorables. El 67,3 % de las costas del planeta tiene un MCBI por debajo de 10, y menos del 1 % supera el valor de 40. Dicho de otro modo: la inmensa mayoría del litoral mundial no reúne las condiciones para enterrar carbono de algas de forma significativa, y solo un puñado de rincones muy concretos lo hacen bien.

Esos rincones privilegiados aparecen en zonas muy específicas: el estuario del Amazonas, las bahías de Bohai y Corea, el suroeste de Japón, los fiordos de la Patagonia meridional y la región de Ojotsk-Sajalín, en el extremo oriental de Rusia. En todos estos lugares coincide algo esencial: una alta productividad de algas con una tasa de sedimentación también alta, de modo que el material orgánico queda rápidamente sepultado bajo el sedimento mineral antes de que los microbios lo descompongan.

El patrón geográfico tiene también su lógica climática. Los valores más altos del índice se concentran en latitudes medias y altas, tanto en el hemisferio norte como en el sur, donde coinciden la productividad de las algas pardas (como los kelps) con una sedimentación favorable. En los trópicos, en cambio, esas algas pardas prácticamente desaparecen y son sustituidas por alfombras de algas rojas mucho menos productivas, lo que hace que el índice sea, en general, bajo en esas latitudes, salvo excepciones puntuales como la costa filipina, donde ríos de montaña muy cortos aportan sedimento en abundancia.

Curiosamente, en los polos el patrón no es uniforme. Mientras que las grandes plataformas árticas abiertas suelen actuar como «zonas frías» para el entierro de carbono, debido al hielo marino y las bajas temperaturas que limitan el crecimiento de las algas, los fiordos —como los de Noruega o Groenlandia— funcionan como auténticas trampas eficientes, porque retienen el material que llega tanto de las propias algas del fiordo como el que arrastran los hábitats costeros cercanos.

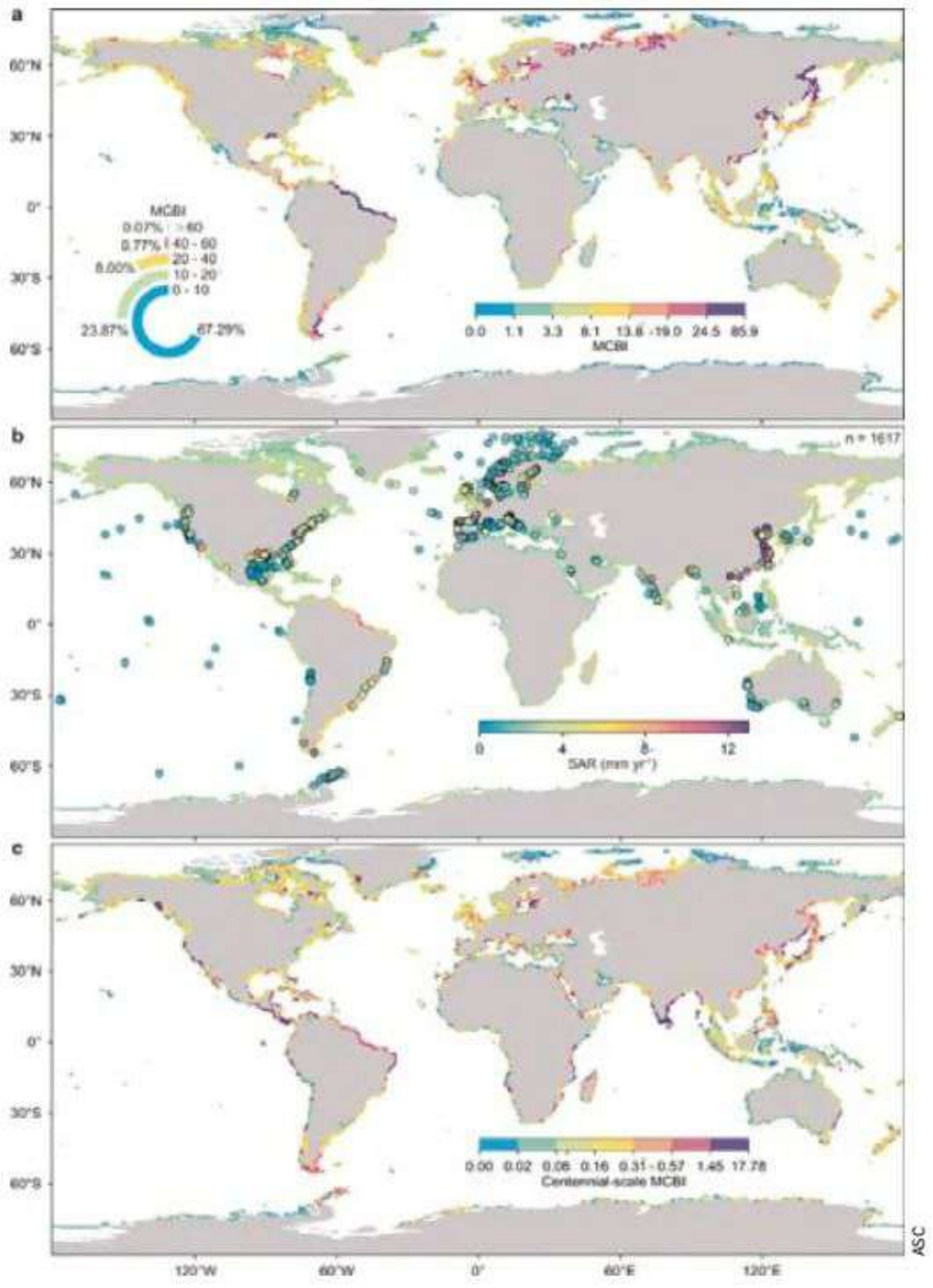
UN ATAJO BARATO: LA FORMA DE LA COSTA

Uno de los hallazgos más prácticos del estudio es que no hace falta medir directamente la sedimentación o la productividad de algas para saber si una costa es un buen sumidero: basta con mirar su forma. Los investigadores encontraron una correlación clara (R^2 = 0,59) entre la complejidad geométrica de la línea de costa —medida mediante lo que se conoce como dimensión fractal, un indicador de lo «recortada» o «rizada» que es una costa— y el valor del índice MCBI.

La explicación tiene sentido físico: las costas complejas, con fiordos, ba-


OSCAR SERRANO

Basta con mirar la forma de una costa para saber si esta es un buen sumidero: existe una correlación entre la complejidad geométrica de la línea de costa y el valor del índice MCBI, Índice de Entierro de Carbono Macroalgal.



Evaluación global del Índice de Sepultura de Carbono de Macroalgas (MCBI) y su fundamento físico.
a) Distribución espacial del MCBI a lo largo de las costas globales, y el recuadro muestra la proporción de costas globales dentro de diferentes rangos de MCBI (0–10, 10–20, 20–40, 40–60 y >60). b) Tasa global prevista de acumulación de sedimentos marinos (SAR, mm año^{-1}) derivada de un modelo de regresión de potenciación de gradiente (GBR), y los puntos indican las ubicaciones de las mediciones empíricas de SAR (n = 1617) recopiladas para restringir el modelo. c) Distribución espacial del MCBI a escala centenaria, obtenido ponderando el MCBI con la eficiencia de transferencia de carbono orgánico de 100 años de Bradley et al. 40. Los datos del mapa base son de Natural Earth.
Créditos: DOI 10.1038/s41467-026-77215-7

hías semicerradas o archipiélagos de islas, actúan como barreras hidrodinámicas que frenan el oleaje y las corrientes, aumentando el tiempo que el agua permanece en la zona y, con ello, la probabilidad de que las partículas de materia orgánica se depositen en el fondo en lugar de ser arrastradas mar adentro. Además, una costa más recortada ofrece más superficie y más microhábitats para que crezcan las algas. Esto convierte la complejidad costera en un indicador barato y accesible para identificar posibles puntos calientes de entierro de carbono en regiones del mundo donde no existen datos directos, como gran parte de las costas de Australia o Sudamérica.

QUIÉN TIENE MÁS QUE PERDER (O QUE GANAR)

Al desglosar los resultados por países, aparecen asimetrías notables. A escala continental, Asia y Norteamérica concentran, respectivamente, el 31,5 % y el 28 % del total mundial del índice MCBI, mientras que Europa, Sudamérica y África se quedan muy por detrás. A escala nacional, cinco países —Rusia, Canadá, Estados Unidos, Brasil y China— acumulan casi la mitad del total mundial.

Pero si en lugar de mirar el total se mide el índice por kilómetro de costa, el panorama cambia por completo: aparecen en los primeros puestos países como Bélgica, Surinam, Letonia, Estonia o Argentina, con una diferencia de hasta 281 veces entre el país mejor y el peor situado en esta métrica. Esto es relevante porque el estudio también señala que una parte importante de las costas que combinan alta favorabilidad de entierro con buena sedimentación se encuentra en pequeños estados insulares en desarrollo (como Surinam, Guyana, Jamaica o Haití) y en países de renta baja o media-baja (Filipinas, Tanzania, Mozambique), donde el cultivo de algas marinas ya es una actividad económica accesible y de bajo coste. Para estos países, el hallazgo apunta a una oportunidad: vincular esa actividad productiva con un beneficio climático verificable y contabilizable.

LAS ZONAS PROTEGIDAS ESTÁN MIRANDO HACIA OTRO LADO

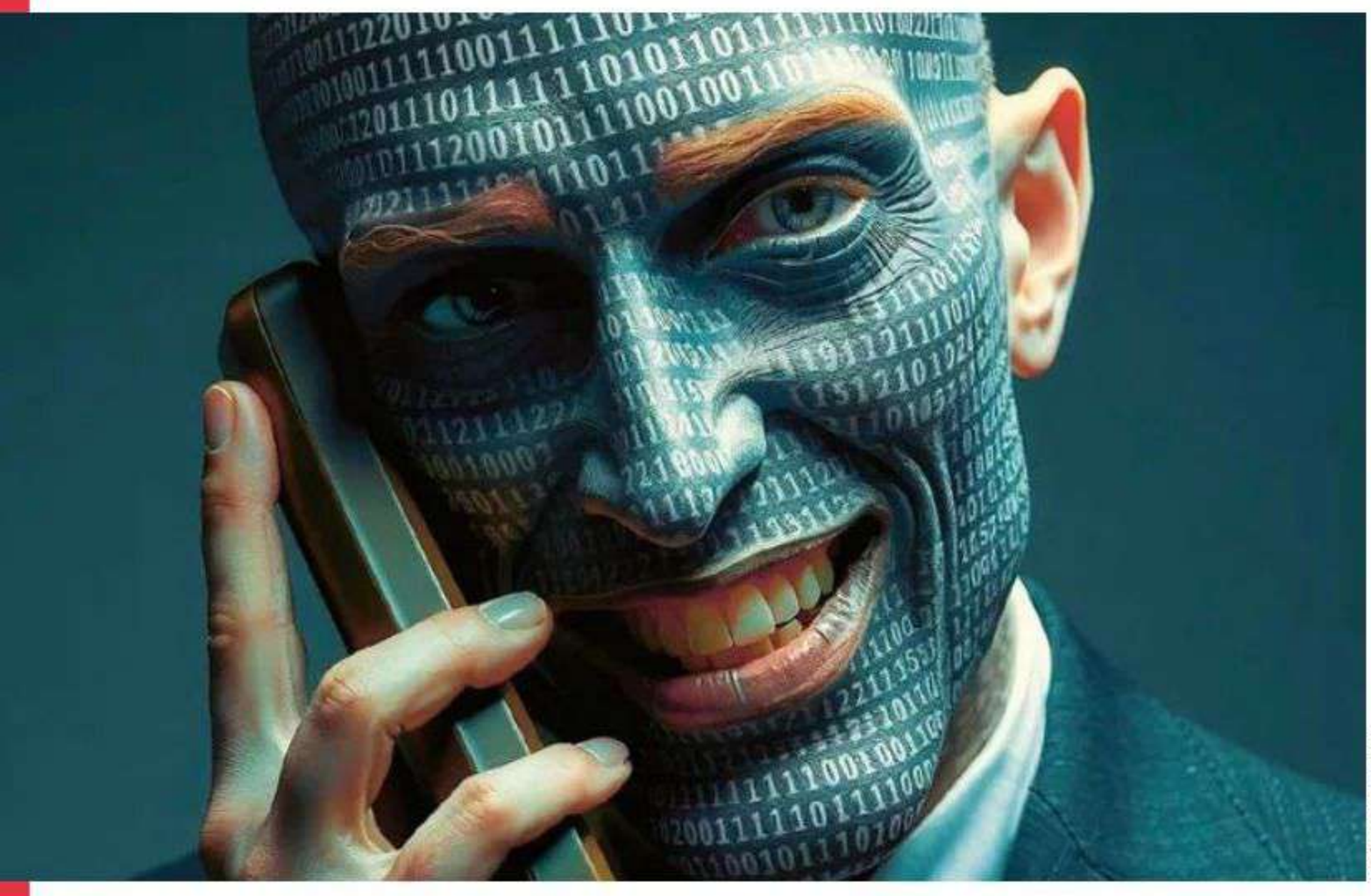
Quizá el dato más preocupante del estudio llega al comparar el mapa del MCBI con las áreas marinas protegidas (AMP) existentes en todo el mundo. El resultado es claro: la protección actual está sesgada hacia las zonas menos favorables para enterrar carbono. Las costas con el índice MCBI más bajo —es decir, las menos relevantes para este proceso— tienen la tasa de protección más alta, un 23,9 %. En cambio, las costas clasificadas como de alta o muy alta favorabilidad reciben una protección de apenas el 14,3 % y el 17,1 % respectivamente, por debajo incluso de la media mundial ponderada (16,5 %).

Al cruzar esta información con la jurisdicción de cada país, el estudio identifica un grupo de 30 naciones —entre ellas Rusia, Canadá, Estados Unidos, China e Indonesia— que concentran la mayoría del índice MCBI mundial pero cuya tasa de protección está en el nivel medio global o por debajo, lejos del 33 % que los autores proponen como referencia. Solo 17 países, entre ellos Japón, Chile y Brasil, logran combinar una alta favorabilidad con una protección por encima de ese umbral, demostrando que ambas cosas pueden ir de la mano.

Los autores calculan que, si en el marco del objetivo internacional de proteger el 30 % del océano para 2030 se priorizaran específicamente las costas con mayor favorabilidad en lugar de ampliar la protección de forma aleatoria, el valor medio del índice dentro de la red de áreas protegidas podría llegar a ser hasta 1,8 veces mayor que con una expansión al azar, y hasta 2,9 veces mayor que si se protegieran, por error, las costas menos favorables. Es, en definitiva, una llamada a mirar el mapa antes de decidir dónde se traza la siguiente línea de protección: no todas las costas valen lo mismo para el clima, y hasta ahora buena parte de la conservación marina ha sido, en palabras de los propios autores, «funcionalmente ciega» al carbono que entierran las algas. □

Artículo creado a partir del trabajo The global distribution of macroalgal carbon burial in coastal sediments, Dongyang Fan, Carlos M. Duarte, Faming Wang, Oscar Serrano, Dabo Guan, Xi Xiao y colaboradores, publicado en *Nature Communications* 17:10372 (2026). DOI: 10.1038/s41467-026-77215-7.

¿SE PUEDE CAZAR UN AUDIO *DEEPFAKE* ANTES DE QUE TERMINE DE HABLAR?



JOSÉ MANUEL MOLINA



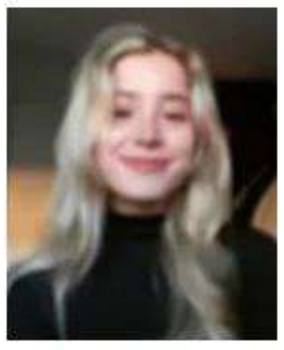
José Manuel Molina López
Catedrático de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial en la Universidad Carlos III de Madrid.



Miguel A. Patricio
Catedrático de Informática en la Universidad Carlos III de Madrid.



Antonio Berlanga de Jesús
Profesor Titular de la Universidad Carlos III de Madrid.



Andrea López Salazar
Associate Software Engineer in Data & AI Enablers in MasOrange.

Imagine recibir una nota de voz de un familiar, de su jefe o incluso de una figura pública. La voz suena convincente. Tiene pausas, ritmo, emoción aparente. Pero ¿y si no fuera esa persona? ¿Y si lo que escucha es una falsificación generada por inteligencia artificial?

Este trabajo se desarrolla en el Grupo de Inteligencia Artificial Aplicada de la Universidad Carlos III de Madrid (campus de Colmenarejo), en adelante UC3M-GIAA, dentro de la Cátedra UC3M-MasOrange, desarrollado por Andrea López bajo la dirección de los profesores Miguel Ángel Patricio y Antonio Berlanga. En esta cátedra se plantean problemas específicos de la compañía de telecomunicaciones para ser abordados mediante técnicas de inteligencia artificial. En este caso, el reto es tan actual como inquietante: detectar audios falsos, incluso cuando han sido comprimidos, degradados o enviados por canales digitales similares a los que usamos cada día.

Los *deepfakes* ya no solo tienen rostro: también tienen voz. Una llamada, un audio o una grabación pueden convertirse en una herramienta de engaño muy convincente. Según el trabajo analizado, los humanos solo identificamos correctamente los audios falsos en torno al 73 % de las ocasiones; es decir, casi una de cada cuatro veces podríamos aceptar como real una voz generada o manipulada por inteligencia artificial.

Por eso, sistemas capaces de detectar en segundos si una voz conserva huellas acústicas humanas o si es una máscara digital resultan cada vez más estratégicos para telecomunicaciones, banca, empresas y administraciones públicas. Como señalan los investigadores de UC3M-GIAA, no todos los *deepfakes* de voz se generan igual: algunos se crean a partir de texto mediante síntesis de habla, mientras que otros transforman una grabación humana real para que parezca pronunciada por otra persona. Esta segunda modalidad puede ser especialmente difícil de detectar, porque conserva parte del ritmo, las pausas y la prosodia del hablante original.

LA VOZ HUMANA TIENE «IMPERFECCIONES» QUE LA IA TODAVÍA NO SABE IMITAR

La clave está en escuchar más allá de lo que oye el oído. La idea del sistema desarrollado por UC3M-GIAA es que no se fija únicamente en si una voz parece natural, sino en sus señales internas: energía, cambios bruscos, textura espectral, timbre, frecuencia fundamental, variaciones temporales y otros rasgos que forman una especie de ADN acústico.

Para enseñar al sistema a distinguir una voz humana de una voz generada o transformada por inteligencia artificial, el trabajo construye un vector de descriptores acústicos: una especie de ficha técnica de cada audio. Para detectar si una voz es real o artificial, el sistema no se fija solo en lo que se dice, sino en cómo suena. Analiza pequeñas pistas acústicas: la intensidad de la voz, los cambios bruscos en el sonido, si predominan tonos más graves o más agudos, cómo se reparte la energía de la señal y cómo evoluciona todo ello a

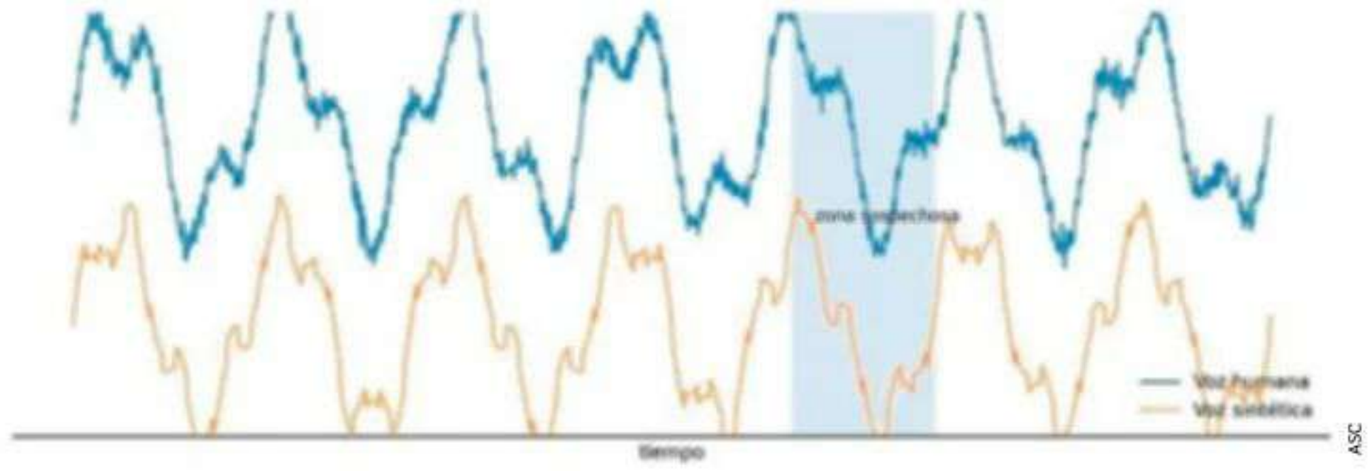


Figura 1. Una voz auténtica y una voz sintética pueden sonar parecidas, pero sus ondas esconden diferencias que los modelos pueden medir.

lo largo del tiempo. También estudia el timbre, es decir, ese «color» particular que hace que una voz sea reconocible. Para ello, transforma el audio en una especie de retrato acústico que resume sus rasgos principales de una forma parecida a como nuestro oído percibe los sonidos. Después, compara esos patrones para buscar señales de naturalidad o, por el contrario, indicios de que la voz ha sido generada o modificada por inteligencia artificial.

Dicho de forma sencilla, como nos indica UC3M-GIAA: «una voz humana no es perfectamente regular. Tiembla, varía, respira, se rompe, cambia de energía y de tono de manera natural. Los sistemas sintéticos, en cambio, pueden dejar rastros microscópicos: demasiada energía, transiciones extrañas, frecuencias anómalas o patrones excesivamente ordenados».

El análisis preliminar realizado por UC3M-GIAA ya apunta a diferencias interesantes entre las voces reales y las generadas por inteligencia artificial. En general, las voces creadas directamente a partir de texto tienden a sonar con una intensidad más alta y uniforme, como si estuvieran demasiado «pulidas». Las voces humanas, en cambio, suelen mostrar una energía más natural, con pequeñas variaciones que forman parte de nuestra manera normal de hablar. También aparecen diferencias en la suavidad del sonido. Las voces reales suelen ser más fluidas y estables, mientras que algunas voces artificiales presentan más irregularidades, pequeños saltos o cambios bruscos que pueden delatar su origen sintético. Son detalles casi imperceptibles para una persona, pero que un sistema de análisis puede detectar y utilizar como pistas para distinguir una voz auténtica de una manipulada.

CÓMO ENTRENAR A UNA IA PARA DETECTAR QUE LA IA HA GENERADO LA VOZ

La investigación centrada en la clasificación en tiempo real de audios *deepfake* y la detección de descriptores acústicos anómalos, propone una vía especialmente interesante: no limitarse a decir «esto es falso», sino intentar averiguar qué tipo de falsificación tenemos delante. El sistema distingue entre tres grandes clases: voz humana, voz generada por síntesis de texto a voz —TTS— y voz obtenida mediante conversión de voz —VC—.

Para aprender a distinguir una voz humana de una sintética, el sistema necesita entrenarse con muchos ejemplos. En este caso, el trabajo utiliza audios del ASVspoof Challenge 2021, una competición internacional centrada en la detección de voces falsificadas y ataques de suplantación.

Este conjunto de datos funciona como un banco de pruebas para detectores de *deepfakes*: reúne voces reales y voces manipuladas, incluyendo audios que han pasado por procesos de compresión y codificación similares a los que sufren cuando circulan por internet, redes sociales o aplicaciones de mensajería.

A partir de esa base, el estudio selecciona una muestra equilibrada de 16 500 audios: voces humanas, voces generadas a partir de texto y voces creadas mediante conversión de voz. Esta selección evita que el sistema se acostumbre a una sola categoría y le obliga a fijarse en las verdaderas huellas acústicas que diferencian una voz real de una artificial.

Para decidir si un audio es real o falso, el sistema no se apoya en una única herramienta, sino en varios métodos que trabajan en paralelo. Es como reunir a varios expertos y hacer que cada uno emita su veredicto. Después, el sistema combina esas respuestas para tomar una decisión más fiable y reducir el riesgo de error.

Pero lo más importante no es solo acertar, sino hacerlo en condiciones realistas. Los audios que circulan por redes sociales, plataformas de vídeo o mensajería no llegan intactos. Se comprimen, se codifican, pierden calidad. Y esa degradación puede borrar pistas o introducir otras nuevas. Por eso el trabajo compara audios originales con audios comprimidos y codificados, replicando escenarios similares a los de plataformas digitales.

EL GRAN RETO: DETECTAR LA MENTIRA MIENTRAS EL AUDIO TODAVÍA ESTÁ SONANDO

La parte más espectacular del sistema es su ambición de funcionar en tiempo real. No se trata solo de analizar un archivo cuando ya ha terminado, sino de vigilarlo mientras avanza. Para ello, el prototipo plantea una arquitectura de doble ventana.

La primera es una ventana acumulativa: empieza en el instante inicial y va creciendo con todo lo que se ha escu-

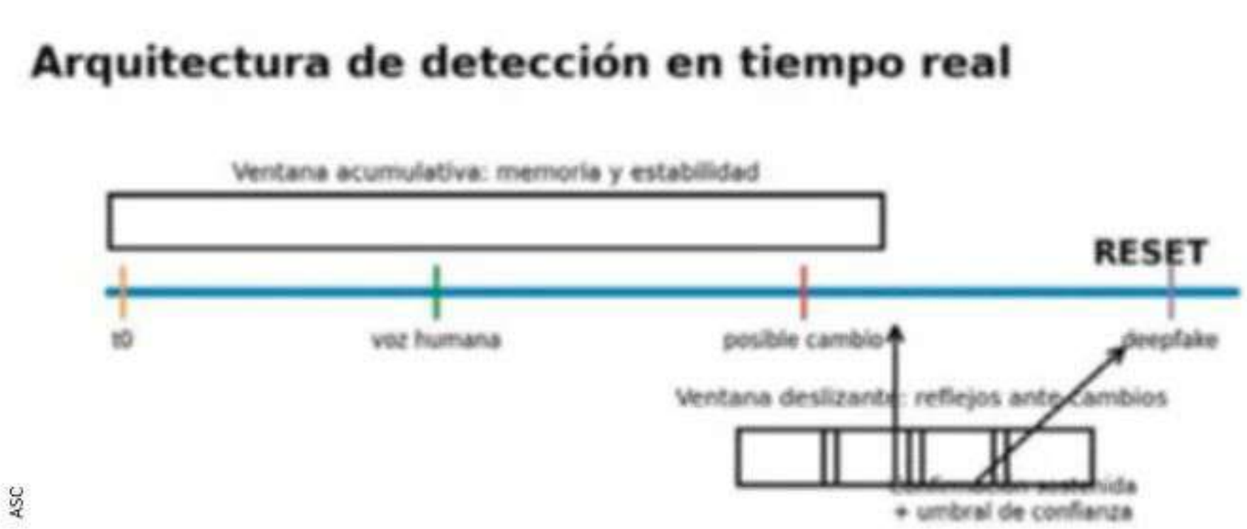


Figura 2. El sistema combina memoria y reflejos: una ventana acumulativa aporta estabilidad y una ventana deslizante detecta cambios de contexto en tiempo real.

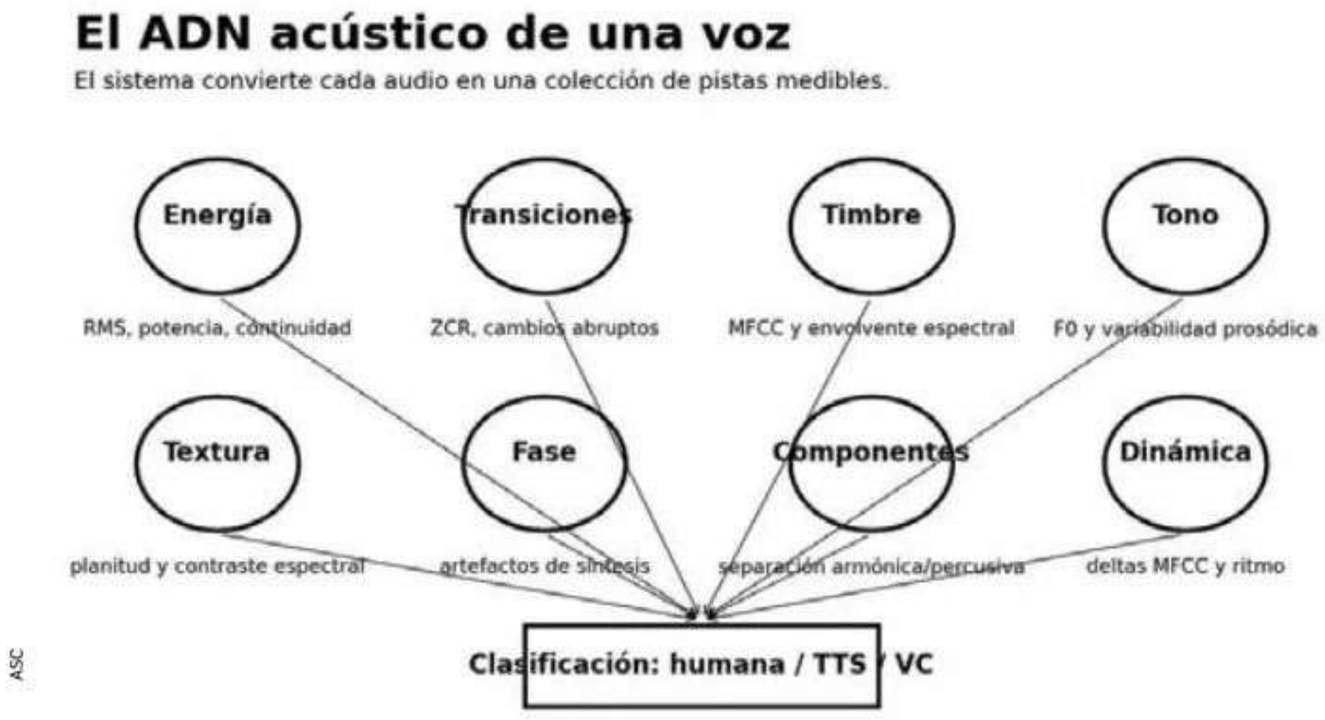


Figura 3. Cada descriptor acústico actúa como una pista: energía, timbre, tono, textura, fase y dinámica temporal ayudan a separar voz humana, TTS y VC.

chado. Su ventaja es que proporciona estabilidad, porque toma decisiones con más contexto y no se deja engañar fácilmente por un pico de ruido aislado. Su problema es que puede arrastrar el pasado: si el audio cambia de naturaleza a mitad de camino, la historia anterior puede sesgar la decisión.

La segunda es una ventana deslizante: analiza fragmentos muy cortos de forma continua, casi como un radar. No tiene memoria, y por eso reacciona rápido ante cambios locales. Si detecta de manera sostenida que la clase ha cambiado —por ejemplo, de voz humana a voz sintética— puede activar un reinicio de la ventana acumulativa.

La combinación es ingeniosa: una parte del sistema aporta memoria y estabilidad; la otra, reflejos. Una escucha el relato completo; la otra vigila los sobresaltos.

El sistema incluye una lógica de «reset» o reinicio. Si la ventana deslizante detecta con suficiente confianza una nueva clase durante varias ventanas consecutivas, se considera que puede haber ocurrido un cambio real de contexto. Esto resulta especialmente importante para audios manipulados parcialmente. Imagine una grabación donde los primeros segundos son auténticos y después aparece un fragmento sintético. Un sistema que solo acumula información podría quedarse «anclado» en la primera impresión. El análisis dual busca evitar precisamente eso: que el pasado tape la mentira del presente.

EL DETECTOR DE ANOMALÍAS: CUANDO CADA RASGO DE LA VOZ VOTA

Además de decidir si una voz parece real o artificial, el sistema también busca señales extrañas dentro del audio. Para ello, compara sus características con lo que sería esperable en una voz humana. Si algún rasgo se desvía demasiado (por ejemplo, en la intensidad, el timbre o la forma en que cambia el sonido), el sistema lo marca como una posible pista de manipulación. El enfoque se completa con un sistema de «votación por características»: cada rasgo acústico vota por la clase a la que más se parece.

Muchos sistemas actuales para detectar voces falsas son muy potentes, pero también difíciles de interpretar. Pueden analizar enormes cantidades de información y acertar con frecuencia, pero a menudo funcionan como una caja negra: indican si una voz parece real o falsa, sin explicar con claridad qué señales les han llevado a esa conclusión.

La propuesta de este trabajo va en otra dirección: usa descriptores acústicos extraídos «a mano», más interpretables, para identificar qué partes de la señal delatan la falsificación. En lugar de limitarse a perseguir el máximo rendimiento, busca una pregunta igual de crucial: ¿qué tiene una voz falsa que la hace falsa?. El siguiente gráfico muestra la importancia normalizada de algunas características acústicas en varios modelos. El sistema no escucha una voz como lo haría una persona, sino que compara decenas de pequeñas huellas físicas del sonido y observa cuáles pesan más para separar lo humano de lo artificial.

EL ENGAÑO DEL FUTURO SONARÁ MUY HUMANO

Los *deepfakes* de voz ya no pertenecen a la ciencia ficción. Pueden imitar, suplantar, emocionar y convencer. Pero también dejan huellas. Algunas son diminutas. Otras se esconden en la energía, en la frecuencia, en la textura espectral o en la forma en que una voz atraviesa el tiempo.

La investigación apunta a un futuro en el que los detectores no solo escuchen, sino que «lean» la anatomía acústica de una voz. Sistemas capaces de actuar en tiempo real, distinguir entre voz humana, voz sintetizada y voz convertida, y explicar qué rasgos han levantado la sospecha.

La próxima vez que un audio viral parezca demasiado perfecto, quizá convenga preguntarse: ¿habla una persona... o habla una máquina que ha aprendido a respirar como nosotros? ☐

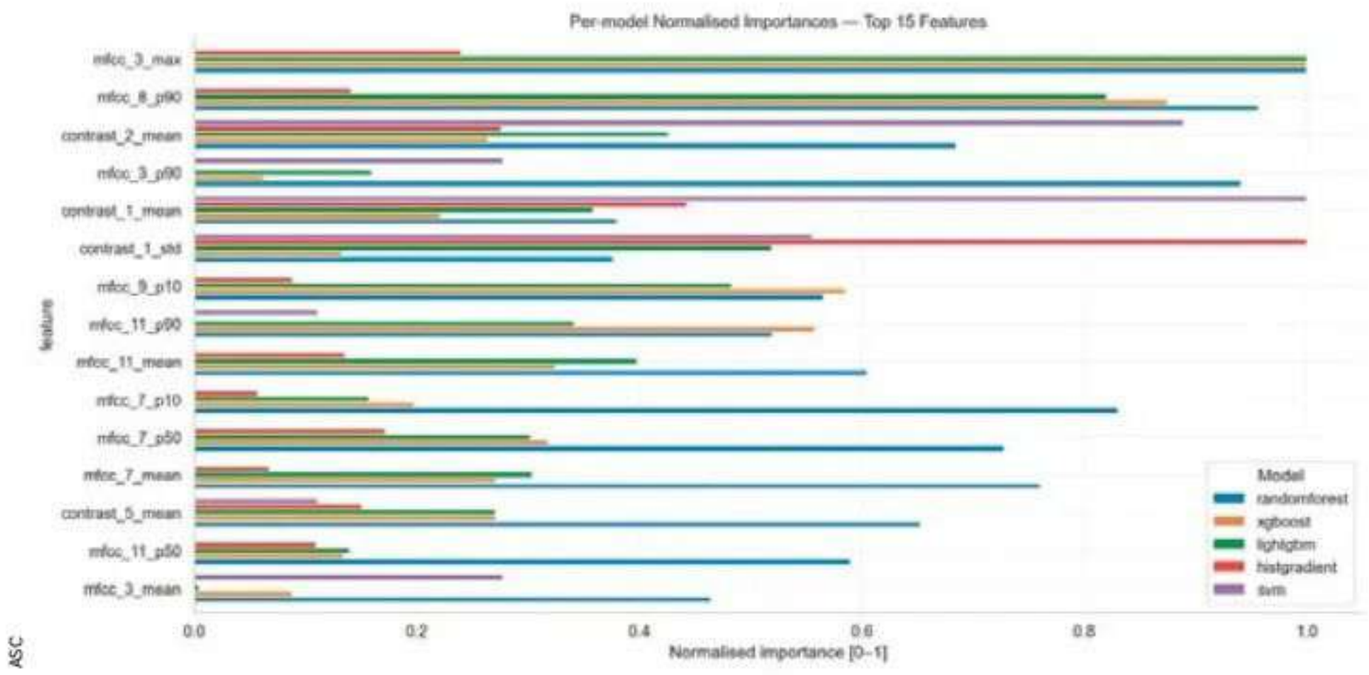


Figura 4. Importancia normalizada de características acústicas en los modelos de clasificación. El gráfico ayuda a interpretar qué rasgos de la señal son más relevantes para distinguir entre voz humana y *deepfake*.



ASC

¿SIRVE DE ALGO ESTUDIAR EMPRENDIMIENTO?

LO QUE DECIDE EL AMBIENTE DE TU UNIVERSIDAD



Julio Segundo Gallardo
Licenciado en Administración y Dirección de Empresas. Máster en Economía y Desarrollo Territorial. Universidad de Cádiz.



Mª José Pérez Narváez
Master Oficial de Creación de Empresas, Nuevos Negocios y Proyectos Innovadores de la Universidad de Cádiz (Masterup).



Carmen Virues Vega
Doctora en Ciencias Sociales y Jurídicas por la Universidad de Cádiz.



José Manuel Sánchez Vázquez
Catedrático de Organización de Empresas en la Universidad de Cádiz.

Un estudio con más de 58 000 universitarios españoles vincula los cursos con más confianza en uno mismo, y esa confianza se traduce con más fuerza en intención de emprender cuando el clima de la universidad acompaña.

Imagina a dos estudiantes con la misma formación: han cursado la misma asignatura de creación de empresas, han hecho el mismo trabajo en grupo y han escuchado a los mismos ponentes invitados. Uno estudia en un campus con incubadora, mentores y compañeros que comentan sus proyectos por los pasillos. El otro, en una universidad donde emprender parece un trámite ajeno. ¿Saldrán los dos con las mismas ganas de montar un negocio?

Esa es, en el fondo, la pregunta que aborda un equipo del Departamento de Organización de Empresas de la Universidad de Cádiz en un artículo publicado en *The International Journal of Management Education*. No es un asunto menor: en las últimas décadas, las universidades de Europa y Estados Unidos han multiplicado sus cursos, talleres y actividades de emprendimiento, pero la literatura científica sigue sin ponerse de acuerdo sobre si funcionan. Según recoge el propio trabajo, algunos estudios encuentran una relación positiva con la intención de emprender, otros no hallan ninguna y hay quienes describen resultados adversos.

DOS PIEZAS INTERMEDIAS: CONFIANZA Y CLIMA

Para desenredar esa contradicción, los autores proponen mirar más allá del vínculo directo entre «hacer un curso» y «querer emprender», e incorporar dos piezas.

La primera es la autoeficacia emprendedora: la confianza que una

persona tiene en su capacidad para desempeñar las tareas de un emprendedor, como descubrir oportunidades de negocio, crear productos nuevos, pensar con creatividad o comercializar ideas. No mide cuánto sabe alguien, sino cuánto cree que puede hacerlo. Es el «yo puedo con esto», y la literatura que repasa el estudio la sitúa entre los predictores más sólidos de la intención de emprender.

La segunda es el clima emprendedor universitario, es decir, la percepción de los estudiantes sobre si su universidad inspira ideas de negocio, ofrece un ambiente favorable, anima a emprender y facilita el asesoramiento. Es el «aquí se puede».

La hipótesis es que ambas piezas encajan en cadena: la educación emprendedora se asociaría con más autoeficacia, y esta con más intención de emprender, pero la fuerza de esa segunda conexión dependería del clima del campus. Los estadísticos lo llaman un modelo de mediación moderada.

UNA ENCUESTA CON MÁS DE 58 000 ESTUDIANTES

Para ponerlo a prueba, el equipo recurrió a GUESSS, una encuesta internacional bienal nacida en 2003 en la Universidad de St. Gallen (Suiza), cuya décima edición reúne a más de 226 000 estudiantes de 57 países. Los autores trabajaron con la muestra española de 2023, de 76 889 participantes. Como su interés era la intención de emprender, descartaron a quienes ya tenían o estaban poniendo en marcha un negocio, lo que dejó una muestra final de 58 438 estudiantes.

El retrato es variado: el 78,2 % cursaba un grado, el 16,4 % un máster y el 4,2 % un doctorado; el 61,7 % eran mujeres, la edad media rondaba los 24 años y había representación de ciencias sociales, empresa, ingeniería, salud, derecho o humanidades, entre otras áreas.

La educación emprendedora se midió de forma deliberadamente sencilla: haber cursado o no, al menos, una asignatura de emprendimiento, ya fuera optativa, obligatoria o dentro de un programa específico. La autoeficacia y el clima se evaluaron con cuatro afirmaciones cada uno, y la intención de emprender con seis, todas en una escala del 1 al 7. Una de las afirmaciones sobre el clima, por ejemplo, era: «El ambiente de mi universidad me inspira a desarrollar ideas para nuevos negocios».

LO QUE DICEN LOS NÚMEROS

Los resultados apuntan en la dirección que planteaba el modelo. Quienes habían cursado alguna asignatura de emprendimiento mostraban más autoeficacia emprendedora, y esta se asociaba a su vez con una mayor intención de crear una empresa. Tras controlar la edad, el género y los antecedentes familiares de empresa, el coeficiente de la educación emprendedora sobre la autoeficacia fue de 0,513 y el de la autoeficacia sobre la intención, de 0,554, ambos estadísticamente significativos. La educación emprendedora conservaba, además, una asociación directa más modesta con la intención (0,353).

En conjunto, el modelo explica alrededor de una cuarta parte de la variación en la intención de emprender: un 25 % sin variables de control y un 27 % con ellas. Los autores subrayan que, con una muestra tan grande, casi cualquier relación resulta estadísticamente significativa, por lo que este porcentaje dice más sobre la relevancia práctica del modelo que los valores de significación.

CUANDO EL AMBIENTE CAMBIA LA PENDIENTE

La pieza más llamativa es el papel del clima. Al comparar a los estudiantes que perciben un clima emprendedor bajo, medio o alto en su universidad, la relación entre confianza e intención se hacía más pronunciada a medida que el clima mejoraba. Por cada punto adicional de autoeficacia, la intención



UCA

El clima emprendedor universitario, que la universidad inspire ideas de negocio, anima a emprender y facilita el asesoramiento. En la imagen, espacio de Coworking UCA Emprende, Centro de Transferencia Empresarial »El Olivillo». de la Universidad de Cádiz.



UCA

Un estudiante con una alta confianza podría desilusionarse y renunciar a emprender si detecta un ambiente muy burocrático o poco receptivo a sus inquietudes. En la imagen, Sala Imagina, del centro de Transferencia Empresarial.

de emprender aumentaba 0,499 puntos en un clima bajo, 0,559 en uno medio y 0,605 en uno alto. El incremento es gradual, pero se mantiene al repetir el análisis sin variables de control.

Dicho de otro modo, la misma confianza en uno mismo parece rendir más cuando el entorno la respalda. El índice de mediación moderada fue de 0,016, con un intervalo de confianza que no incluye el cero, lo que indica que el efecto indirecto de la educación emprendedora sobre la intención, a través de la autoeficacia, es algo mayor cuanto más favorable es el clima universitario. Los autores lo resumen con una distinción muy gráfica: la autoeficacia sería el «puedo hacerlo» y el clima, el contexto que ayuda a convertirlo en un «lo haré».

QUÉ PUEDEN HACER LAS UNIVERSIDADES

La principal conclusión práctica es que multiplicar las asignaturas de emprendimiento podría no ser suficiente. Según los autores, centrarse solo en las intervenciones pedagógicas para reforzar la confianza de los estudiantes puede desaprovechar parte de la inversión si el ecosistema de la universidad no acompaña.

Entre las medidas que plantean figuran el aprendizaje experiencial y la mentoría, la presencia de antiguos alumnos emprendedores como referentes en seminarios, las incubadoras y los espacios de *coworking* en el campus, los programas de capital semilla, las competiciones de *startups* y los *hackatones*, además de una cultura que trate el fracaso como parte del aprendizaje en lugar de estigmatizarlo. Como posible explicación de por qué importa tanto el entorno, sugieren que un estudiante con alta confianza podría desilusionarse y renunciar a emprender si percibe un ambiente burocrático o poco receptivo.

La misma confianza en uno mismo parece rendir más cuando el entorno la respalda

UNA ADVERTENCIA IMPORTANTE: LA ASOCIACIÓN NO ES CAUSALIDAD

Los propios autores insisten en leer los resultados con prudencia. El diseño es transversal, es decir, los datos se recogieron en un único momento, así que lo que se observa son asociaciones y no relaciones causales demostradas. No puede descartarse, por ejemplo, que los estudiantes con una intención elevada sean quienes más se apuntan a asignaturas de emprendimiento.

A ello se suman otras limitaciones: la encuesta podría atraer a estudiantes ya interesados en emprender, los datos proceden únicamente de universidades españolas, y medir la educación emprendedora con un simple «sí o no» oculta diferencias en la duración, la calidad y el enfoque de los cursos. Como futuras líneas de trabajo, el equipo propone estudios longitudinales o experimentales, e incluso seguir a los estudiantes en el tiempo para comprobar si esas intenciones acaban convirtiéndose en empresas reales. □

Artículo creado a partir del trabajo *Unpacking the link between entrepreneurial education and intention: A moderated mediation model of self-efficacy and university entrepreneurial climate*, de Julio Segundo, María J. Perez, Carmen Virues y Jose M. Sánchez, del Departamento de Organización de Empresas de la Universidad de Cádiz, publicado en The International Journal of Management Education 24 (2026) 101512. DOI: 10.1016/j.ijme.2026.101512

muy SCIENCE FEST

LA CIENCIA TE ESPERA EN MADRID Y VALENCIA

Ven a vivir una velada llena de conocimiento, emoción y sorpresas de la mano de los mejores científicos y divulgadores del momento.

MADRID
26 DE NOVIEMBRE
TEATRO CAPITOL


JOSÉ RAMÓN ALONSO


MIGUEL ALCUBIERRE


REBECA ATENCIA


JUAN LUIS ARSUAGA


JAVIER CORTÉS


ANTONIO JAVIER FUMANAL


LLUÍS MONTOLIU


MARÍA DOLORES DE LA PUERTA

VALENCIA
10 DE DICIEMBRE
MUSEU DE LES CIÈNCIES


TERESA ARNANDIS


VICENT J. MARTÍNEZ


LORENA SEGURA


LLUÍS MONTOLIU


PEDRO CAVADAS


SANTIAGO CASTELLANOS


SAUL MARTÍNEZ

SEAT ARONA: EL SUV URBANO LÍDER, QUE SIGUE MARCANDO EL RITMO

OCHO AÑOS EN CABEZA Y UNA GAMA QUE MANTIENE SU TIRÓN

El Arona estrenó en enero cambios de diseño y mejoras en el habitáculo en otro año de buenos resultados para SEAT en España.

El SEAT Arona terminó 2025 como el SUV urbano más vendido en España, por séptimo año consecutivo. En 2026, el liderazgo continúa: entre enero y septiembre sumó 16.406 matriculaciones y volvió a encabezar su categoría. Si conserva el primer puesto hasta diciembre, serán ocho años seguidos.

Ese resultado forma parte de un buen año para SEAT. La marca matriculó 52.660 coches en España durante los nueve primeros meses, un 4,3 % más que en el mismo periodo de 2025. El Ibiza también destaca: con 22.020 unidades, ocupa el segundo puesto entre todos los modelos más vendidos. El Arona, por su parte, quedó sexto en la clasificación general, además de liderar los SUV urbanos.

Con esas cifras como telón de fondo, el Arona llega renovado. Los cambios se ven primero en el frontal, donde la parrilla hexagonal gana tamaño y los faros Full LED se estilizan —de serie en toda la gama—. También estrena paragolpes y cambia la ubicación de los faros antiniebla. A esa imagen más marcada se suman llantas de 16 a 18 pulgadas, nuevos colores de carrocería y la posibilidad de elegir el techo en negro Midnight o gris Manhattan.

El habitáculo también recibe una puesta al día. Los nuevos tejidos estampados de los asientos y las superficies suaves al tacto dan al interior un aspecto más cuidado. En el acabado FR, los asientos deportivos tipo Bucket sujetan mejor el cuerpo. El puesto de conducción mantiene los mandos a mano y cuenta con un Digital Cockpit de 8 pulgadas, o de 10,25" de serie a partir del acabado Style. Por su parte, la pantalla de info-entretenimiento es de 8,25 pulgadas y, de forma opcional o de serie en los paquetes Style+ y FR+, es de 9,2 pulgadas.

ENLACE AL CANAL
x.com/byneontelegram
Ó escanea el código QR:





La gama mecánica acompaña esa versatilidad. Los motores TSI ofrecen 95, 115 y 150 CV: el de 95 CV lleva cambio manual de cinco velocidades; el de 115 puede elegirse con cambio manual de seis marchas o DSG de siete, y el 1.5 TSI de 150 CV se combina con DSG y cuenta con el sistema de desconexión de cilindros ACT cuando se circula a vela, reduciendo drásticamente su consumo al circular en ciertas circunstancias por autopista. En ciudad, el chasis y la suspensión buscan una respuesta ágil; en carretera, ofrecen estabilidad. La posición elevada del asiento, además, permite ver el tráfico desde más arriba.

A la conducción se suman asistentes inteligentes a la conducción que ayudan en distintos momentos del trayecto, y consiguen conducción semiautónoma de Nivel 2. El Arona incorpora de serie en toda su gama el asistente de frenada de emergencia Front Assist, asistente de mantenimiento automático en el carril, reconocimiento de señales de tráfico, asistente de velocidad inteligente, sistema de llamada de emergencia automática eCall, o el y detector de fatiga y distracciones entre otros elementos. También puede equipar, de serie en los siguientes acabados, control de crucero adaptativo, asistente de viaje, control de ángulo muerto y aparcamiento automático. La conectividad completa el conjunto, y también de serie en toda la gama: Full Link inalámbrico permite usar Apple CarPlay y Android Auto, mientras SEAT CONNECT enlaza el coche con la aplicación My SEAT.

El Arona+ 1.0 TSI de 95 CV parte de 19.760 euros. Con SEAT Flex, la cuota es de 130 euros al mes durante 96 meses, con una entrada de 9.795 euros. Así se completa una actualización que conserva el formato compacto del Arona y pone al día su diseño, su interior y su equipamiento mientras el modelo sigue al frente de su segmento.



UN MALETERO PARA EL DÍA A DÍA

Sus 400 litros de capacidad lo sitúan entre los mejores de su categoría. El doble fondo ayuda a ordenar el equipaje y los cuatro ganchos permiten sujetarlo. Cuando hace falta llevar algo más voluminoso, los asientos traseros se dividen y se reclinan.



MÚSICA, MAPAS Y CONTACTOS A BORDO

La pantalla central puede ser de 8,25 o 9,2 pulgadas en función del acabado y permite usar Apple CarPlay y Android Auto con Full Link inalámbrico siempre de serie. SEAT CONNECT también enlaza el coche con la aplicación My SEAT, para gestionar ciertas funciones del Arona a distancia.

ALFA ROMEO CUOREROSSO:

EL FUTURO DE LA MARCA SE DIBUJA EN ROJO

Un coupé 2+2 presentado en París explora nuevas formas de unir diseño, tecnología y placer de conducción

El Salón del Automóvil de París 2026 ha sido el escenario del estreno mundial del Alfa Romeo Cuorerosso. Este *coupé* conceptual reúne tres elementos asociados a la marca: el espíritu italiano, la deportividad y el rojo. Con ellos, propone una nueva interpretación de su identidad y explora cómo podrían convivir el diseño, la tecnología y el placer de conducir en una nueva era de movilidad.

Cuorerosso no adelanta un coche de producción ni una fecha de lanzamiento. Su propósito es mostrar una dirección: la de una futura gama multienergía, con modelos de hasta 4,7 metros y arquitecturas capaces de admitir distintas tecnologías. La prioridad, según la marca, seguirá siendo crear coches que despierten emociones y mantengan al conductor en el centro, sea cual sea el sistema de propulsión elegido.

Esa visión se resume en *Bellezza Necessaria*, una filosofía que busca eliminar lo superfluo para que cada elemento tenga una razón de ser. El Centro Stile de Alfa Romeo partió de un volumen continuo que fue esculpiendo hasta definir las proporciones y las superficies del *concept*. El resultado es una carrocería de líneas fluidas, con una forma que recuerda al metal líquido y transmite movimiento incluso con el coche parado.

El Cuorerosso mide 4,7 metros de largo, 1,98 de ancho y 1,33 de alto. Su silueta combina las proporciones de un gran turismo con la presencia de un superdeportivo, mientras que la línea de cuña y la parte trasera truncada —la *Coda Tronca*— contribuyen a su eficiencia aerodinámica. Alfa Romeo anuncia un coeficiente Cx de 0,28. En el frontal, el *Scudetto* y los faros reinterpretan el característico *Trilobo* de la marca; detrás, una luneta con forma de escudo y dos pilotos circulares completan el diseño.

El habitáculo sigue la misma idea de simplificar sin perder el vínculo



NOTA: 4,90 ★★★★★

con quien conduce. Los cuatro asientos individuales, la consola central alargada y el salpicadero envolvente forman un espacio centrado en el conductor. Frente a él, el *Cannocchiale Vivente* —una reinterpretación de la instrumentación tradicional de Alfa Romeo— puede mostrar dos configuraciones: una con dos módulos separados y otra que los reúne en una sola pieza.

El volante *steer-by-wire* combina tecnología electrónica con controles de respuesta háptica y acústica. En el túnel central, la llamada *Pantalla de Magma,* integra una superficie táctil, un mando giratorio y los controles de los modos de conducción.

El rojo también organiza el interior. La carrocería estrena el tono Liquid Ink Red, cuya apariencia cambia con la luz y el ángulo de visión. Dentro, el color se combina con Alcantara, nubuck y metales de tonos inspirados en el titanio.

La propuesta mecánica del *concept* es igualmente abierta. Alfa Romeo contempla para sus futuros modelos opciones eléctricas, híbridas enchufables, microhíbridas e híbridas convencionales. Para imaginar el máximo rendimiento, plantea un sistema híbrido completo con motor V6 2.9, tracción total Q4 y eje de transmisión de fibra de carbono. La idea que guía el proyecto es que la innovación y la eficiencia sigan al servicio de la experiencia al volante.



UNA ESCULTURA AERODINÁMICA

El Cuorerosso combina una carrocería de superficies continuas con la característica *Coda Tronca* y un difusor integrado. Alfa Romeo cifra su coeficiente aerodinámico en 0,28. Las llantas reinterpretan el diseño telefónico con seis elementos circulares y aberturas inspiradas en el *Scudetto*.





EL ROJO TAMBIÉN SE TOCA

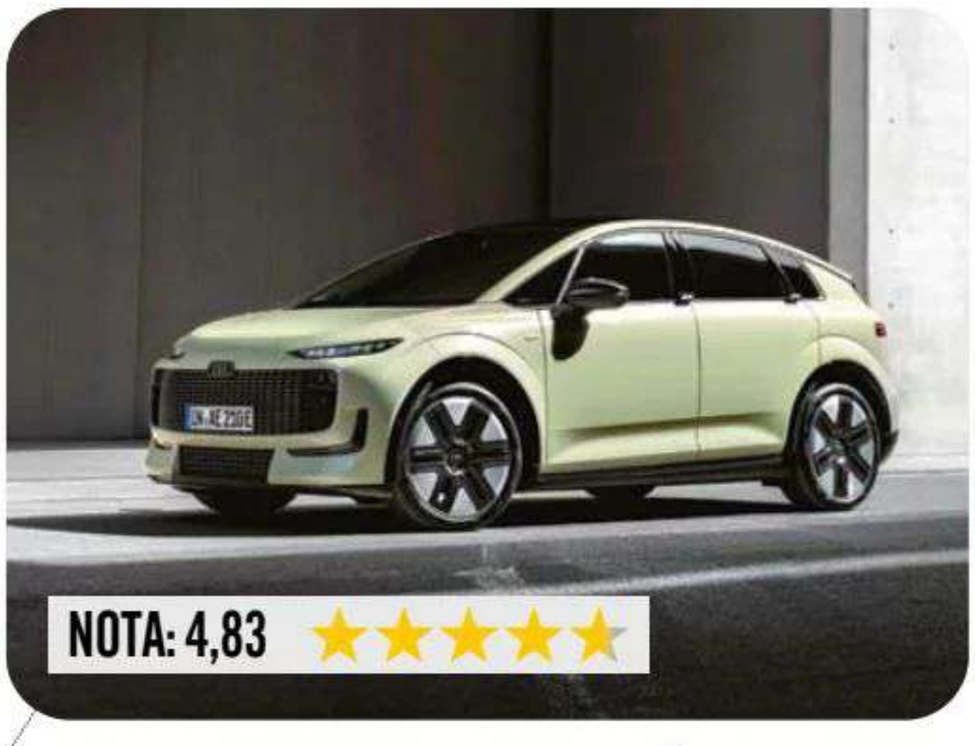
El interior mezcla Alcantara, nubuck Poltrona Frau y metales de tonos inspirados en el titanio. Entre los materiales experimentales figura un cuero regenerado con un 60 % de residuos postindustriales. En el salpicadero, un tejido ligero toma como referencia la ropa técnica de navegación de Luna Rossa.



UN DEPORTIVO QUE RECUPERA EL ESPÍRITU DE LOS 70 CON DISEÑO FUTURISTA

EL ALPINE A310 VISION recupera uno de los deportivos más emblemáticos de la marca francesa y lo imagina medio siglo después. Presentado en el Salón de París, este prototipo combina la silueta baja y afilada del A310 original con una estética retrofuturista de lo más llamativa. Mide 4,55 metros de largo y apenas 1,18 de alto, con una carrocería de aluminio, faros integrados y un alerón trasero dividido en dos piezas. Su habitáculo apuesta por formas orgánicas, colores atrevidos y mandos físicos inspirados en los equipos de alta fidelidad. Una mirada al pasado que deja volar la imaginación sobre los deportivos Alpine del futuro.

Precio: no anunciado. Es un prototipo de diseño sin producción prevista.



AUDI A2 E-TRON: EL ELÉCTRICO MÁS EFICIENTE DE LA MARCA SORPRENDE CON HASTA 646 KM DE AUTONOMÍA

EL AUDI A2 E-TRON recupera un nombre conocido y lo adapta a una nueva etapa completamente eléctrica. Fabricado en Alemania, destaca por su bajo consumo de 12,8 kWh/100 km y una autonomía de hasta 646 kilómetros, cifras que lo convierten en una opción interesante para el día a día y los viajes largos. La gama ofrece cuatro niveles de potencia, de 170 a 326 CV, y tres tamaños de batería. Por dentro combina amplitud y tecnología, con pantallas de 11,9 y 12,8 pulgadas y asistente de voz con IA. Un compacto que demuestra que el tamaño no tiene por qué limitar las posibilidades de un eléctrico.

Precio: desde 37 760 euros.



EL REGRESO DE UN ICONO CONVERTIDO EN UN ELÉCTRICO DE 15 000 EUROS

EL MÍTICO CITROËN 2 CV vuelve a escena con un prototipo eléctrico que recupera el encanto del original y lo adapta a nuestros días. Presentado en el Salón de París, el 2 CV Concept mide apenas 3,76 metros y conserva sus característicos faros redondos, guardabarros curvos y techo de lona enrollable. Por dentro sorprende con un ambiente colorido, asientos desmontables, una pantalla de 8 pulgadas y soluciones tan curiosas como una radio portátil o una cesta que sustituye a la consola central. Su versión de producción está prevista para 2028, con la intención de recuperar el espíritu de aquel coche que hizo historia.

Precio previsto: alrededor de 15 000 euros.



EL NUEVO ELÉCTRICO FABRICADO EN EUROPA QUE CONVIERTE REDES DE PESCA EN ALFOMBRILLAS

EL HYUNDAI IONIQ 3 amplía la familia eléctrica de la marca con un formato compacto, diseño futurista y mucho espacio para el día a día. Su silueta aerodinámica, denominada Aero Hatch, se combina con la característica iluminación pixelada de Hyundai y un interior protagonizado por dos pantallas de 12,9 y 14,6 pulgadas. El modelo incorpora materiales reciclados, como el hilo ECONYL®, elaborado a partir de redes de pesca recuperadas y otros residuos de nailon, que se utiliza en sus alfombrillas. Puede elegirse con una batería de 42,2 kWh y hasta 344 kilómetros de autonomía, o con otra de 61 kWh que eleva la cifra hasta 497 kilómetros.
Precio: por confirmar.

NOTA: 4,56 ★★★★½



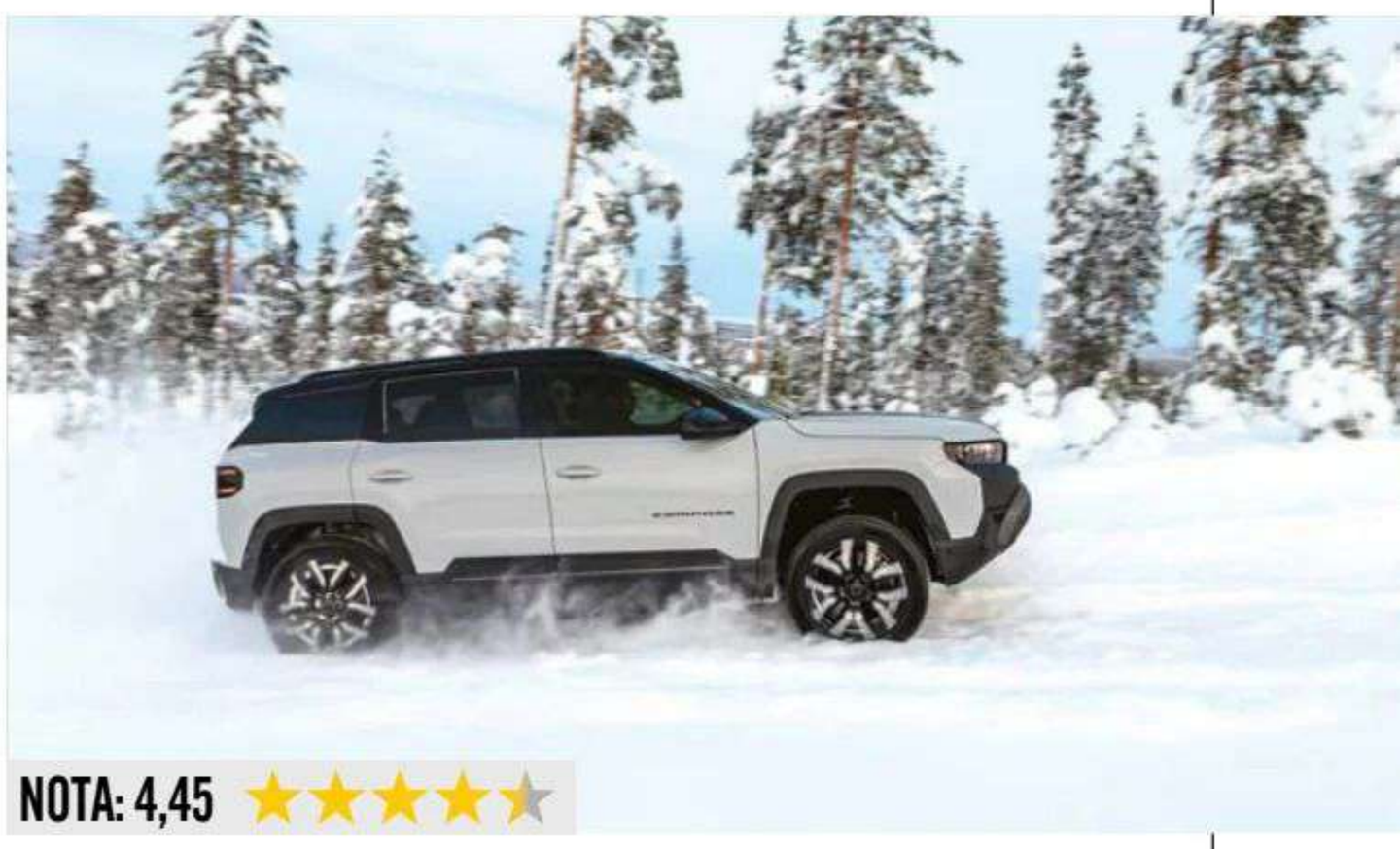
UN SUV DE LUJO FRANCÉS CON HASTA 740 KILÓMETROS DE AUTONOMÍA ELÉCTRICA

EL NUEVO DS Nº7 combina diseño elegante, tecnología y un interior pensado para viajar con la comodidad de una cabina de primera clase. Mide 4,66 metros, ofrece hasta 560 litros de maletero y destaca por detalles como la iluminación DS LUMINASCREEN, la pantalla central de 16 pulgadas y unos asientos que pueden incluir calefacción, ventilación, masaje y un sistema que aporta calor a la nuca. La gama ofrece una versión híbrida de 145 CV y alternativas 100 % eléctricas de 230 y 245 CV, esta última con hasta 740 kilómetros de autonomía WLTP.
Precio: DS Nº7 E-TENSE desde 46 564 euros.

NOTA: 4,68 ★★★★½

UN SUV ELÉCTRICO CON 375 CV Y GANAS DE DESAFIAR AL INVIERNO

EL JEEP COMPASS 4XE lleva la tracción total eléctrica a un terreno mucho más deportivo. Con 375 CV y dos motores eléctricos, uno en cada eje, acelera de 0 a 100 km/h en solo 4,9 segundos y ofrece hasta 606 kilómetros de autonomía. Su sistema de tracción integral ajusta la fuerza de cada rueda para mantener el control incluso sobre nieve o hielo, como ha demostrado en las pruebas realizadas cerca del Círculo Polar Ártico. Cuenta con cinco modos de conducción Selec-Terrain, incluido uno Sport que mejora la respuesta del acelerador y da más protagonismo al eje trasero. Un *jeep* que combina prestaciones de deportivo con esa capacidad para enfrentarse a terrenos difíciles que forma parte de la historia de la marca.
Precio: por confirmar.



NOTA: 4,45 ★★★★½

MAZDA6E 2027: MÁS AUTONOMÍA, CARGA RÁPIDA Y UN INTERIOR CON NUEVOS AIRES



EL MAZDA6E 2027 se actualiza con mejoras que hacen más interesante esta berlina 100 % eléctrica, especialmente para quienes viajan a menudo. Estrena una batería LFP de 78 kWh, con hasta 560 kilómetros de autonomía y carga rápida de 200 kW, además de un motor de 258 CV. La gama crece con el acabado Homura Plus, de aspecto más deportivo, tapicería de cuero Nappa negro y detalles en rojo, mientras que el Takumi Plus incorpora un elegante interior Warm Beige. Mazda ha revisado la suspensión, la frenada regenerativa y los asistentes de conducción, además de facilitar la búsqueda de cargadores desde el navegador. Una actualización que pone el acento en disfrutar más del coche, tanto en carretera como en el día a día.

Precio: por confirmar para el modelo 2027.

HASTA 810 KILÓMETROS DE AUTONOMÍA Y CARGA RÁPIDA EN SOLO 16 MINUTOS: UN SUV QUE PIENSA A LO GRANDE

El Volvo EX60 estrena una nueva generación de tecnología eléctrica con cifras que sorprenden: hasta 810 kilómetros de autonomía, arquitectura de 800 voltios y la posibilidad de recuperar hasta 340 kilómetros en apenas 10 minutos de carga. La gama ofrece tres versiones de 374, 510 y 680 CV, esta última capaz de acelerar de 0 a 100 km/h en solo 3,9 segundos. Por dentro mantiene el diseño escandinavo de Volvo, con un ambiente minimalista, Google Gemini integrado y soluciones prácticas para viajar en familia. Destacan sus 1647 litros de capacidad máxima de carga y un innovador cinturón de seguridad multiadaptativo.

Precio: desde 64 900 euros.





NOTA: 4,59 ★★★★½

SOLO 200 UNIDADES PARA ESPAÑA: ASÍ ES EL HÍBRIDO MÁS EXCLUSIVO DE RENAULT

EL RENAULT RAFALE HYPNOTIC muestra la faceta más exclusiva del SUV insignia de la marca francesa, con una edición limitada a 1500 unidades numeradas para Europa, de las que 200 llegarán a España. Destaca por su carrocería en negro selva satinado, llantas de 21 pulgadas y detalles en negro brillante que refuerzan su imagen deportiva. En el interior encontramos un techo panorámico Solarbay, sonido Harman Kardon y *head-up* display. Bajo el capó mantiene la mecánica híbrida enchufable de 300 CV, con tracción total y hasta 105 kilómetros de autonomía eléctrica. Una versión muy especial para quienes buscan un Rafale con personalidad propia y un toque extra de sofisticación.
Precio: por confirmar.



NOTA: 4,71 ★★★★½

ŠKODA EPIQ SPORTLINE: EL SUV ELÉCTRICO URBANO SACA SU LADO MÁS DEPORTIVO

EL ŠKODA EPIQ SPORTLINE añade un toque más deportivo al SUV eléctrico más pequeño de la marca. Estrena detalles en negro brillante, llantas exclusivas de 19 pulgadas, parrilla iluminada y faros Matrix LED de serie. Por dentro mantiene su enfoque práctico, pero gana personalidad con asientos deportivos tapizados en Suedia, volante calefactado, iluminación ambiental y carga inalámbrica para el móvil. Puede elegirse con 136 CV y más de 310 kilómetros de autonomía, o con 211 CV y hasta 440 kilómetros, suficientes para plantearse escapadas más largas. La carga rápida permite recuperar del 10 al 80 % en unos 24 minutos. El Sportline demuestra que un eléctrico urbano puede tener una imagen más atrevida sin perder su utilidad cotidiana.
Precio: por confirmar.

MI OPINIÓN

BASTA YA DE LLANTOS

LA INDUSTRIA EUROPEA DEL AUTOMÓVIL TIENE MOTIVOS MÁS QUE SUFICIENTES PARA MOSTRAR SU PREOCUPACIÓN ANTE LA OFENSIVA DE LOS FABRICANTES CHINOS. Estos han llegado a Europa para quedarse y están conquistando posiciones, ampliando sus redes comerciales y ganándose la confianza de unos consumidores que encuentran productos cada vez más atractivos. La cuestión no es cómo evitar su llegada, sino cómo responder a ella.
El reciente Salón del Automóvil de París ha demostrado que la industria europea conserva intacta buena parte de su capacidad de reacción. Marcas como Citroën y Peugeot han afrontado el futuro reivindicando sus valores históricos, apostando por el diseño y la innovación.
En esa misma dirección se mueve el Grupo Volkswagen y también CUPRA. Europa dispone de fabricantes extraordinarios, una ingeniería de referencia, una historia industrial igualable y marcas que siguen despertando admiración en todo el mundo. Esas fortalezas deben convertirse ahora en su principal arma competitiva. Porque la batalla del automóvil no se gana únicamente en los despachos de Bruselas. Se gana en los concesionarios, con productos que despierten emociones, ofrezcan calidad y tecnología y, especialmente, tengan un precio competitivo.
Defender la industria europea exige reclamar unas reglas de juego justas, pero también impulsar la innovación, acelerar las decisiones y recuperar la iniciativa comercial. Ambas estrategias no son incompatibles. Al contrario, deben avanzar juntas. Por eso, ha llegado el momento de pasar de la preocupación a la acción. De las reivindicaciones a las propuestas. De la defensa al ataque.

José Manuel González, coordinador de la sección *Motor*. No te pierdas su blog en www.muyinteresante.es/curiosidades-motor





CUPRA LLEVA A PARÍS UN RAVAL CON GENES DE COMPETICIÓN

El Raval VZ CUSTOM CUPRA by ABT fue la gran novedad de la marca en el Paris Motor Show, donde también presentó el monoplaza GEN4 de CUPRA KIRO y mostró su visión de futuro con el prototipo Tindaya.

CUPRA se estrenó en el Paris Motor Show con varias novedades que conectan dos de sus apuestas: la movilidad eléctrica y la competición. La principal fue una nueva versión del Raval, personalizada junto a ABT y con elementos inspirados en las carreras. El salón, celebrado del 12 al 18 de octubre, también sirvió para presentar el monoplaza con el que CUPRA KIRO afrontará la era GEN4 de la Fórmula E, además de mostrar el CUPRA Tindaya Showcar y las últimas novedades de la colaboración con Sennheiser.

El Raval llega a París en un momento de fuerte demanda. Desde su lanzamiento en abril, el modelo ha superado los 51.000 pedidos en todo el mundo, más del doble de la previsión inicial, y acumula cerca de 15.000 unidades entregadas. En España, donde ya se aceptan pedidos de la versión VZ CUSTOM CUPRA by ABT, el Raval suma 1.192 matriculaciones en sus primeros cuatro meses de vida comercial. La marca lo considera el lanzamiento más exitoso de su historia.

La colaboración con ABT, que estará también presente en los CUPRA León y Formentor, añade al Raval una imagen más cercana a la competición. El paquete incluye splitters delanteros y traseros, faldones laterales, winglets y un spoiler de techo con el logo ABT. Las llantas ICON de 19 pulgadas y los logotipos CUPRA

en cromo oscuro completan el conjunto. Son cambios de diseño y personalización: la base mecánica del VZ se mantiene.

Eso significa que conserva sus 226 CV, los 290 Nm de par y la batería de 52 kWh netos. Acelera de 0 a 100 km/h en 6,8 segundos y alcanza los 175 km/h. La autonomía homologada llega hasta los 386 kilómetros en esta configuración, que incorpora neumáticos Performance que le resta autonomía pero suma mayores prestaciones. El pack se ofrece en dos versiones: una centrada en los elementos exteriores y otra, denominada AHEAD, que añade asientos CUP Bucket eléctricos, calefactables y con memoria, tapicería 3D Knitting y piezas decorativas del salpicadero impresas en 3D.

Los componentes se fabrican artesanalmente y, cuando se encargan junto con un vehículo nuevo, se instalan en la CUPRA Racing Factory. La colaboración convierte la personalización en una parte visible de la propuesta del Raval, sin alterar sus prestaciones ni su planteamiento como coche eléctrico urbano. En el VZ, además, el chasis incorpora elementos específicos como la suspensión DCC Sport, rótulas de dirección de alto rendimiento, el ESC desconectable y el diferencial electromecánico autoblocante e-VAQ.

París también adelantó cómo será la siguiente etapa de CUPRA KIRO en la Fórmula E. El equipo presentó su monoplaza para la temporada 2026/27, equipado con motor Porsche, y anunció la incorporación del británico Jake Hughes, que compartirá alineación con el español Pepe Martí. El coche pertenece a la nueva generación GEN4, con tracción total permanente, una velocidad máxima superior a 335 km/h y una aceleración de 0 a 100 km/h en menos de dos segundos.

La competición no fue el único escaparate de tecnología. En París, el CUPRA Tavascan Black Edition mostró la evolución del sistema de sonido inmersivo desarrollado con Sennheiser: cuatro actuadores en el techo crean una sensación envolvente de 360 grados. El stand también acogió el Tindaya, un prototipo que expresa la visión de diseño de la marca y su apuesta por una relación más directa entre el conductor y el vehículo.

Con el Raval personalizado, el nuevo monoplaza de Fórmula E y dos propuestas de futuro, CUPRA aprovechó su debut en París para enseñar distintas caras de una misma identidad. La más cercana a la carretera ya está tomando forma: el Raval VZ CUSTOM CUPRA by ABT ya puede pedirse en España, con una estética más deportiva y la misma base eléctrica del VZ.



PERSONALIZACIÓN INSPIRADA EN LAS CARRERAS

El Raval VZ CUSTOM CUPRA by ABT suma llantas de 19 pulgadas, spoiler de techo, faldones y elementos aerodinámicos específicos. La variante AHEAD incorpora también asientos CUP Bucket y detalles interiores propios.



CUPRA KIRO SE PREPARA PARA GEN4

El equipo presentó en París su monoplaza para la temporada 2026/2027 y confirmó a Jake Hughes junto a Pepe Martí. La nueva generación de Fórmula E tendrá tracción total, superará los 335 km/h y acelerará de 0 a 100 km/h en menos de dos segundos.

POR
JOSÉ MIGUEL VIÑAS
@DIVULGAMETEO,
meteorólogo de Meteored
y autor de *Los cielos retratados*.



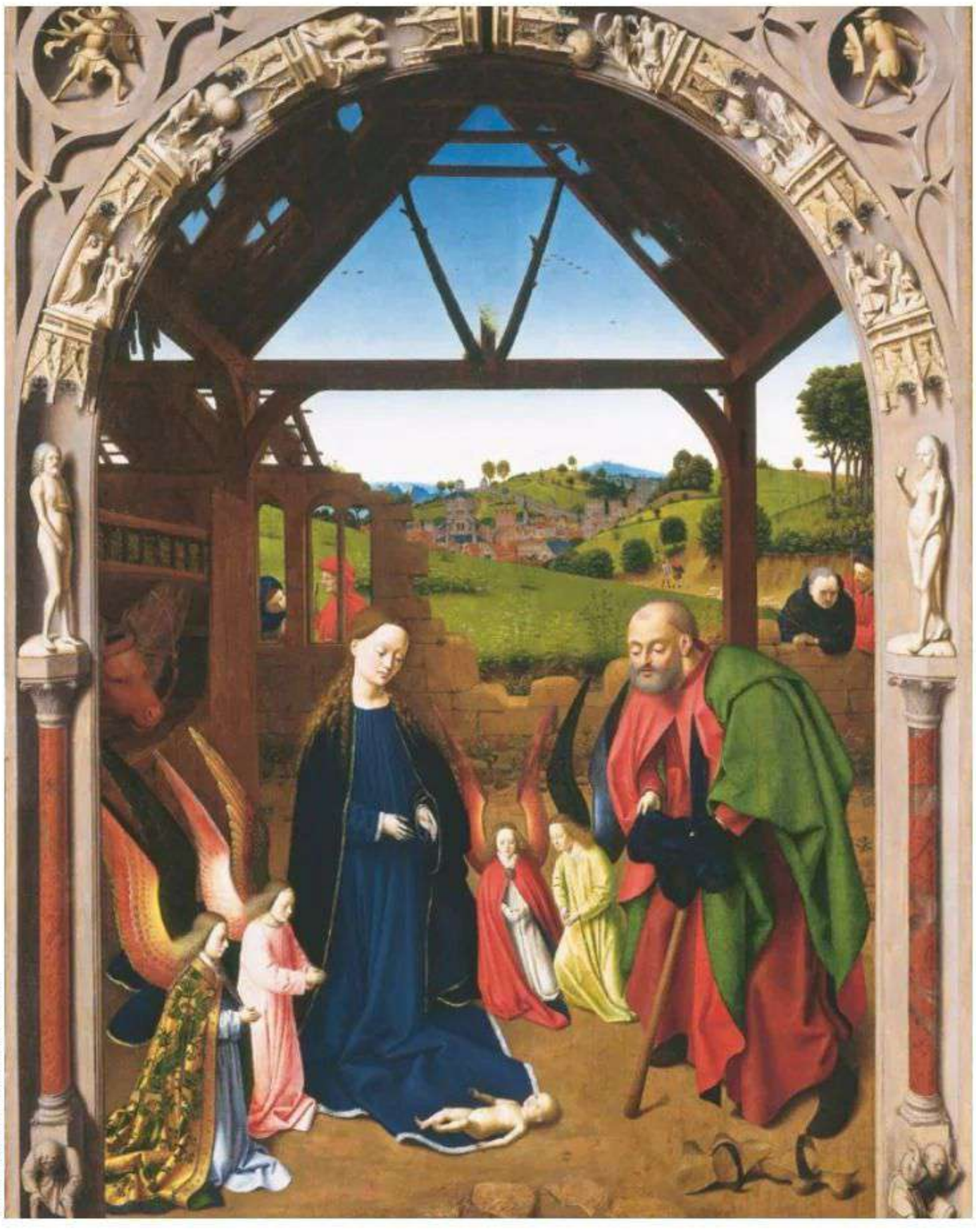
NAVIDADES PRIMAVERALES

HASTA QUE BRUEGHEL EL VIEJO PINTARA ESCENAS DE NATIVIDAD TEÑIDAS DE UN BLANCO INVERNAL, LAS PINTURAS SOBRE EL NACIMIENTO DE CRISTO EN EL ARTE MOSTRABAN VERDES Y FLORIDOS PAISAJES.

Si este artículo no formara parte de la serie «Pinceladas de meteorólogo» dedicada a explorar la relación entre el tiempo y el clima con la pintura, pensaríamos por el título que el tema abordado es el de los nuevos inviernos, caracterizados durante buena parte de ellos por la suavidad térmica, lo que hace que sea cada vez más habitual tener días de diciembre, enero o febrero en que el tiempo es más primaveral que invernal. No es el caso, ya que las siguientes líneas estarán centradas en el papel que ha desempeñado la pintura en la traslación de la Navidad al imaginario colectivo.

Las escenas navideñas con motivos como la natividad, la adoración de los pastores o la de los Reyes Magos, han sido pintadas en infinidad de obras de temática religiosa de todas las épocas y estilos. Muchas de ellas se utilizan para ilustrar las felicitaciones navideñas (los tradicionales *christmas*), y sirven también de inspiración a los belenistas. Si bien el tiempo con el que identificamos la Navidad es el típico invernal, con la nieve y el frío como protagonistas, no siempre se han pintado así esas escenas. Hay un antes y un después del pintor y grabador flamenco Pieter Brueghel el Viejo (ca. 1526/30 – 1569). Entre los años 1563 y 1567 pintó varios óleos sobre tabla con distintos motivos en torno al nacimiento de Jesús y con un denominador común: los paisajes en los que se representan las escenas son puramente invernales, con la nieve y el hielo como indiscutibles protagonistas. Transmiten el intenso frío que el artista pasó los inviernos de aquellos años, especialmente el de 1564-1565, que sabemos que fue uno de los más gélidos que hay documentados en Europa.

La Pequeña Edad de Hielo daba su primer gran coletazo en el viejo continente. Afincado por aquel entonces en Bruselas, el mayor de los Brueguel pintó la crudeza invernal. Aparte de en su conocida tabla *Cazadores en la nieve* (1565), también quedó plasmada en *Adoración de los reyes Magos en la*



GALERÍA NACIONAL DE ARTE, WASHINGTON

La Natividad (c. 1450), del pintor primitivo flamenco Petrus Christus.



GALERÍA NACIONAL DE ARTE, WASHINGTON

La adoración de los pastores (c. 1505-1510), obra del pintor de la escuela veneciana Giorgio da Castelfranco, Giorgione.

nieve (1563), *El censo de Belén* (1566) y *La masacre de los inocentes* (c. 1565-1567). Tal y como señaló en un artículo publicado en 1981 el divulgador de las ciencias atmosféricas británico William James Burroughs, con estas tablas Pieter Brueghel el Viejo reformuló completamente la imagen de la Natividad. Su influencia en la pintura europea fue tan grande, que, desde entonces, no faltan la nieve y el frío en las recreaciones (mentales o creativas [belenes, pinturas...]) que hacemos de las escenas del nacimiento de Jesús.

Partiendo de lo que acabamos de contar, cabe pensar que con anterioridad a que Pieter Brueghel el Viejo pintara esas escenas navideñas, no faltarán pinturas de idéntica temática, pero sin una ambientación puramente invernal. Encontramos muchos ejemplos, empezando por Giotto (c. 1266-1337), quien dedica varios de los frescos al nacimiento de Jesús en la capilla de los Scrovegni, en Padua, sin que en ninguno de ellos aparezcan elementos que identifiquemos con el frío o la nieve.

A caballo entre los siglos XV y XVI, el pintor veneciano Giorgio da Castelfranco (1478-1510) más conocido como Giorgione pintó varias tablas con el motivo de la natividad y la nieve y el frío brillan por su ausencia. La más conocida de ellas es *La adoración de los pastores* (c. 1505-1510) y en los elementos paisajísticos (donde Giorgione fue un pionero) que dominan en la parte de la izquierda, no falta una abundante vegetación, toda ella (árboles, arbustos y suelo) de un llamativo color verde, que difícilmente encajaría si la escena fuera invernal.

ANTES DE BRUEGHEL **SE PINTABAN NAVIDADES PRIMAVERALES** PORQUE SEGÚN LA TRADICIÓN CRISTIANA ESE PUDO SER EL TIEMPO QUE HIZO EN EL NACIMIENTO DE CRISTO

Tenemos otro buen ejemplo de navidad primaveral en la tabla de *La Natividad* que el pintor flamenco Petrus Christus (c. 1410/1415 – 1475/1476) pintó hacia 1450 y que, al igual que la de Giorgione, está expuesta en la Galería Nacional de Arte, en Washington. El color verde es también el dominante en el paisaje del fondo. Podemos pensar que antes de Brueguel se pintaban navidades primaverales porque según la tradición cristiana ese pudo ser el tipo de tiempo que hizo durante el nacimiento de Jesús, pero no podemos dar por seguro ningún dato en torno a ese momento clave de la historia del cristianismo. No hay un único relato que permita saber con certeza dónde tuvo lugar exactamente el acontecimiento, ni cuándo ocurrió; tanto el día del año, como el año en cuestión. De lo que sí que estamos seguros es que Brueguel ejerció una influencia notable en la pintura europea, vistiendo de blanco las navidades que hasta ese momento pintaban verdes. □


GLP-1



Siempre hemos estado buscando soluciones farmacológicas para controlar el apetito, pero nuestro organismo lleva millones de años utilizando sus propios mecanismos. Uno de ellos es el GLP-1, una hormona producida principalmente por las células L intestinales.

SHUTTERSTOCK

La revolución DEL GLP-1

TU INTESTINO TIENE UN *WHATSAPP* DIRECTO CON TU CEREBRO

El GLP-1 se ha convertido en la molécula más famosa del momento. Está detrás de algunos de los medicamentos más revolucionarios contra la obesidad, pero tiene un secreto que pocos conocen: nuestro intestino lleva toda la vida fabricándolo. ¿Y si la próxima revolución de la nutrición no estuviera en contar calorías, sino en aprender a escuchar nuestras hormonas?

POR SALENA SAINZ, farmacéutica y dietista-nutricionista.

Nos han dicho que para adelgazar hay que cerrar la boca. Que el hambre se combate con fuerza de voluntad. Que si no conseguimos perder peso es porque comemos demasiado o nos movemos demasiado poco. Y durante años nos lo hemos creído. Hemos contado calorías, eliminado carbohidratos, cenado ensaladas escasas y convertido el placer de comer en una especie de pecado nutricional.

Pero la ciencia lleva tiempo enviándonos un mensaje bastante inquietante: el hambre no se controla únicamente con disciplina. También se regula mediante hormonas. Y una de ellas está revolucionando nuestra forma de entender el metabolismo.

Se llama GLP-1. Probablemente hayas oído hablar de ella por Ozempic, Wegovy o los nuevos tratamientos para la obesidad. Sin embargo, la historia empieza mucho antes de que existieran estos medicamentos. Empieza en tu intestino. Porque mientras el mundo busca soluciones farmacológicas para controlar el apetito, nuestro organismo lleva millones de años utilizando sus propios mecanismos de regulación. Y entenderlos puede cambiar nuestra manera de comer y de vivir.

Imagina que cada vez que comes, tu intestino envía un mensaje al cerebro, «ya estás lleno», y será el GLP1 nuestro fiel mensajero. Empecemos entonces por la pregunta más importante ¿Qué o quién es el GLP-1? Se denomina péptido similar al glucagón tipo 1 y es una hormona incretina producida principalmente por las células L intestinales en respuesta a los nutrientes de forma natural. Su estudio ha abierto una de las vías más relevantes para comprender y tratar la obesidad.

Su función va mucho más allá de hacernos sentir llenos. Estimula la liberación de insulina cuando aumenta la glucosa, modula el glucagón, retrasa el vaciamiento gástrico y participa en los circuitos que regulan la saciedad. En otras palabras, es el director de orquesta coordinando todo lo que ocurre después de comer.

Y aquí viene lo interesante: el GLP-1 también se produce en determinadas neuronas del tronco encefálico. conecta el aparato digestivo con complejas redes nerviosas implicadas en el apetito. El intestino no es simplemente un tubo por el que pasa la comida. Es un auténtico centro de comunicación hormonal. El nervio vago participa en la regulación de la digestión y su actividad está influida por cómo vivimos el estrés, el descanso y la actividad física y unido al GLP uno forma parte de esa conexión intestino-cerebro.

El estrés y el cortisol así cómo la inflamación crónica de bajo grado hace que se apague la señal del GLP-1. Por tanto, no solo es importante lo que comemos o como lo hacemos, sino elaborar hábitos y pautas nutricionales personalizadas para alcanzar la salud. Este es el verdadero futuro de la nutrición.

Durante mucho tiempo nos hemos obsesionado con las calorías o el déficit nutricional, prestando mucha menos atención a las señales que se generan en nuestro cuerpo y cómo se regula. Quizá ha llegado el momento de cambiar esa perspectiva.

EL EXPERIMENTO QUE DEJÓ EN EVIDENCIA A LOS ULTRAPROCESADOS

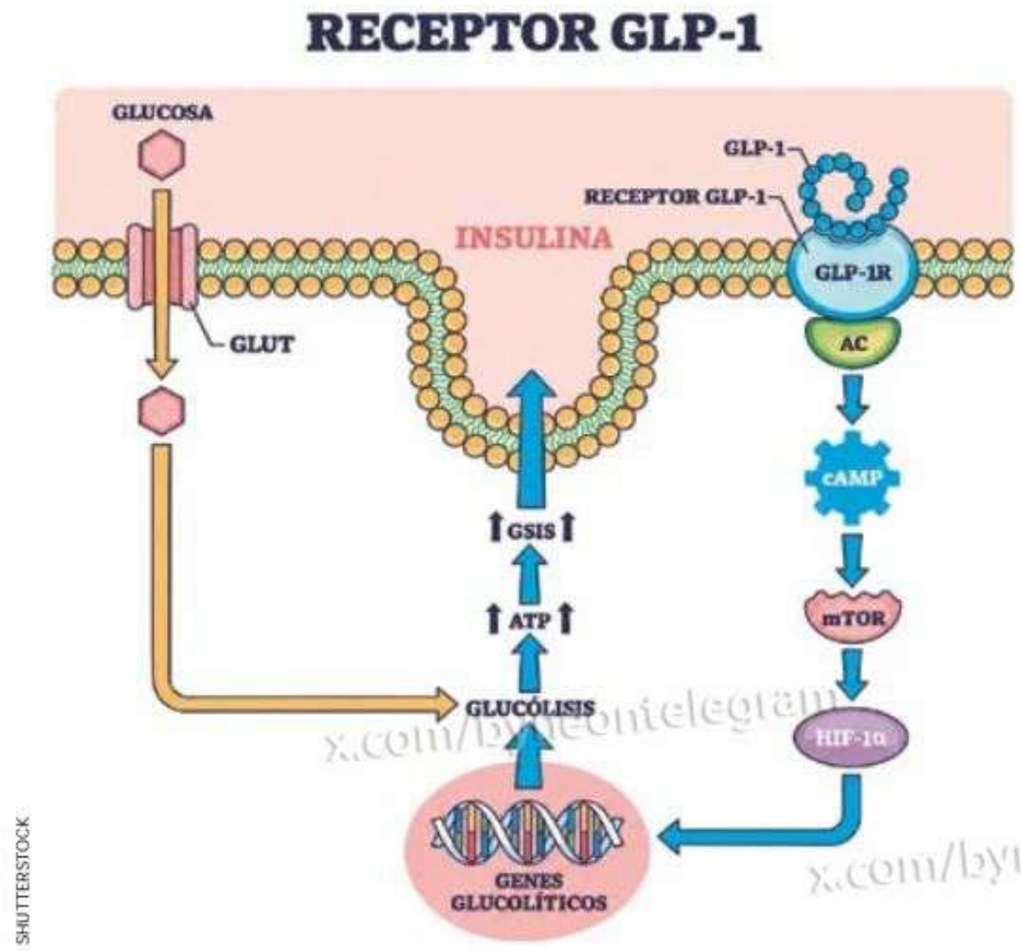
¿Comerías lo mismo si te ofrecieran alimentos frescos o productos ultraprocesados? La respuesta parece sencilla, pero un experimento científico mostró algo sorprendente.

En 2019, Kevin Hall y su equipo publicaron en *Cell Metabolism* un ensayo clínico en el que 20 adultos siguieron, durante dos semanas cada una, una alimentación ultraprocesada y otra basada en alimentos mínimamente procesados. Los participantes podían comer cuanto quisieran. El resultado fue llamativo: durante la fase ultraprocesada consumieron aproxi-

Un estudio con alimentos ultraprocesados demostró que las calorías no se comportan igual cuando hablamos de apetito y consumo espontáneo, que la textura, velocidad al comer o las mezclas de alimentos importan.



SHUTTERSTOCK



SHUTTERSTOCK

El GLP-1 también se produce en neuronas del tronco encefálico y conecta el aparato digestivo con complejas redes nerviosas.

madamente 500 kilocalorías adicionales al día y aumentaron de peso, mientras que durante la otra fase ocurrió lo contrario.

Lo fascinante es que ambas dietas se habían diseñado para ofrecer cantidades comparables de nutrientes y fibra. Este experimento cuestiona una idea muy extendida: que todas las calorías se comportan igual cuando hablamos de apetito y consumo espontáneo. La textura, la velocidad al comer, la densidad energética y otras características de los alimentos pueden influir en cuánto terminamos comiendo.

Podemos modular nuestra forma de alimentarnos seleccionando cierto tipo de alimentos y realizando la mezcla correcta. Atrás han de quedar las dietas disociadas, las que eliminan grupos de nutrientes de forma abrupta o las basadas en productos procesados.

¿Es la fibra la solución? No exactamente, pero puede orientarnos al origen del GLP1. Aquí es donde la historia se vuelve verdaderamente apasionante. En nuestro intestino viven billones de microorganismos que participan en la transformación de determinados componentes de los alimentos. Algunas fibras y almidones resistentes llegan al colon sin haber sido completamente digeridos. Allí, determinadas bacterias los fermentan y producen sustancias llamadas ácidos grasos de cadena corta. Entre ellas destacan el acetato, el propionato y el butirato. ¿Y qué tienen que ver con el GLP-1? Mucho, al menos desde el punto de vista mecanístico.

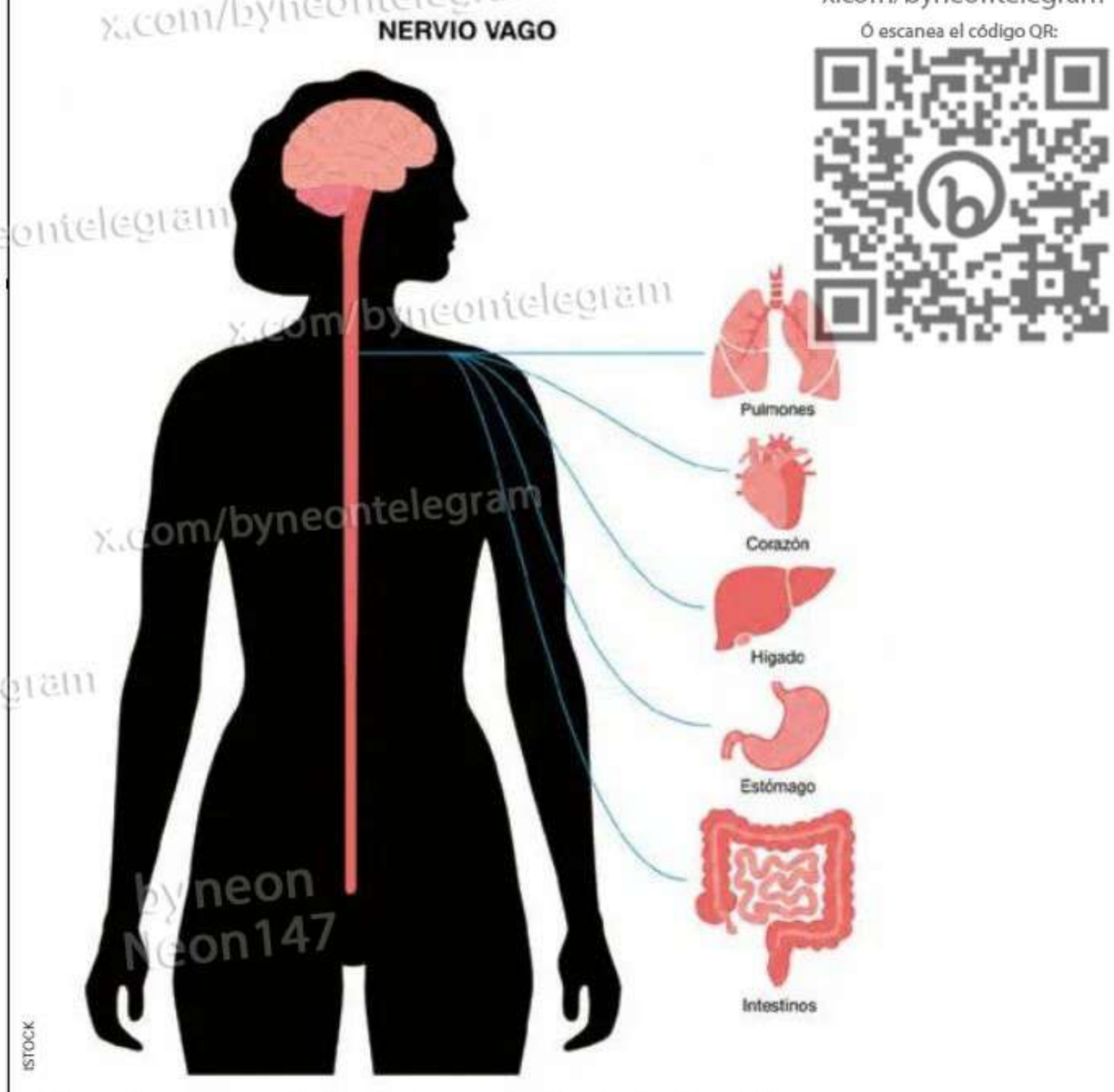
Un estudio publicado en *Diabetes* por Tolhurst y colaboradores demostró que los ácidos grasos de cadena corta podían estimular la secreción de GLP-1 mediante receptores como FFAR2 en modelos experimentales. Es una conexión fascinante entre microbiota, alimentación y hormonas intestinales.

La ciencia todavía está investigando, pero abre un camino amplio y claro para tomar medidas nutricionales. Y eso convierte a las legumbres, las verduras, las frutas y los cereales integrales en aliados mucho más interesantes que cualquier supuesto alimento milagroso.

¿Y SI EL ARROZ DE AYER FUERA MÁS INTERESANTE QUE EL RECIÉN HECHO?

Parece un truco de cocina, pero detrás existe una explicación bioquímica. Cuando cocinamos arroz, patata o determinados alimentos ricos en almidón y

ENLACE AL CANAL
x.com/byneontelegram
Ó escanea el código QR:



ISTOCK

El nervio vago participa en la regulación de la digestión y su actividad está influida por el estrés, el descanso y la actividad física.

El estrés y el cortisol y la inflamación crónica de bajo grado hacen que se apague la señal del GLP-1, por lo que es importante elaborar hábitos y pautas nutricionales personalizadas



SHUTTERSTOCK

Muchos medicamentos que han revolucionado el tratamiento de la obesidad contienen GLP-1. Estos tratamientos se han desarrollado como soluciones al control del apetito.

después los enfriamos, una parte de ese almidón puede reorganizarse y hacerse menos accesible a la digestión. Este fenómeno se llama retrogradación y produce almidón resistente, con menor impacto glucémico y un buen sustrato para la microbiota.

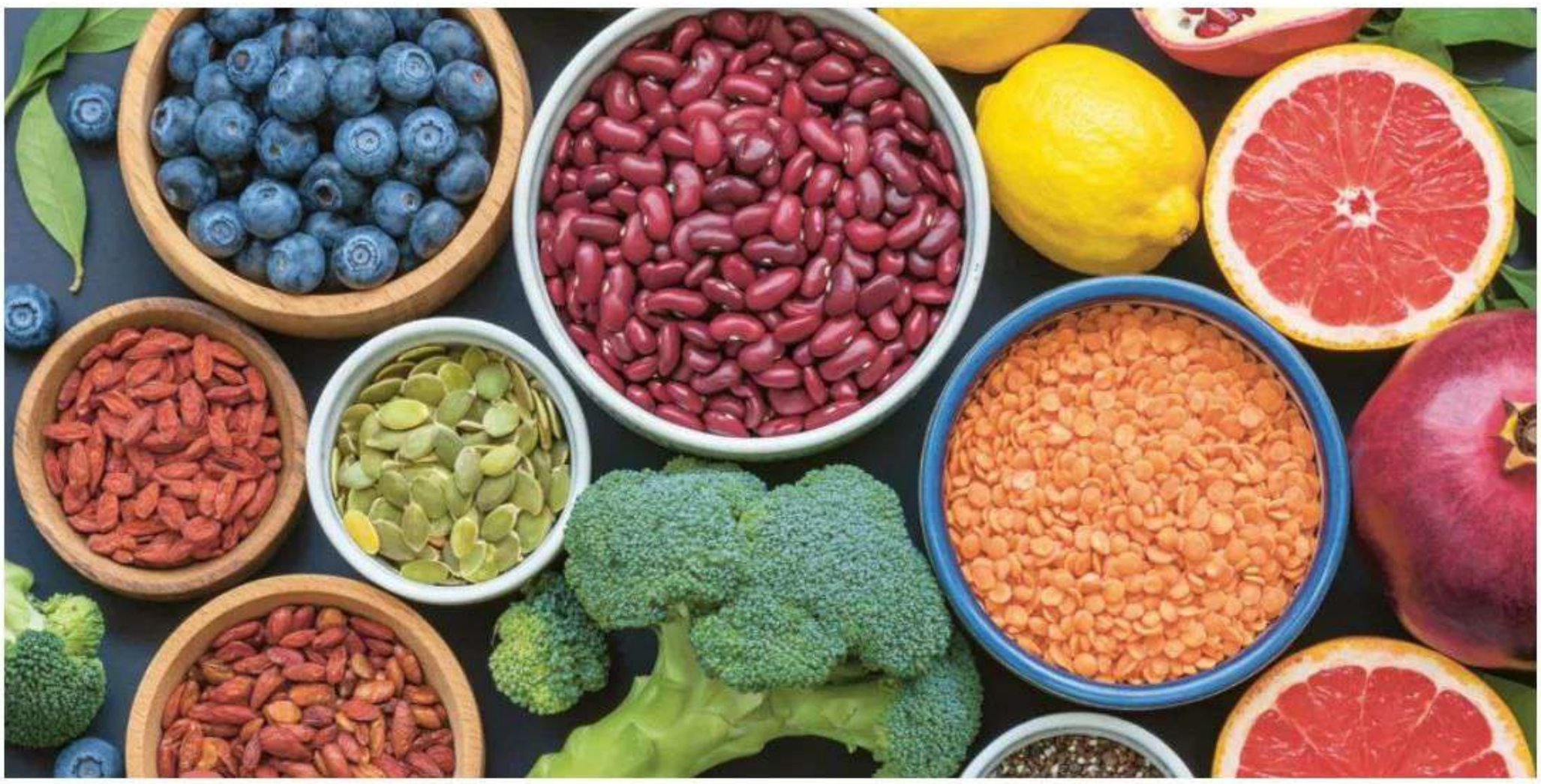
En 2022 se publicó un estudio con 32 personas con diabetes tipo 1 que comparó la respuesta glucémica al arroz recién cocinado con la del arroz refrigerado durante 24 horas y posteriormente recalentado. Los investigadores observaron una respuesta glucémica posprandial menor con el arroz enfriado y recalentado. El alimento sigue conteniendo carbohidratos y su efecto depende de múltiples factores. Pero es un buen ejemplo de cómo la ciencia de los alimentos puede descubrir propiedades interesantes en gestos tan cotidianos como cocinar y conservar.

En mi libro *La revolución del GLP-1 natural* (Editorial Oberon) exploro precisamente esa otra forma de mirar la cocina: no como una colección de prohibiciones, sino como un espacio donde comprender y aprovechar mejor la ciencia aplicada a nuestra fisiología. Aprender qué alimentos debemos consumir, cómo cocinarlos y combinarlos será la clave para aumentar la señal del GLP1 natural y sus beneficios a nivel orgánico. Porque la nutrición del futuro quizá no consista en comer cosas cada vez más extrañas, sino en entender mejor las de siempre.

Seguro que alguna vez has terminado de comer y, cinco minutos después, has sentido un deseo irresistible de chocolate. Podía ser apetito hedónico: las ganas de comer por placer, recompensa o estímulos del entorno. El cerebro integra esas motivaciones con señales hormonales y nerviosas que informan sobre nuestras necesidades. El GLP-1 participa en esa conversación, junto con las emociones, las experiencias y los hábitos aprendidos. Por eso resulta tan simplista atribuir la obesidad a una falta de autocontrol como prometer que un alimento eliminará los antojos.

A veces, parte de la respuesta está fuera del plato. En 2022, un ensayo publicado en *JAMA Internal Medicine* estudió a adultos con sobrepeso que dormían habitualmente menos de seis horas y media. Quienes recibieron una intervención para ampliar su sueño redujeron su ingesta energética unas 270 kilocalorías diarias respecto al grupo control, sin recibir una dieta de adelgazamiento.

El músculo merece la misma atención. La báscula no distingue entre perder grasa, agua o masa muscular, y adelgazar debería acompañarse con conservar la fuerza y la funcionalidad. El ejercicio mejora la sa-



SHUTTERSTOCK

Las legumbres, las verduras, las frutas y los cereales integrales se convierten en aliados de la nutrición mucho más interesantes que supuestos alimentos milagrosos, solo hay que comprender mejor de qué manera consumirlos.

lud metabólica y puede modificar señales relacionadas con el apetito, aunque la respuesta hormonal varía según la actividad y la persona. Lo que queda claro es que determinados ejercicios pueden aumentar la liberación de GLP-1 natural. Pero necesitamos adaptación: entrenar sin recuperación suficiente o por encima de nuestra capacidad puede favorecer fatiga y lesiones. El objetivo debe ser construir cuerpos fuertes y funcionales, evitando el sobreentrenamiento.

Esta visión ayuda a situar los medicamentos en su contexto. El GLP-1 no nació en un laboratorio: nuestro organismo lo produce y lo degrada en pocos minutos. Los agonistas de su receptor están diseñados para ejercer una acción farmacológica mucho más prolongada. El problema aparece cuando son utilizados de forma indiscriminada y sin un buen seguimiento: problemas de pérdida de masa muscular, ósea, caída del cabello, alteraciones digestivas o de piel, terminando por el más temido de todos, el llamado «efecto rebote».

Por tanto, favorecer la respuesta fisiológica del GLP-1 mediante la alimentación no reproduce ese efecto farmacológico, pero acompaña durante el tratamiento con el fin de generar unos hábitos adecuados que orienten al paciente al éxito. La nutrición y la farmacología pueden complementarse dentro de un tratamiento que atienda también a la composición corporal, el descanso y la calidad de vida.

El interés del GLP-1 está precisamente en esa mirada amplia: nos ayuda a comprender cómo se relacionan el intestino, el cerebro, los alimentos y el metabolismo. Quizá su aportación más valiosa a la nutrición sea enseñarnos a preguntar por qué tenemos hambre y qué condiciones necesitamos para cuidarnos mejor.

«TU INTESTINO FABRICA LA HORMONA MÁS DESEADA DEL MOMENTO. ¿POR QUÉ NADIE TE LO HABÍA CONTADO?»

Cuando escribí *La revolución del GLP-1 natural*, quería trasladar precisamente esa idea: que conocer nuestro organismo y su funcionamiento puede ayudarnos a tomar decisiones más inteligentes, sin convertir la alimentación en una guerra diaria. «Quiero enseñarte para que no puedan influenciarte». El conocimiento nos da la libertad para tomar buenas decisiones y no caer en engaños y dietas perjudiciales. Se trata de una guía para toda la población: quien quiere cuidarse, quien está usando el fármaco o quien quiere hacer el proceso natural.

Existe un conjunto hábitos avalados por la ciencia que harán que equilibremos nuestro organismo y sistema hormonal liberando GLP-1 y mejorando significativamente nuestra salud, saciedad y metabolismo. Y ahí está la auténtica oportunidad. Porque la revolución no empieza cuando dejamos de comer. Empieza cuando comprendemos cómo debemos nutrir nuestro cuerpo y nuestra mente. «Apaga tu hambre, activa tu metabolismo y disminuye la inflamación». □



SHUTTERSTOCK

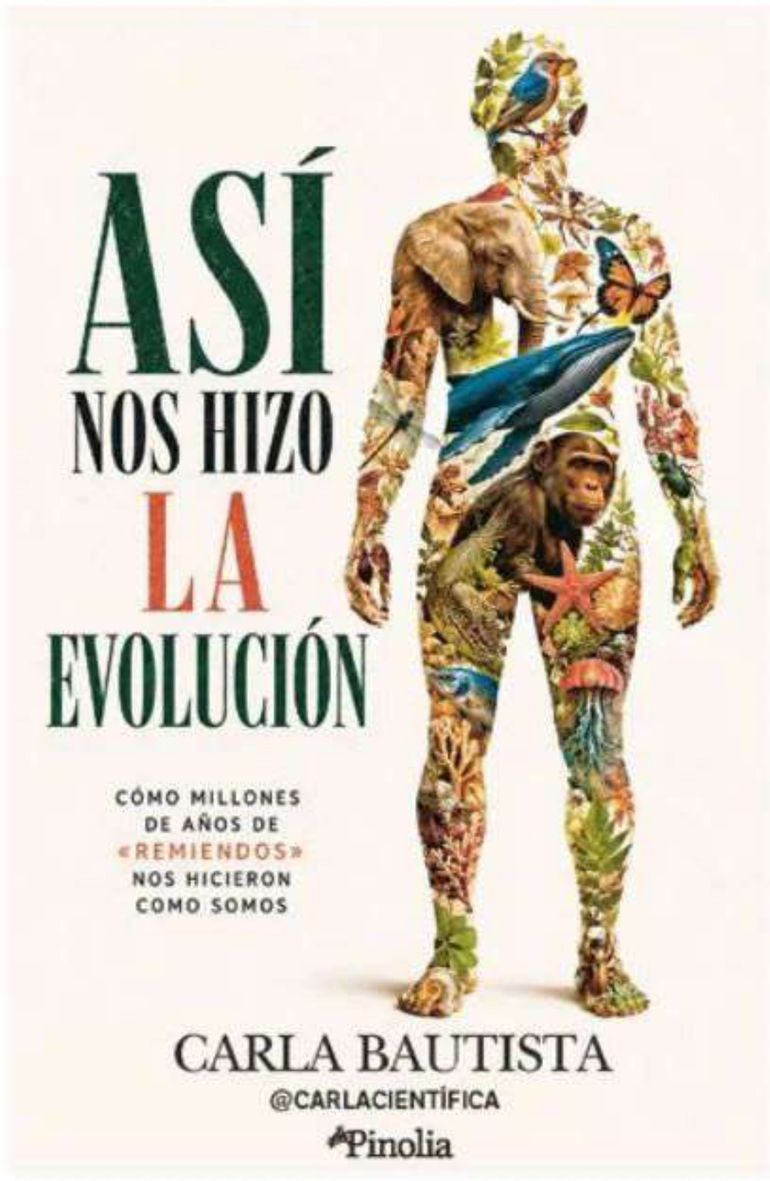
La báscula no distingue entre perder grasa, agua o masa muscular, por lo que en un régimen hay que evitar perder la fuerza y la funcionalidad, realizando ejercicio controlado.

Bibliografía

- Drucker DJ. Mechanisms of action and therapeutic application of glucagon-like peptide-1. *Cell Metab*. 2018;27(4):740-56. doi:10.1016/j.cmet.2018.03.001. *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*
- Hall KD, Ayuketah A, Brychta R, Cai H, Cassimatis T, Chen KY, et al. Ultra-processed diets cause excess calorie intake and weight gain: an inpatient randomized controlled trial of ad libitum food intake. *Cell Metab*. 2019;30(1):67-77.e3. doi:10.1016/j.cmet.2019.05.008. *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*
- Tolhurst G, Heffron H, Lam YS, Parker HE, Habib AM, Diakogiannaki E, et al. Short-chain fatty acids stimulate glucagon-like peptide-1 secretion via the G-protein-coupled receptor FFAR2. *Diabetes*. 2012;61(2):364-71. doi:10.2337/db11-1019. *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*
- Strozyk S, Rogowicz-Frontczak A, Pilacinski S, LeThanh-Blicharz J, Koperska A, Zozulinska-Ziolkiewicz D. Influence of resistant starch resulting from the cooling of rice on postprandial glycemia in type 1 diabetes. *Nutr Diabetes*. 2022;12(1):21. doi:10.1038/s41387-022-00196-1. *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*
- Tasali E, Wroblewski K, Kahn E, Kilkus J, Schoeller DA. Effect of sleep extension on objectively assessed energy intake among adults with overweight in real-life settings: a randomized clinical trial. *JAMA Intern Med*. 2022;182(4):365-74. doi:10.1001/jamainternmed.2021.8098. *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*
- Holt J, Sandsdal RM, Byberg S, Janus C, Juhl CR, Jørgensen JR, et al. One year of exercise after weight loss increases postprandial GLP-1 secretion in contrast to usual activity or GLP-1 receptor agonist treatment. *Obesity* (Silver Spring). 2026;34(1):51-7. doi:10.1002/oby.70043. *pubmed.ncbi.nlm.nih.gov*

POR CRISTINA ENRÍQUEZ

ASÍ NOS HIZO LA EVOLUCIÓN



Pinolia
26,95 €

Las muelas del juicio que apenas encuentran sitio en la boca, el rechazo que a muchos nos provoca el brócoli o algunas de nuestras reacciones más instintivas tienen algo en común, y es que para comprenderlas no basta con mirar cómo vivimos hoy, es necesario retroceder millones de años. Carla Bautista propone hacerlo en *Así nos hizo la evolución*, un recorrido por las huellas que ha dejado nuestra historia biológica en el cuerpo, el comportamiento y hasta en los pequeños detalles de la vida cotidiana.

Resulta muy sugerente la idea de partida: la evolución no es una ingeniera que trabaja sobre un diseño perfecto, sino un proceso que modifica lo que ya existe. A veces el resultado es eficaz; otras, conserva soluciones que parecen improvisadas o poco prácticas. La realidad es que somos, en buena medida, el producto de esos ajustes acumulados durante generaciones y eso explica que algunas de nuestras características más familiares tengan un origen mucho más antiguo de lo que imaginamos.

Doctora en Biología y conocida por su labor divulgadora en redes como Wild Carla, la autora organiza el libro alrededor de cien curiosidades. El formato permite abrirlo por cualquier capítulo, detenerse en una pregunta concreta y acabar descubriendo algo que uno no sabía que quería saber. El tono combina explicaciones científicas, ejemplos cercanos, humor y anécdotas, sin exigir conocimientos previos al lector.

Pero este viaje que propone Bautista tampoco se limita a nuestra especie. Leones, urracas, hormigas y bonobos sirven para observar comportamientos que reconocemos, de un modo u otro, en nosotros mismos. La cooperación, la memoria o las estrategias para obtener ventajas muestran que la naturaleza lleva muchísimo tiempo ensayando respuestas a problemas compartidos. Pero nos adentramos también en la selección sexual, el engaño parasitario y las carreras armamentísticas que se producen entre especies, cuando una adaptación provoca otra en sus rivales.

Lo interesante de este enfoque es que cambia la pregunta. En lugar de considerar nuestras rarezas como fallos sin explicación, invita a investigar qué circunstancias pudieron favorecerlas y por qué algunas persisten. Y es que conviene recordar que la evolución no persigue un objetivo ni prepara a los seres vivos para alcanzar una forma definitiva, sino que actúa sobre variaciones heredables, en entornos que también cambian. Desde este punto de vista, lo que parecía una extravagancia puede convertirse en una pista sobre nuestro pasado. Nuestra historia natural sigue acompañándonos mucho después de que hayamos olvidado sus orígenes.



Cada parte de nuestro cuerpo, como la mano, es producto de ajustes acumulados durante generaciones. Esto también ocurre en otras especies.

ASC

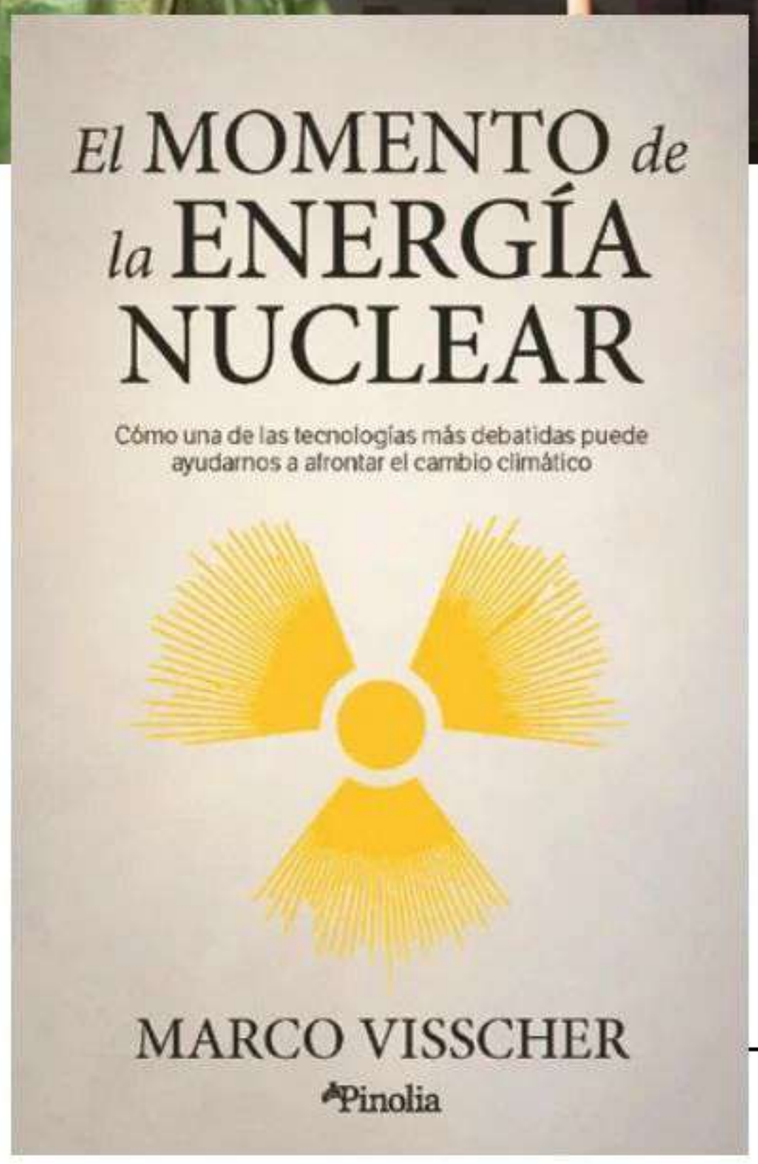


El libro nos invita a examinar las certezas que tenemos sobre la energía nuclear, a distinguir los riesgos reales, lejos de imágenes heredadas.

ISTOCK

EL MOMENTO DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Pocas palabras provocan reacciones tan opuestas como «nuclear». Mientras para unos representa el terrible recuerdo de las bombas de Hiroshima y Nagasaki, de los accidentes nucleares de Chernóbil (1986) y Fukushima (Japón, 2011) y de los residuos que seguirán siendo peligrosos durante generaciones, para otros es una de las más esperanzadoras herramientas del futuro por su capacidad de producir electricidad con bajas emisiones de carbono y reducir la dependencia del carbón, el petróleo y el gas. Marco Visscher se adentra en ese territorio de convicciones enfrentadas con una pregunta de actualidad: ¿estamos juzgando esta tecnología por lo que sabemos de ella o por los temores que hemos aprendido a asociarle?
En *El momento de la energía nuclear*, el periodista neerlandés, especializado en medioambiente y tecnologías limpias, defiende que el debate energético necesita menos reflejos automáticos y más atención a los hechos. No plantea la cuestión como un asunto exclusivamente técnico. La historia, la política, la cultura popular y la memoria colectiva ayudan a entender por qué la energía atómica sigue despertando una desconfianza que no siempre se corresponde con la valoración de sus riesgos y posibilidades.
El recorrido pasa por tres escenarios. Nos lleva hasta el avión que lanzó la bomba sobre Hiroshima, atraviesa la zona de exclusión de Chernóbil y llega a Finlandia, donde se ha desarrollado una instalación para el almacenamiento definitivo de combustible nuclear gastado. Son lugares que obligan a mirar de frente las consecuencias de la tecnología y, al mismo tiempo, a distinguir entre usos, decisiones y contextos que suelen mezclarse en una misma conversación. Visscher aborda las preguntas que cualquier lector se haría antes de tomar partido. ¿Qué peligros entraña la radiación? ¿Cómo deberíamos reaccionar ante un accidente? ¿Qué relación existe entre la energía nuclear civil y el armamento atómico? ¿Puede su aportación al sistema eléctrico ayudar a afrontar el cambio climático? Las respuestas forman parte de una argumentación favorable a reconsiderar el papel del átomo, pero el interés del libro está también en el itinerario histórico que utiliza para sostenerla.

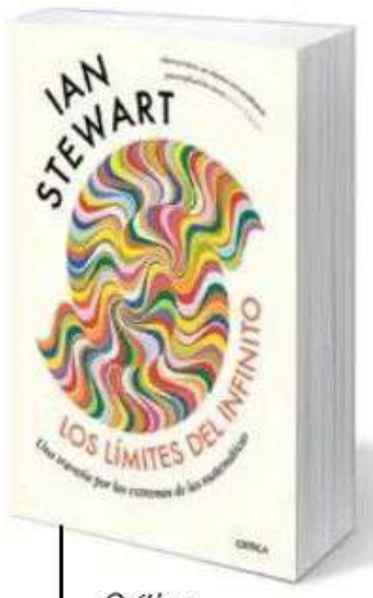


Pinolia
26,95 €

En plena discusión sobre cómo garantizar el suministro energético sin seguir agravando el calentamiento global, esta lectura invita a examinar nuestras certezas y a distinguir riesgos reales de imágenes heredadas. No hace falta compartir todas las conclusiones de Visscher para encontrar una razón de peso para leerlo: cualquier decisión sobre el futuro de la energía merece un debate mejor informado que una batalla entre partidarios y detractores.

Pinolia
¡ENTRA Y HAZTE CON ELLOS!

POR CRISTINA ENRÍQUEZ



Crítica
21,76 €

LOS LÍMITES DEL INFINITO

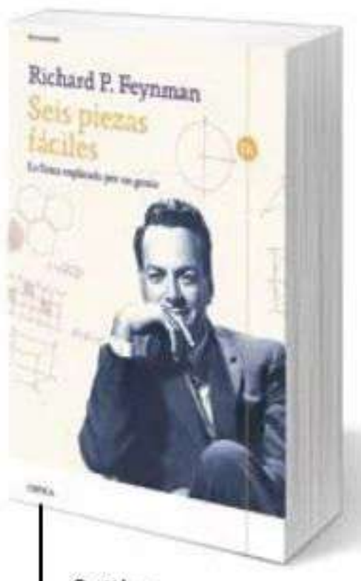
¿Qué tienen en común los panales de abeja, los mapas y las rutas entre ciudades? Todos esconden problemas matemáticos fascinantes. Ian Stewart nos conduce por la historia de quienes intentaron resolverlos, desde los antiguos griegos hasta los investigadores actuales. Entre paradojas, descubrimientos y desafíos aparentemente imposibles, demuestra cómo las matemáticas nos ayudan a comprender la naturaleza y los límites de nuestro conocimiento.



Siruela
17,05 €

UN REGALO DE LOS DIOSES

Leer transforma nuestra manera de pensar, sentir e interpretar el mundo. La neurocientífica Nazareth Castellanos y el filólogo Antonio Basanta exploran cómo la lectura modifica el cerebro, favorece el aprendizaje y contribuye al bienestar emocional. Un encuentro entre ciencia y humanidades que reivindica el placer de los libros y su importancia en una sociedad dominada por las pantallas y la inmediatez.



Crítica
17,00 €

SEIS PIEZAS FÁCILES

Comprender las leyes que gobiernan el universo no tiene por qué ser complicado. Richard P. Feynman, premio Nobel de Física y extraordinario divulgador, lo demuestra en seis lecciones procedentes de sus célebres clases en el Instituto Tecnológico de California. Con explicaciones ingeniosas y ejemplos accesibles, acerca los grandes principios de la física a quienes desean descubrirlos sin necesidad de conocimientos especializados.



Espasa
21,76 €

AL OTRO LADO DEL NILO

¿Qué ocurre realmente durante una excavación arqueológica? José Manuel Galán nos lleva hasta Luxor, donde lleva décadas investigando la tumba de Djehuty, un importante funcionario del Antiguo Egipto. Entre hallazgos inesperados, jeroglíficos y enigmas históricos, descubrimos cómo trabajan los arqueólogos y cómo cada descubrimiento obliga a revisar lo que creíamos saber sobre una de las civilizaciones más fascinantes.

PROTOCOLOS

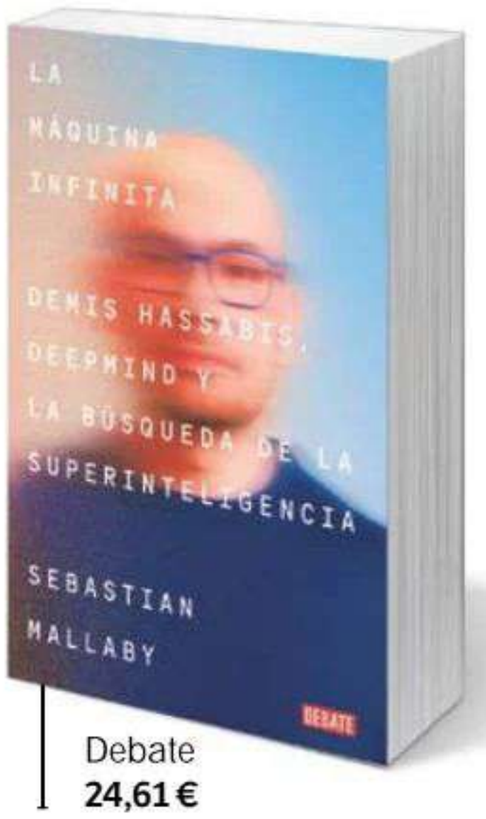
Dormir mejor, controlar el estrés, recuperar la energía o mejorar la concentración son objetivos que muchos perseguimos sin saber muy bien por dónde empezar. El neurocientífico Andrew Huberman, profesor de Stanford y creador de uno de los pódcast de salud más populares del mundo, propone abordar estos problemas desde la conexión entre el cerebro y el cuerpo. En este libro reúne herramientas prácticas basadas en investigaciones de neurociencia y biología para modificar hábitos y favorecer el bienestar físico y mental. Una guía que invita a comprender cómo funciona nuestro organismo antes de intentar cambiarlo, sin perder de vista que no existen soluciones universales.



Planeta.
24,90 €

LA MÁQUINA INFINITA

Antes de convertirse en una de las figuras decisivas de la inteligencia artificial, Demis Hassabis ya era un niño prodigio del ajedrez y un programador excepcional. Su obsesión por comprender la inteligencia lo llevó a fundar DeepMind, la empresa que acabaría revolucionando la investigación en IA. El periodista Sebastian Mallaby reconstruye su trayectoria a partir de numerosas entrevistas con el propio Hassabis, sus colaboradores y sus rivales. Pero esta biografía es también la historia de una carrera científica y empresarial que plantea preguntas inquietantes: ¿hasta dónde llegarán las máquinas inteligentes y quién decidirá cómo utilizarlas? Un retrato fascinante de nuestro tiempo.

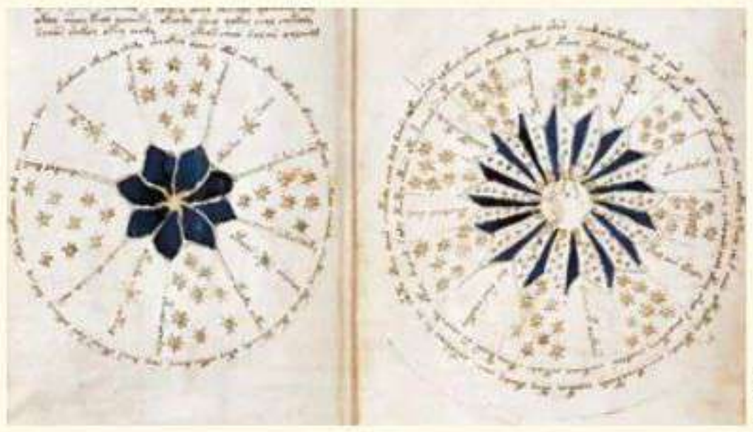


Debate
24,61 €

DOCUMENTALES

EL CÓDIGO VOYNICH

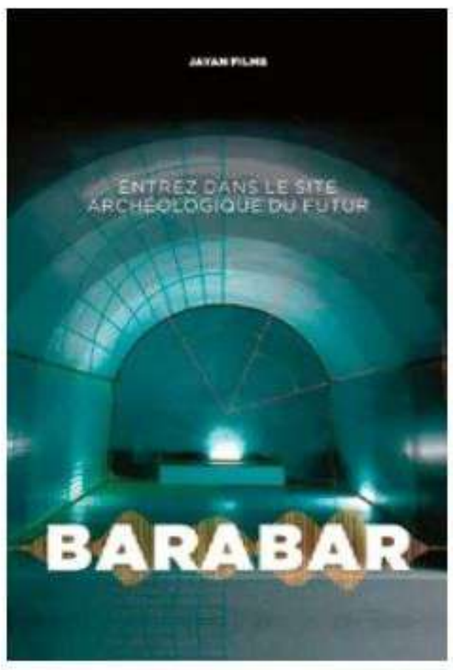
El manuscrito Voynich es considerado el libro más indescifrable del mundo, un enigma medieval lleno de ilustraciones botánicas y astronómicas extrañas que ha desconcertado a los mejores criptógrafos de la historia. Nadie ha logrado descifrarlo. Desde hace siglos desafía a historiadores, lingüistas y criptógrafos con su escritura indescifrable y sus extrañas ilustraciones. ¿Es un tratado científico, un mensaje cifrado o un elaborado engaño? Este documental coproducido por Austria y Alemania, que podemos ver en Filmin, nos acerca a las investigaciones que intentan resolver uno de los grandes enigmas de la historia.



FILMIN

BARABAR: EL SITIO ARQUEOLÓGICO DEL FUTURO

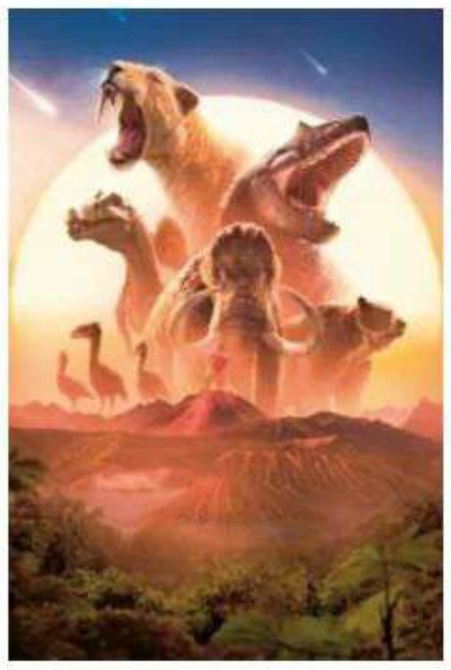
Las cuevas de Barabar, en la India, plantean preguntas fascinantes sobre las capacidades técnicas de sus constructores. Paredes pulidas como espejos, una acústica sorprendente y una precisión difícil de imaginar hace más de dos mil años. En este documental francés de 2023, Amazon Prime Video propone una investigación que combina arqueología e ingeniería para intentar explicar cómo fueron excavadas.



AMAZON PRIME VIDEO

SURVIVING EARTH

La vida en la Tierra ha estado a punto de desaparecer en varias ocasiones. Y, sin embargo, siempre ha encontrado la manera de continuar. Con espectaculares recreaciones digitales, esta serie de SkyShowtime nos transporta a los grandes cataclismos de la prehistoria para descubrir cómo las extinciones masivas cambiaron el rumbo de la evolución.



SKY SHOWTIME

SERIES

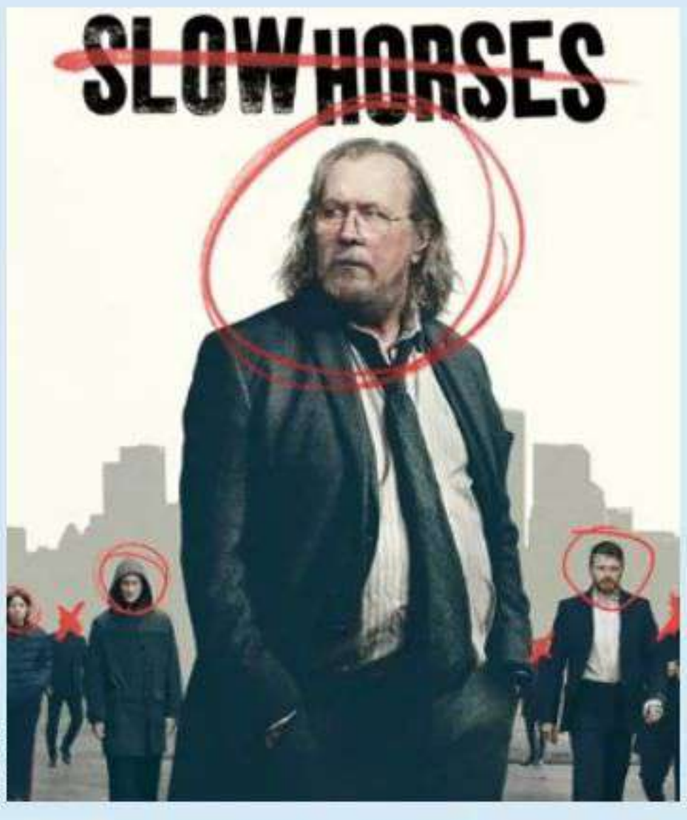
EL INTERCAMBIO

Unas vacaciones en una villa siciliana a cambio de prestar una casa en Estocolmo. Parece un plan perfecto. Hasta que las pequeñas rarezas empiezan a despertar sospechas y las dos parejas descubren que sus anfitriones ocultan mucho más de lo imaginado. Netflix convierte un inocente intercambio de casas en una inquietante pesadilla.

NETFLIX

SLOW HORSES

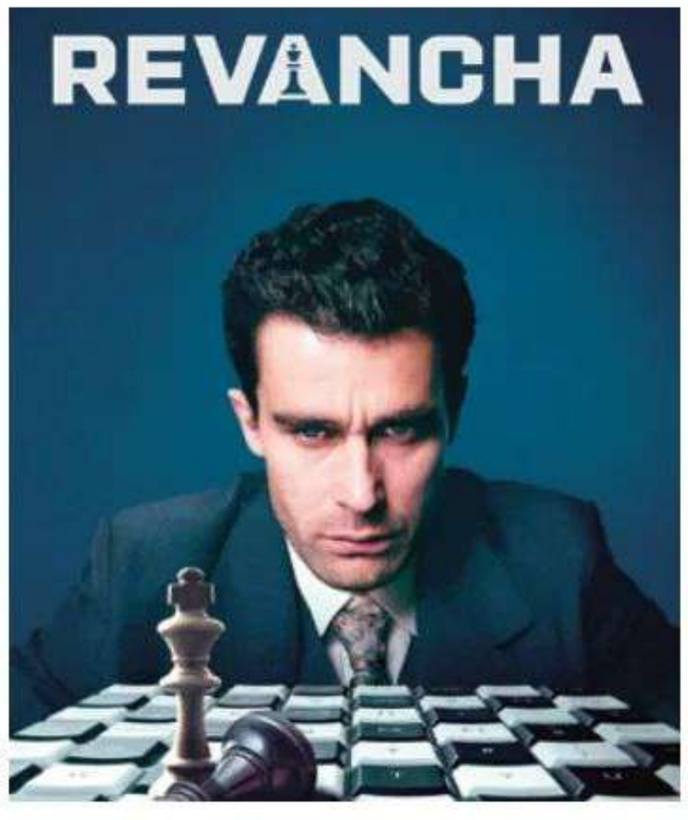
Ser los peores espías del MI5 no impide acabar metidos en los asuntos más peligrosos. En la sexta temporada de esta magnífica serie de Apple TV, Jackson Lamb (Gary Oldman), tan brillante como insoportable, arrastra a su desastroso equipo a una espiral de venganzas, traiciones y humor negro verdaderamente corrosivo.



APPLE TV

REVANCHA

En 1997, el campeón mundial de ajedrez Garry Kasparov se enfrentó a Deep Blue, el superordenador de IBM. Lo que parecía una partida se convirtió en una batalla de nervios, orgullo y poder. Yan England transforma aquel duelo histórico en un apasionante thriller psicológico que Filmin recupera en plena revolución de la inteligencia artificial.



FILMIN

POR
VICTORIA PASCUAL
Socióloga y criminóloga.



LA HUELLA GENÉTICA EN UNA VIEJA FICHA POLICIAL

EL MATERIAL GENÉTICO QUE DEJAMOS CUANDO TOCAMOS UN OBJETO HA CAMBIADO LA PERSPECTIVA DESDE LA QUE SE AFRONTAN LAS PRUEBAS POLICIALES. ESTO PUEDE APORTAR UNA EVIDENCIA EXTRAORDINARIA, PERO NO ES TOTALMENTE DEFINITIVA.

Era noviembre de 1982, Angelo James Stallsmith apoyó sus dedos manchados de tinta sobre su ficha policial. Pocos podían imaginar que aquel gesto, aparentemente sin importancia, acabaría apuntando a su autor más de cuarenta años después. La ficha policial de 1982 se generaba fruto de una detención que nada tenía que ver con la muerte de Corina Lydia Contreraz, una adolescente de 16 años cuyo cuerpo había aparecido, cuatro años antes, el 22 de diciembre de 1978, junto a una vía al este de Billings, Montana. Corina mostraba evidencias de haber sufrido una agresión sexual y en su cuerpo podían enumerarse 18 puñaladas. Durante muchos años, la investigación fue obteniendo información proviniente de entrevistas y pruebas, pero ningún nombre pudo vincularse de forma concluyente con el ADN masculino recuperado tras el crimen. En 2002, con los avances de la tecnología, se obtuvo un perfil genético que fue buscado en CODIS, la base estadounidense de perfiles forenses, sin resultados coincidentes.

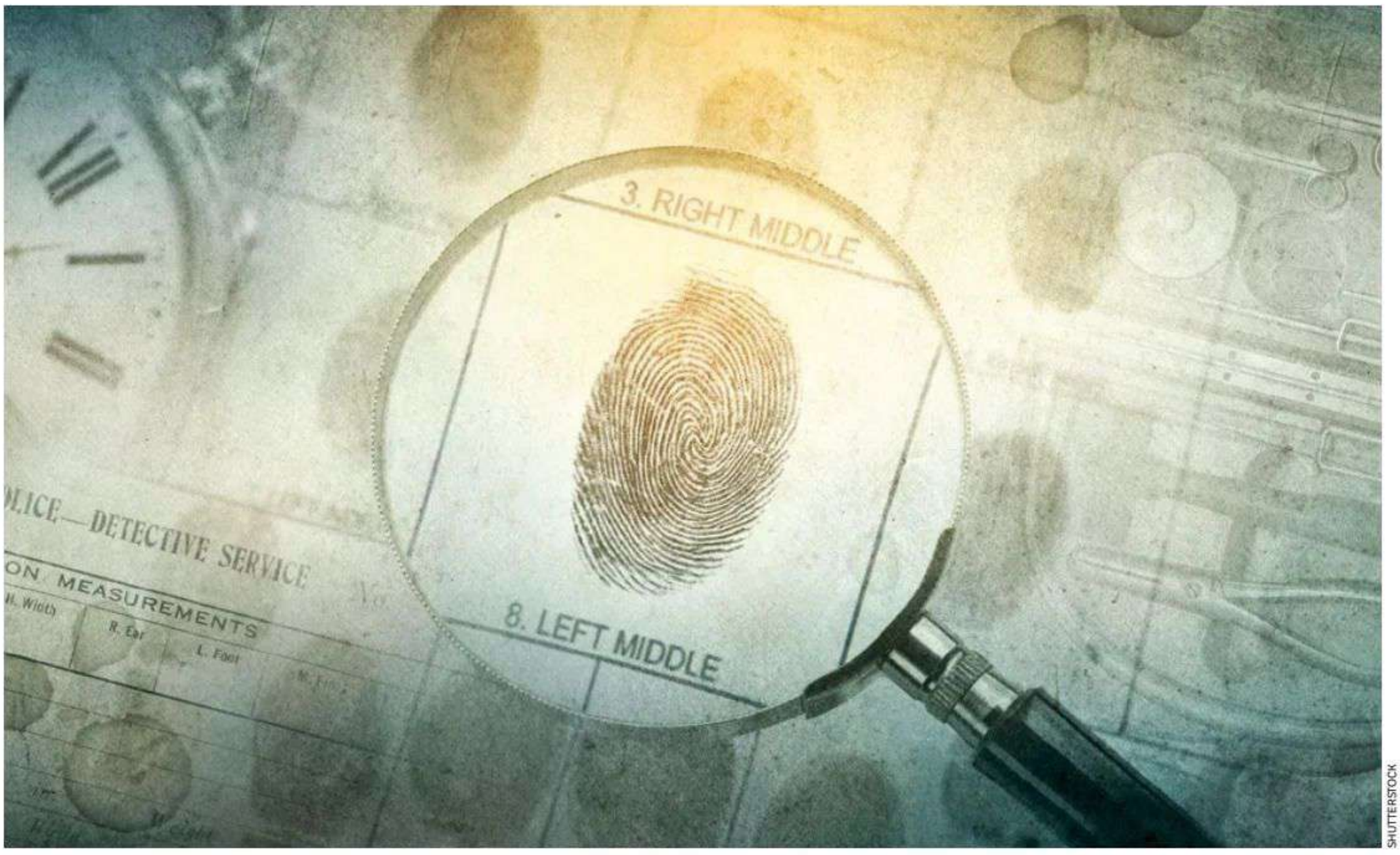
Fue otro adelanto tecnológico, la genealogía genética forense, la que permitió observar aquella antigua muestra desde otra perspectiva. Las búsquedas policiales tradicionales, utilizan principalmente marcadores STR y los comparan con perfiles almacenados en bases como CODIS, pero la genealogía genética trabaja con un número mucho mayor de variantes SNP y busca familiares biológicos. A partir de esas coincidencias y también de registros genealógicos se reconstruyen líneas familiares capaces de llevarnos hasta una persona a la que se puede estar buscando. En el caso Contreraz, el análisis fue estrechando el círculo hasta situar a Stallsmith en el centro de la investigación. Tenían un nombre, un posible culpable del crimen, pero encontraron un escollo: Stallsmith había muerto en 1990 y las vías habituales para obtener directamente su ADN se habían agotado.

ENTONCES SURGIÓ UNA POSIBILIDAD CASI CONTRAINTUITIVA, INVEROSÍMIL, PROPIA DE SERIE DE TELEVISIÓN. Stallsmith había sido detenido en numerosas ocasiones. ¿Conservaría alguna antigua ficha de huellas algo más que sus crestas papilares impresas con tinta? En 2025 se localizaron varias tarjetas físicas con sus huellas digitales. Una de ellas, que estaba fechada en el 11 de noviembre de 1982 tenía algo que ofrecer: los especialistas consiguieron recuperar material genético y compararlo con el ADN masculino procedente de la investigación de 1978. El resultado proporcionó la pieza que faltaba en el rompecabezas. La identificación fue además respaldada mediante muestras de familiares. En septiembre de 2026, la oficina del sheriff del condado de Yellowstone anunció que consideraba a Angelo James Stallsmith Senior responsable de la agresión sexual y del asesinato de Corina. Los investigadores afirmaron que, hasta donde conocían, era el primer homicidio resuelto en Estados Unidos utilizando ADN recuperado de una antigua ficha de huellas dactilares.

EL LLAMADO *TOUCH DNA* O ADN DE CONTACTO **DESIGNA EL MATERIAL GENÉTICO RECUPERADO** DE OBJETOS O SUPERFICIES

La clave de esta historia estaba esperando en la cápsula del tiempo en la que se había convertido un simple cartón, pero plantea una pregunta menos sencilla de lo que parece: ¿cuánto ADN dejamos cuando tocamos algo? La respuesta científica no es categórica ya que no existe una cantidad fija. El llamado *touch DNA* o ADN de contacto designa el material genético recuperado de objetos o superficies que presumiblemente han sido tocados. Durante años se explicó, buscando una forma algo reduccionista, como ADN procedente de células cutáneas desprendidas por las manos. Hoy sabemos que el depósito puede ser mucho más complejo ya que puede contener corneocitos, fragmentos celulares, células nucleadas, núcleos libres e incluso ADN extracelular. Además, las manos no solo depositan nuestro material biológico, también pueden recoger el ADN de otras personas o superficies y transportarlo a otra localización.

De hecho, dos personas pueden sostener el mismo objeto durante el mismo tiempo y haber dejado can-



SHUTTERSTOCK

En la permanencia de una muestra de material biológico el tiempo importa, pero también el lugar y las condiciones en que las que se mantiene: la temperatura, la humedad , la radiación ultravioleta o la superficie sobre la que se imprimen.

tidades muy diferentes de material biológico. Incluso una misma persona puede depositar cantidades distintas en momentos diferentes. En esta cantidad van a influir factores como la presión, la duración, el tipo de superficie, las actividades realizadas previamente, la naturaleza del contacto o las sucesivas manipulaciones del objeto, entre otras variables. Por eso, esa popular imagen de un delincuente que deja, de forma inevitable, una cantidad suficiente de ADN al tocar cualquier cosa, resulta altamente inexacta. A veces se obtiene un perfil útil; otras, apenas unos fragmentos; y en ocasiones no se recupera material interpretable. La variabilidad es precisamente una de las características más problemáticas del ADN de contacto.

El ejemplo del caso de Corina Contreraz en el que una tarjeta de 1982 conserva ADN analizable es en sí misma también engañosa ya que tampoco significa que el ADN sea indestructible. Desde que se deposita comienza una carrera entre persistencia y degradación. La temperatura, la humedad, la radiación ultravioleta, el tiempo y las características de la superficie condicionan cuánto material sobrevivirá y en qué estado. Investigaciones financiadas por el *National Institute of Justice* estadounidense han estudiado experimentalmente ADN de contacto depositado sobre acero y algodón bajo distintas condiciones ambientales. La cantidad recuperable disminuyó con el tiempo y la radiación ultravioleta produjo un efecto especialmente destructivo: las muestras expuestas llegaron a degradarse hasta impedir la obtención de perfiles STR interpretables. Las bajas temperaturas, por el contrario, favorecieron una mayor estabilidad. El tiempo importa, pero el lugar y las condiciones en que permanece una muestra pueden importar tanto como él.

AQUÍ ENTRA EN ESCENA UNA DE LAS HERRAMIENTAS QUE REVOLUCIONÓ LA GENÉTICA FORENSE: LA REACCIÓN EN CADENA DE LA POLIMERASA O PCR. Su función puede compararse, a nivel imaginativo, con una fotocopiadora molecular. Permite amplificar determinadas regiones a partir de cantidades muy pequeñas de ADN hasta generar «cantidad» suficiente para estudiarlas.

Pero aumentar la sensibilidad tiene un precio interpretativo. Cuando la cantidad inicial de ADN es escasa o se encuentra degradada, puede obtenerse un perfil incompleto. Si varias personas han manipulado un objeto, además, el laboratorio puede enfrentarse a una mezcla genética. Cuanto más sensibles son los métodos, mayor es la posibilidad de detectar cantidades minúsculas de material y, al mismo tiempo, más importante resulta determinar qué significado tiene realmente esa presencia. La genética forense moderna ya no se enfrenta únicamente al problema de encontrar ADN, sino al de explicar sólidamente cómo pudo llegar hasta el lugar donde fue encontrado.

Ahí aparece uno de los grandes riesgos de interpretación. Un perfil compatible con una persona puede aportar una evidencia extraordinariamente poderosa para valorar el origen biológico de la muestra, pero no demuestra automáticamente que esa persona tocara el objeto durante la comisión del delito. □

ENTREVISTA

TXABI FRANQUESA

«Es muy importante que la comedia que hagas sea coherente con tu estado vital»



POR CARMEN CASTELLANOS, periodista

A

Txabi Franquesa le gusta que le definan como cómico, porque «es el paraguas bajo el cual caben las reflexiones de un pensador, pensador siempre entre comillas, y crítico social». Y eso es lo que hace en su último espectáculo. «Escocía», que ya va por la quinta temporada en el Teatre Balmes de Barcelona y que ha reunido a más de 80 000 espectadores: reflexionar sobre el paso del tiempo y las contradicciones de una generación que ha llegado a la madurez sin saber exactamente qué significa ser adulta. En sus más de 25 años de carrera también ha ejercido como presentador, guionista, actor, reportero y monologuista. En octubre, presentó el Muy Science Fest en Barcelona, el mayor encuentro de divulgación científica de España.

En tu espectáculo «Escocía» afrontas las dudas y meditaciones de un hombre que se debate entre la juventud y la vejez, entre el optimismo y el pesimismo. En «Parlant amb Franquesa» cuentas tus experiencias, anécdotas, vivencias y reflexiones. ¿Cuál es tu filosofía de vida?
Mi filosofía de vida, evidentemente, es ya, llegado a este punto, poder decir todo lo que pienso, eligiendo, evidentemente la manera de decirlo, o bien con inteligencia, o bien con mesura, o bien con fina ironía, pero decirlo tal cual. Intentar evitar hacer daño a nadie, pero sobre todo que no te lo hagan, ¿no? Es una cosa que viene siendo bidireccional. Como afirmaría un amigo mío, respeto, ante todo respeto, y a partir del respeto todo se puede.

¿Cómo reacciona el público ante esas cuestiones que nos planteamos todos?
Yo creo que el público concibe el espectáculo como una catarsis colectiva. Es de, alguna manera, darte cuenta que aquellos problemas que sientes que están solo dentro de ti están, curiosamente, dentro de todos aquellos que están compartiendo el espacio contigo en ese momento. Ya sea por circunstancia o por edad. Con lo cual, todo lo que es compartido alivia. Alivia porque es una carga que ya no se lleva solo. Y es muy liberador, eso sí que lo puedo decir.

¿Cómo crees que han evolucionado tus claves y tu humor a lo largo de este tiempo?
Yo he ido creciendo con mi comedia y mi comedia ha ido creciendo conmigo. Mi comedia ha ido evolucionando, para bien o para mal, a nivel de calidad, pero sí que ha ido haciéndose adulta conmigo, con lo cual esa gente que me acompañaba hace 25 años también lo puede hacer ahora y ha visto que ese humor ha evolucionado hacia un punto donde tiene bastante más lógica. Porque explicar cosas que no concuerdan con tu manera de ser y vivir es un poquito extraño. Es muy importante que la comedia que hagas sea coherente con tu estado vital.

Tus espectáculos se caracterizan por tu humor ágil, ácido y muy dinámico. ¿Improvisas según la reacción del público o la actualidad?
Evidentemente la improvisación se da siempre en función de si ha ocurrido algo. No voy muy pegado a la actualidad política, pero a la actualidad en general y la actualidad social, que también tiene mucho de política, sí que intento ir un poco pegado, siempre y cuando sea un tema que me inspire o me de juego. Y luego, sí, la improvisación nace del estado del público, cuando el público está más entregado o participativo da más juego, y evidentemente hay más improvisación.Es una cosa que no la puedes medir. Hay espectáculos donde se ha improvisado mucho y hay otros donde se ha improvisado algo menos, pero siempre hay algo de improvisación que hago de manera egoísta para sentir que el *show* siempre es diferente. Quien ha venido en repetidas ocasiones también me lo hace saber, ya que encuentra que los *shows* nunca son exactamente iguales. □

ASTROCIUTAT 2026
LAS MEJORES FOTOGRAFÍAS DEL ECLIPSE SOLAR

LA TERCERA EDICIÓN DEL CONCURSO INTERNACIONAL DE ASTROFOTOGRAFÍA ASTROCIUTAT NOS DEJA SEIS IMÁGENES ESPECTACULARES DEL EVENTO ASTRONÓMICO DEL 12 DE AGOSTO, SELECCIONADAS ENTRE MÁS DE 200 FOTOGRAFÍAS.

Organizado por la **Ciutat de les Arts i les Ciències** de València, FotoAstro Gonzalez y *MUY Interesante,* el concurso **AstroCiutat 2026** ha dedicado su tercera edición exclusivamente a los eclipses solares. El certamen ha reunido más de 200 fotografías de extraordinaria calidad y ha distinguido seis trabajos centrados en el eclipse del 12 de agosto, después de que se declarase desierta la categoría dedicada a otros eclipses. El jurado estuvo formado por Jesús M. García Flores (astrofotógrafo profesional y Master FIAP), Toni Sendra (fotógrafo y APOD NASA), María José González de FotoAstro Gonzalez, Cristina Enríquez (directora de *MUY Interesante)*, Asociación Valenciana de Astronomía (AVA), Asociación Astronómica Aras de los Olmos y **Ciutat de les Arts i les Ciències** (CACSA).

Los premios se entregaron el pasado 30 de octubre, coincidiendo con la inauguración de una muestra que puede visitarse gratuitamente en la zona interior de libre acceso del **Museu de les Ciències** de València hasta octubre 2027.

1-*Los colores del eclipse.* Javier Castro Chaves.
Esta imagen representa la trayectoria y estado del sol en trece momentos del eclipse a su paso por el norte de León. Cada eclipse es distinto; incluso un único eclipse se ve y se vive de distinta forma en cada parte de su recorrido, con esa luz «extraña» y los colores «fantasmales» junto a los cambios de temperatura.

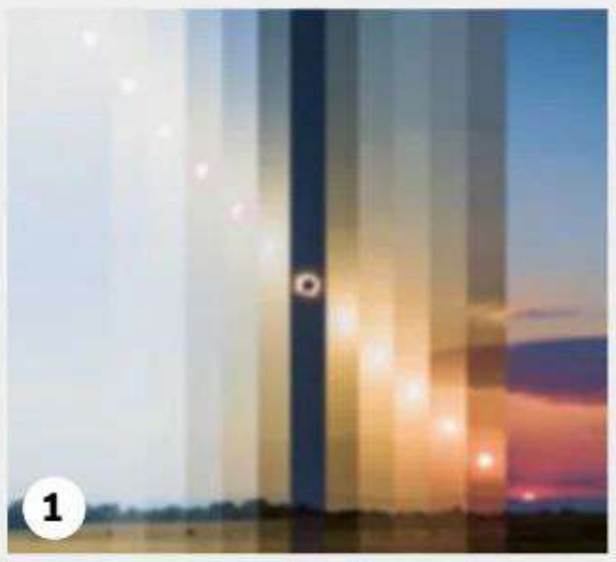
2-*30 Segundos.* José Ángel Izquierdo Cano.
Novales (Huesca). Menos de 30 segundos de totalidad, un increíble trabajo en equipo y una imagen irrepetible que tomé a 500 metros de distancia, hacen realidad una idea concebida por Gonzalo González: el skater Danny León saltando frente al Sol eclipsado, desde una rampa construida ad hoc por SB Ramps.

3-Paranoia. Delimitando la totalidad. Iker Fernández.
Esta composición, tomada en la comarca de Los Oteros (León), reconstruye los frenéticos segundos inmediatamente anteriores y posteriores a la totalidad. La fotosfera desaparece y reaparece entre las montañas y valles lunares, formando las Perlas de Baily, mientras emergen las prominencias con su intenso color magenta.

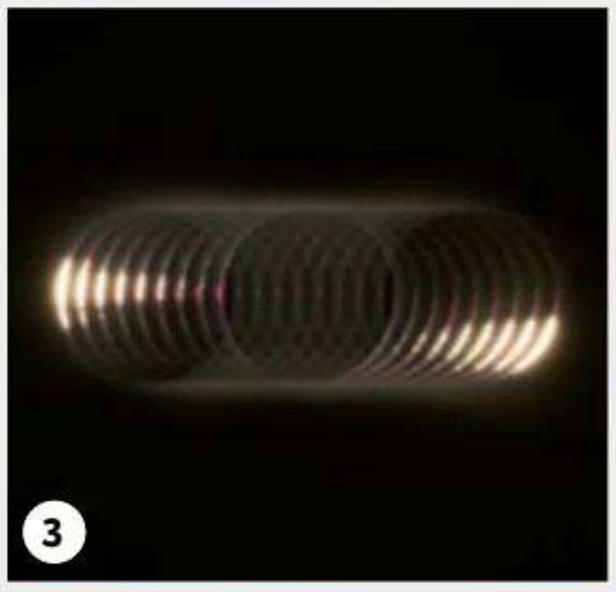
4-*El sol y la luna se dan cita en Morella.* Eduardo Manero.
Mientras la luz del día se extingue y la oscuridad envuelve la ciudad de Morella (Castellón) se descubre, con emoción, cómo las murallas y el castillo se iluminan para salir al encuentro del eclipse, en el preciso instante en el que alcanza la fase de totalidad.

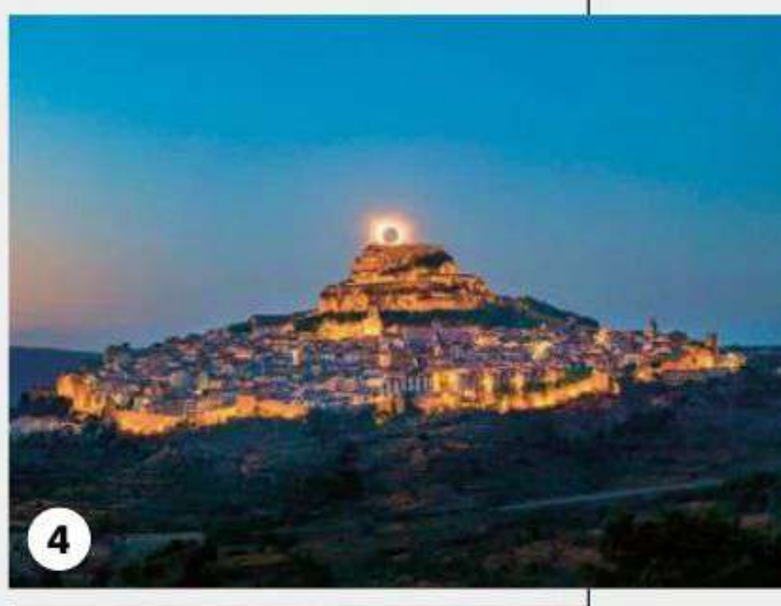
5-*A Crescent Sunset.* Rositsa Dimitrova.
Presenciar un sol creciente poniéndose en el mar Mediterráneo desde Mallorca fue una experiencia surrealista: estamos tan acostumbrados a ver la Luna solo en esa forma... Los eclipses solares totales cambian la vida: sigues queriendo verlos una y otra vez, son un pequeño milagro de la naturaleza.

6-*In the Shadow of Daylight.* David Jerabek.
Esta fotografía fue tomada en Hracholusky, cerca de Křivoklát, en la República Checa. Planifiqué cuidadosamente la composición y la probé el día antes del eclipse. El Sol eclipsado apareció exactamente donde había planeado, perfectamente enmarcado por la silueta de un icónico fresno y el paisaje circundante.

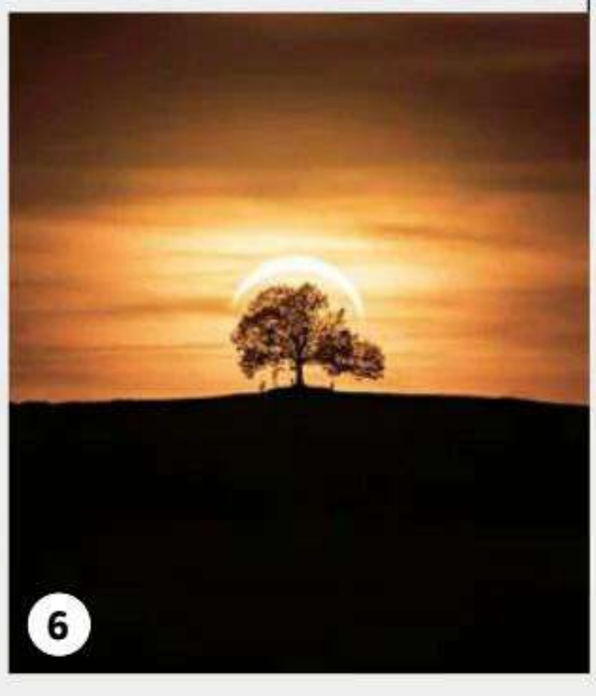

1


2


3


4


5


6

LA EXPEDICIÓN Malaspina

UNA ENCICLOPEDIA VIAJERA

En 1789, Alejandro Malaspina zarpó de Cádiz al mando de una expedición destinada a explorar y conocer las posesiones españolas de ultramar. Durante cinco años, sus hombres levantaron mapas, catalogaron especies y estudiaron territorios y sociedades. A su regreso, sin embargo, las intrigas políticas truncaron su carrera y condenaron al olvido una de las grandes empresas científicas de la Ilustración.

POR ENRIQUE JOSÉ DÍAZ LEÓN, periodista científico y escritor y profesor, autor de *Historia de las grandes expediciones científicas* (Guadalmazán)

El protagonista de este artículo, Alejandro Malaspina, nace en el Mediterráneo, en una Italia fragmentada, en concreto en Mulazzo, en el extremo noroccidental de la península. Mulazzo era un reducto casi feudal donde los Malaspina constituían una vieja familia de la nobleza.

Alejandro nació el 5 de noviembre de 1754 en el castillo de Mulazzo y tempranamente abandonó el feudo familiar. La Italia de la época, sobre todo la meridional, mantenía los lógicos lazos de servidumbre con respecto a la monarquía hispánica de la cual formaba parte. Un tío de su madre había sido ministro del futuro rey Carlos III de España cuando este era rey de Nápoles. En 1762 este tío suyo era virrey de Sicilia, lo que motivó el traslado de la familia Malaspina a Palermo. Poco después encontramos a Alejandro en Roma, recibiendo las enseñanzas del Colegio Clementino, un centro de élite. En aquel tiempo, la nobleza europea era ya consciente de que la posesión más rentable era la de las ideas y conocimientos, y enviaba a sus hijos a los centros más exigentes.

Con solo 17 años, Malaspina presentó allí una tesis sobre física general, una especie de trabajo de fin de carrera donde dejaba patente sus conocimientos sobre la física antigua y la nueva física newtoniana. En las antípodas de esta línea de pensamiento, Malaspina recibe también lecciones de un religioso llamado Jacopo Stellini, quien plantea una alternativa a la ciencia newtoniana, pues considera que los hombres solo pueden conocer lo que han hecho los demás hombres, y no la naturaleza. Tanto un planteamiento como el otro conforman el sustrato intelectual de Alejandro Malaspina.

En 1773 se produce el contacto de nuestro protagonista con el mar. Siguiendo la tradición familiar, se hizo caballero de la Orden de Malta en la ciudad de La Valeta, produciéndose su bautismo como marino en ese otoño. Al año siguiente, y tras la muerte de su padre, viajará a Cádiz donde ocupará plaza de guardiamarina en la Academia.

En quince años protagonizó una fulgurante carrera en la Armada, estudió y guerreó a partes iguales, navegando muy lejos. En 1776 viajó hasta las Filipinas por la ruta oriental, doblando el cabo de Buena Esperanza. Durante aquella travesía atravesó el Ecuador, un hecho cargado de simbolismo para cualquier marino. Como teniente de fragata, Malaspina combatió al almirante Rodney frente al cabo de Santa María, siendo premiado con un ascenso por su intervención.

Participó en el bloqueo de Gibraltar y, al terminar la guerra contra Gran Bretaña, era capitán de fragata. La paz en 1783 trae la oportunidad de resucitar viejos



Retrato del marino y científico Alejandro Malaspina (siglo XIX), del pintor y grabador español José María Galván y Candela. ASC



ALBUM

El fondeadero de las corbetas Descubierta y Atrevida en las islas Vavao visto desde el observatorio, por Fernando Brambila (siglo XVIII).

proyectos de Jorge Juan para instaurar en la Academia un plan docente ajustado a la realidad científica. El conflicto había mostrado las carencias de la Armada española, y las ciencias físicas, la hidrografía, el cálculo y la astronomía cobraron protagonismo. Se puso en marcha el Curso de Estudios Mayores, impulsado por José de Mazarredo, maestro de Malaspina, que llegó a publicar las memorias astronómicas del viaje de este.

Malaspina mantuvo con él y con otros oficiales una gran sintonía, todos implicados en proyectos reformistas. Vicente Tofiño contó con Malaspina para la elaboración de su *Atlas marítimo de España* y *Los derroteros de las costas de España*, publicados en la década de los ochenta y basados ya en la cartografía moderna. El hecho de que Malaspina llegara a Cádiz ya con una sólida formación científica explica su pronta incorporación a puestos docentes, dirigiendo desde programas de observación astronómica a la propia compañía de cadetes.

CREENCIAS PECULIARES

En los años previos a la expedición hay dos hechos muy destacados en la vida de Malaspina. Por un lado, en 1783 le abre expediente el Tribunal del Santo Oficio en Cartagena por una supuesta poca piedad que había mostrado estando ante la celebración de la misa diaria, encerrándose en su camarote a leer libros prohibidos por el índice y a una supuesta discusión con el capellán de la fragata a cuenta de la transmigración de las almas. Malaspina creía en ello a juzgar por el testimonio de otros oficiales; era algo frecuente en otras religiones, pero no compartido por la jerarquía católica. Es un misterio de dónde pudo tomar esta idea Malaspina, aunque sí es cierto que los neoplatónicos y neopitagóricos italianos defendían la transmigración. La moda orientalista de la época, alentada por la profusión de largos viajes, provocó que llegaran a Europa muchas noticias sobre religiones antiguas. Resulta curioso que un navegante versado en muchas materias, de gran formación científica, pudiera creer en esta idea. Sin embargo, la ciencia moderna está plagada de conductas similares: Paracelso habló el lenguaje de los destiladores, la cábala estuvo presente en la astronomía y Newton practicó la alquimia. Los padres de la ciencia moderna también dedicaron muchas páginas a la brujería, la alquimia y el mundo de los prodigios.

El segundo hecho destacado tuvo lugar durante uno de los muchos viajes que, con carácter previo a la gran expedición, realizó Malaspina. El viaje en cuestión tuvo lugar entre 1786 y 1788 y fue patrocinado por la Corona española. A bordo de la fragata Astrea, Malaspina protagonizó una gesta singular: circunnavegó el globo, una gesta al alcance de muy pocos en aquellas fechas. Fue el primer italiano en conseguirlo. A su regreso, la hoja de servicios de Malaspina era intachable y su perfil, el más adecuado para acometer el colosal proyecto de reconocimiento y cartografiado no solo de la península, sino también de América y el Pacífico que planeaba la Corona.

A LA ALTURA DE JAMES COOK

La expedición científica capitaneada por Malaspina, conocida como «Expedición Malaspina», es, sin duda, un proyecto de dimensiones colosales para su época, que conecta tanto con la tradición española de grandes viajes de descubrimiento iniciada en el siglo XV como con el ciclo de grandes exploraciones científicas iniciadas por las potencias europeas en esta segunda mitad del siglo XVIII.

El hecho de que se explorara el Pacífico no es tampoco casual. Estamos hablando de una de las posesiones más extensas de la Corona española todavía en esta época y ya en aquel entonces anhelo de otras potencias que comenzaban a mostrar su interés en explotar económicamente sus inmensidades, apoyados en el avance científico que había permitido navegar más lejos y durante más tiempo que nunca. El viaje de Cook, que veremos más adelante, es una buena prueba de ello.

El modelo del viaje de Cook está tan presente en los preparativos del de Malaspina que hasta los nombres de sus corbetas, Descubierta y Atrevida, emulan los de los navíos de aquel (Discovery y Resolution). Todo esto nos evoca, obviamente, a esa competencia internacional en el mismo ámbito científico a la que asistimos en la actualidad. Pero la monarquía española no actuaba solo guiada por el compromiso con la modernidad, sino también por la necesidad de reforzar su presencia en el Pacífico, posesión española que, tras la guerra de los Siete Años, estaba cada vez más en entredicho.

A estas causas también debemos añadir el hecho de la contracción del comercio experimentada por los puertos de Perú y Chile, que hacía necesaria información de primera mano sobre las posibles causas. Todo ello determinó que el Gobierno de Floridablanca fletara una expedición digna de competir con la de James Cook. Los expedicionarios investigarían el estado del comercio en los puertos y levantarían cartas y planos de los principales fondeaderos. Los mismos marinos que habían participado en el *Atlas marítimo de*

España y *Los derroteros de las costas de España* de Tofiño participarían en estos trabajos (Alcalá Galiano, Espinosa y Tello, Bauzá, etc.). Incluso se aprovecharon los mismos instrumentos científicos. En el fondo, estamos ante una operación de imagen a gran escala: España es un país moderno. Naturalistas españoles y extranjeros fueron embarcados en las corbetas al mando de Malaspina y no podían faltar los pintores y dibujantes. El proyecto de expedición correspondió a Malaspina y al capitán de la Atrevida, Bustamante. En julio de 1789, zarpan las dos corbetas desde Cádiz.

La expedición llegó a Montevideo el 20 de septiembre de ese mismo año, y cerca de dos meses estuvieron en el estuario del Río de la Plata. En la capital del virreinato, Buenos Aires, fueron recibidos por el virrey, quien les hizo entrega de la cantidad de 28 000 pesos y les facilitó el acceso a los archivos de la ciudad, una muestra de la importancia que el Gobierno español dio a esta expedición, puesto que este protocolo se repitió en todas las estaciones de la misma.

El plan de trabajo fue similar en todas las escalas. Por un lado, Bauzá y Espinosa organizaban las operaciones geodésicas, las observaciones astronómicas y los trabajos cartográficos mientras que Pineda y Née (científico francés) recopilaban herbarios y catalogaban especies vivas. Se obtuvieron resultados en todas las disciplinas, desde la mineralogía a la zoología, pasando por el magnetismo terrestre, la ecología, la química o la geografía. Todos esos trabajos se encuentran hoy repartidos entre archivos y museos de Madrid, México, Lima, Buenos Aires, Manila, Londres o San Petersburgo. Ello da fe de lo colosal del proyecto.



MUSEO NAVAL DE MADRID

Retrato de José Joaquín de Bustamante y Guerra, caballero de la Orden de Santiago, teniente general de la Real Armada española, capitán general de Guatemala y gobernador de Montevideo.

TRAS EL «PASO DEL NORTE»

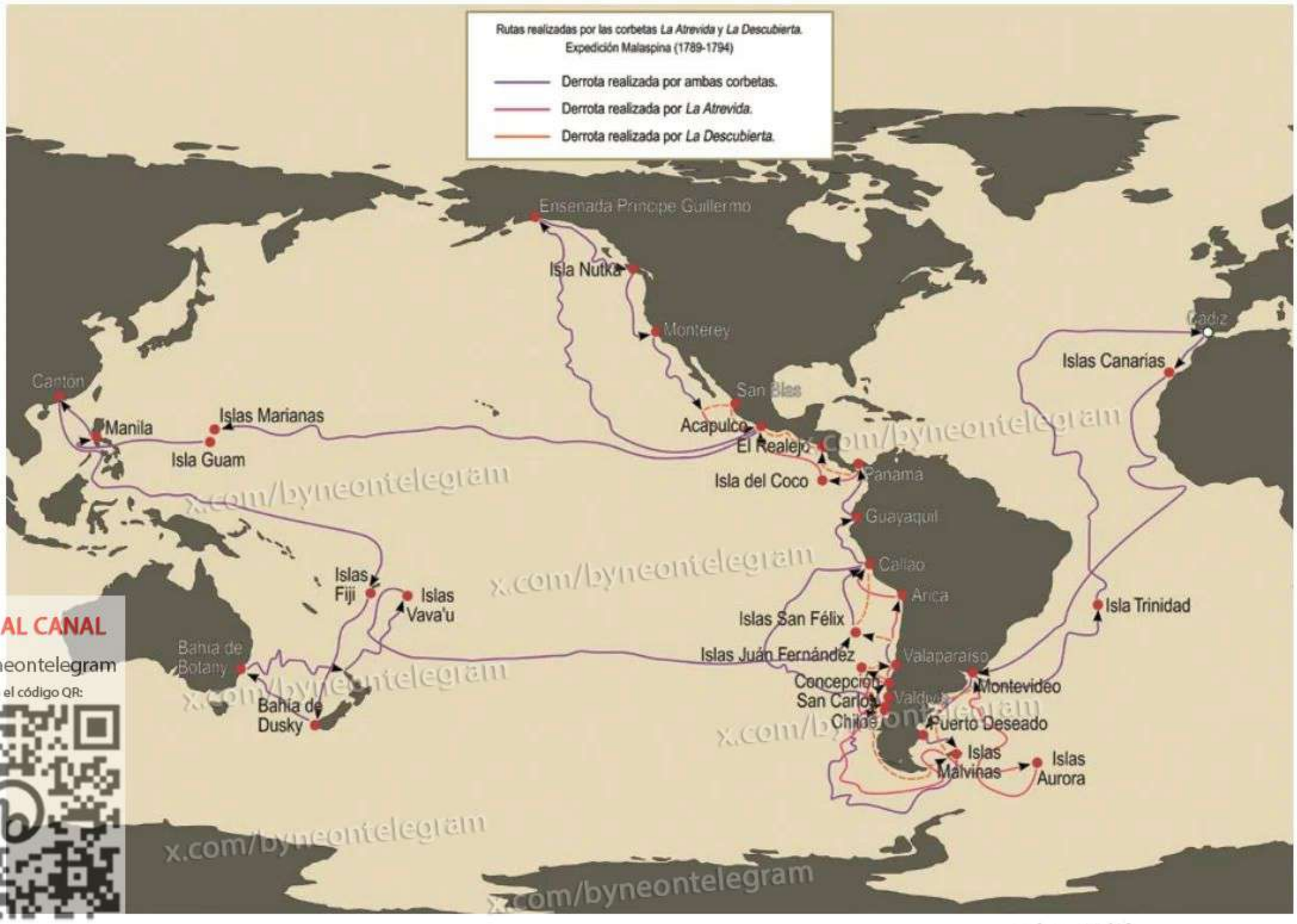
Desde Montevideo marcharon hacia el sur, tocando tierra en la Patagonia y, más tarde, en las Malvinas. A finales de año, doblaron el cabo de Hornos durante el verano austral, a fin de evitar los hielos tan frecuentes en una zona tan cercana al Polo, alcanzando el sur de Chile en febrero de 1790. Durante esta etapa estudiaron la pesca de la ballena, una actividad que se quería fomentar. Se cartografió y se realizaron trabajos etnográficos; esto último en línea con la moda de estudiar a los pueblos indígenas popularizada por Rousseau.

Continuó el ascenso por la costa pacífica, alcanzando El Callao, puerto de Lima, la capital del virreinato del Perú. Desde aquí a Guayaquil, y tras esto a las costas centroamericanas, las mismas que medio siglo antes habían estudiado Jorge Juan y Ulloa. El virrey Gil y Lemos, hombre de la Armada, también colaboró con ellos. Realizaron numerosos trabajos estadísticos, de gran tradición en el Imperio español, y potenciados durante la Ilustración. Terminados los mismos, se dirigieron a Panamá, donde realizaron observaciones geodésicas encaminadas a otro de los grandes sueños americanos de todos los tiempos: la apertura de un canal entre los dos océanos.

Siguiendo su ruta, fondearon en Acapulco, adonde arribaron en la primavera de 1791. Malaspina no se detuvo demasiado tiempo allí, aunque miembros de la expedición permanecieron en el lugar y colaboraron con el virrey Revillagigedo, promotor de buena parte de las obras públicas y de la arquitectura de Ciudad de México. Entre los expedicionarios que trabajaron en México encontramos a Alcalá Galiano o al francés Née; sus trabajos fueron utilizados por Alexander von Humboldt en su *Ensayo político de la Nueva España*.

Mientras, Malaspina y su primer oficial, Bustamante, habían puesto rumbo al norte persiguiendo la leyenda del «Paso del Norte» entre los océanos. Al margen de este interés científico, no es menos importante el hecho de estudiar los movimientos de los barcos rusos e ingleses que, cada vez más, frecuentaban la zona. La Convención de El Escorial había puesto fin a las pretensiones españolas de ejercer un monopolio sobre el comercio en el Pacífico, pero la Corona española y la Academia de Ciencias de París no cejaron en su intención de encontrar ese paso septentrional.

Malaspina alcanzó las inmediaciones de Anchorage, bautizando con el simbólico nombre de «Puerto Desengaño» el punto donde se suponía que debía abrirse el ansiado paso. Malaspina finalmente retornó al sur, fondeando en Monterrey (California). Desde Acapulco atravesaron el Pacífico en dirección a las Filipinas, alcanzándolas en invierno de 1792. Allí realizaron infinidad de estudios cartográficos y geográficos, al margen de los de historia natural. Las últimas escalas de la expedición tuvieron lugar en tierras australianas y en las



ENLACE AL CANAL
x.com/byneontelegram
Ó escanea el código QR:

Mapa en el que se muestran las rutas de Malaspina realizadas por las corbetas Descubierta y Atrevida (1789-1794) por los territorios del Imperio español en la segunda mitad del siglo XVIII.

islas Vavao, la actual Tonga, donde, a pesar de la presencia inglesa, realizaron interesantes investigaciones.

AXIOMAS POLÍTICOS SOBRE LA AMÉRICA

Precisamente en Tonga los expedicionarios tuvieron la oportunidad de contemplar una suerte de paraíso, una Arcadia perdida en la imaginación del subconsciente europeo con sociedades primitivas, donde el lujo y la propiedad no existían; el paradigma del exotismo. La expedición no regresó a Europa por el Índico; circunnavegar el globo no era el objetivo de la misma, de forma que volvieron sobre sus pasos, retornando a Montevideo. Desde allí partieron hacia Cádiz, donde arribaron el 21 de septiembre de 1794 con las bodegas cargadas de tesoros científicos de primer orden con los que confeccionar una enciclopedia, al uso de la que había visto la luz en París poco antes.

Ese carácter de recopilación enciclopédica es, sin duda, el rasgo diferenciador de la expedición de Malaspina. Sus contemporáneos ya le dieron ese nombre: «política y científica». El propio Malaspina comprendió enseguida el carácter de la empresa: no solo se le enviaba a cartografiar costas, sino a lo que él llamó en sus diarios y cuadernos de viaje «verdades filosóficas». Para un «ilustrado», una verdad filosófica era la que procedía de la razón, del conocimiento; un conocimiento que tiene en esta época un papel tan destacado como en ningún tiempo anterior.

El pensamiento newtoniano fue, sin duda, el estilo de conocimiento de esta época. Su impulsor, un héroe para los ilustrados; su manera de hacer filosofía natural a partir de las matemáticas o la física fue imitada en distintos ámbitos de la ciencia. Con esta premisa encaró Malaspina su expedición; heredero del espíritu de Jorge Juan, recorrió el vasto Imperio español con el bagaje de este nuevo conocimiento buscando conocer la verdadera forma de este y desvelando los principios que lo regían.

Siempre a la estela de Jorge Juan, Malaspina es, más que un navegante, todo un filósofo al servicio de la Armada, verdadero motor del Imperio. Las herramientas que esta se plantea para controlarlo son la geometría, la astronomía, la mecánica o la dinámica. Pero el viaje de Malaspina no es solo científico, sino también político, y el discurso político del marino italiano bebe de las fuentes de Adam Smith o David Hume, y podemos encontrarlo en su *Axiomas políticos sobre la América*, fechado poco después del viaje.

Sus *Axiomas* se asientan sobre un principio básico: es imposible mantener un imperio con la vieja estructura que hasta entonces lo regía. Parte de una realidad inapelable, y es que los intereses de españoles, criollos

Malaspina es, más que un navegante, todo un filósofo al servicio de la Armada, verdadero motor del Imperio

y nativos son contrapuestos. Malaspina se muestra partidario de una federación cuyos principales vínculos eran la religión y el comercio. El pensamiento ilustrado considera que el libre comercio es la mejor manera de cohesionar una sociedad. El marino italiano no es ya el aventurero que se embarca en una expedición contra los dioses y las leyendas, sino un científico decidido a hacer un trabajo experimental, a ver lo que sus ojos, preparados en el Colegio Clementino y el Observatorio de la Armada, le han enseñado a ver.

Alejandro Malaspina redactó dos memorias de su expedición: una geográfica y otra política. El espíritu que impregna ese trabajo es el mismo que el de la obra de Humboldt; intenta buscar las relaciones entre los hechos que se describen, no solo enumerarlos. Como ya hicieran Jorge Juan y Antonio Ulloa, Malaspina se propuso la publicación de los resultados de su expedición, pero las intrigas cortesanas desatadas en 1795 acabaron con su meteórica carrera. Enfrentado al valido Godoy, fue procesado por conspirar contra la monarquía. En la primavera de 1796 fue arrestado y conducido al presidio de San Antón en La Coruña, donde permaneció recluido hasta finales de 1802.

Durante su estancia en prisión, Malaspina siguió leyendo y escribiendo. La mediación de un amigo italiano, Meizi, permitió que fuese excarcelado, y se marchó al exilio en su tierra natal, donde fallecería en 1810. Hasta aquí la correlación de hechos; lo objetivamente constatable de este viaje. Como todo viaje, como toda gran aventura, tiene su trastienda, y vamos a detenernos brevemente en algunas de las curiosidades, de las anécdotas, más llamativas del mismo.

SELECCIÓN POCO CONVENCIONAL

Una vez cuenta con la dotación financiera necesaria, Malaspina se centra en los recursos humanos necesarios para su expedición. El italiano necesita oficiales que aseguren la disciplina necesaria para llevarla a buen puerto, y para ello envía una misiva a los oficiales de la Armada en busca de adeptos; en ella escribe sin tapujos sobre la posibilidad de que haya víctimas, de un viaje largo de tres o cuatro años (finalmente serán cinco), costas desconocidas, países poblados por gentes «más bien bárbaras que civilizadas» (palabras del propio Malaspina), tareas repetitivas y una necesaria subordinación estricta al mando. Finalmente, son seis los oficiales seleccionados, ninguno contra su voluntad. La elección de los naturalistas es de lo más rocambolesca: tres, las plazas a cubrir y un mayor número de candidatos, aparentemente todos buenos.

El primero en enrolarse es Antonio Pineda, amigo y compañero de armas de Malaspina. El segundo es el francés Luis Née, por aquel entonces empleado del Jardín de La Priora, en Madrid, donde cobra un sueldo miserable. El francés inventa un currículum, pero su capacidad como recolector le permite salvar la criba. La tercera plaza, y su cobertura, es digna de un relato de intrigas. El profesor de química Florián Coetanfeau estaba dispuesto a embarcarse, pero finalmente se retiró de la pugna alegando problemas familiares; Malaspina, simplemente, no lo quería en su grupo. El prestigioso naturalista Karl Gmelin, amigo de Pineda, se encuentra «casualmente» en Madrid, pero su candidatura es rechazada por ser extranjero, por suponerle vinculado a la Rusia zarista y tener la expedición previsto alcanzar posesiones rusas en el Pacífico Norte. Finalmente, el mejor naturalista de su tiempo, Thomas Haenke, es el elegido; ya no importará su nacionalidad.

INSTRUMENTAL Y EXPERIMENTOS

Mientras esto se dirime, las cuestiones técnicas tampoco se dejan a la improvisación. Malaspina supervisa todos los detalles con meticulosidad enfermiza. Se emplearán dos corbetas ligeras y con escaso artillado, dotadas de los más avanzados artilugios, entre ellos, pararrayos de última generación. En una misiva Malaspina se lo cuenta al ingeniero Muñoz para que disponga lo necesario. Se trata de una pieza de hierro de un metro de longitud con forma de cono truncado coronado por un afilado estilete de latón. Una cadena de grosor variable desciende del cuerpo principal hasta la superficie del agua, derivando la corriente al mar si ocurre lo peor. No es el único detalle técnico innovador; por ejemplo, el cabestrante mayor tendrá un manejo más fácil colocado entre el combés, el palo mayor y el castillo de proa.

Curiosamente, la tardanza en la llegada del instrumental científico prolongó inesperadamente la partida. Una de esas novedades fue el uso del péndulo,



MUSEO NAVAL DE MADRID

Representación del encuentro entre Malaspina con los tehuelches en Puerto Deseado, provincia de Santa Cruz, en 1789, copia de un original de Jesús del Pozo por Luis Planes y por Bartolomé Maura.

que tenía como finalidad realizar observaciones sobre la fuerza de la gravedad y estudiar la figura de la Tierra, además de servir como referente para ajustar los cronómetros marinos. Las observaciones astronómicas tuvieron un papel primordial durante la expedición y, como curiosidad, diremos que el día de 23 de diciembre de 1789, con la previsión de un eclipse de Acuario, un incendio fortuito estuvo a punto de echar al traste uno de los hitos científicos de la expedición.

En Año Nuevo, la expedición se encuentra doblando el cabo de Hornos y la temperatura es tan baja que los instrumentos peligran. En concreto, el reloj número 10 baja su temperatura hasta los 7 grados, cuando debería oscilar entre 9 y 10. Si baja de 5 grados, dejará de funcionar. La solución, simple y temeraria, es calentarlo con velas, un remedio casero al que seguirán otros. A partir de ese momento, el instrumental se guardará en un camarote con un farol encendido día y noche para que caliente el ambiente.

Alcanzadas las aguas del Pacífico, los expedicionarios recalarán en las islas Chiloé, donde se produce uno de los episodios más significativos del carácter militar al que no renuncia Malaspina para dirigir esta expedición. A esas alturas de la expedición, febrero de 1790, los hombres llevan ya muchos meses de navegación, y los hay que han venido a la fuerza, no quieren navegar más. Uno de ellos, que vigilaba el barracón de los herreros, huye robando un ternero. A pesar de que se refugia en una choza cercana, lo descubren y no tardan en prenderlo. El motivo de su deserción: la codicia. Un acomodado labrador le había prometido que se casaría con una de sus hijas. El castigo será ejemplar: la carrera de baquetas. El reo correrá por la cubierta mientras el resto de tripulantes le flagela el torso desnudo.

Las deserciones serán una constante a lo largo del viaje, a pesar de la dureza de los castigos. En medio de esta lacra, la ciencia se abre camino, y ya en el virreinato de Perú se pone a prueba un nuevo artilugio técnico: el eudiómetro. Forma parte del instrumental que llegó con retraso procedente de París y que sirve para conocer la calidad del aire atmosférico calculando la proporción de oxígeno. El artefacto consiste en un cilindro transparente donde se combinan aire y nitrógeno, y su reacción consume oxígeno. El volumen total de la mezcla disminuye en similar proporción. La conclusión es que la brisa marina purifica los pulmones.



MUSEO NAVAL DE MADRID

Dibujo de Fernando Brambila, pintor italiano que acompañó a Malaspina en la expedición, en la que se representa un ritual funerario con un tótem y grandes piras funerarias en el entorno de Mulgrave.

En Año Nuevo, la expedición dobla el cabo de Hornos y la temperatura es tan baja que los instrumentos peligran

Durante su estancia en Guayaquil, el inquieto Antonio Pineda realiza experimentos sobre la velocidad del sonido; como tantos en su época, aspira a probar empíricamente la teoría de la gravedad de Newton. Para ello, realizan la siguiente prueba: usando una maroma de cierta longitud, se traza una línea recta en cuyos extremos se colocan sendos ayudantes. Uno, escopeta en mano, se encarga de disparar; el otro, provisto de un reloj de segundos, mide el tiempo transcurrido entre el avistamiento del humo y la percepción sonora del disparo.

Como ya dijimos anteriormente, la búsqueda del legendario «Paso del Noroeste» es una de las claves políticas de esta expedición y en torno a ella, el objetivo es encontrar el paso interoceánico entre las latitudes 60 y 75. Una idea les espolea, encontrar el legendario canal que supuestamente avistó otro español, Ferrer Maldonado. Utilizarán gran parte del año 1791 en recorrer esa zona del planeta con escalas en Mulgrave y Nutka sin éxito. Como prueba del desengaño, una bahía cercana a Mulgrave recibirá ese nombre, «Desengaño».

Antonio de Pineda, que se había quedado en México tras la partida al norte de Malaspina, recorre hasta los más recónditos rincones del inmenso país y se reencuentra con Malaspina a la vuelta de este. Pineda, más científico que político, ansía dar la vuelta al mundo, mientras que el italiano está empeñado en la parte política de su viaje. Surgen fuertes desavenencias que se mantendrán hasta la muerte del primero en Filipinas, adonde había puesto rumbo con la idea de calcular la gravedad en el paralelo 45.

La expedición continuará camino hacia Australia y Tonga, donde se recolectará una importante cantidad de especies vegetales, entre las cuales destaca la «lengua de gato», que está previniendo eficazmente el escorbuto sin saber por qué. Hoy conocemos que es rica en vitamina C, potente remedio contra el mal. Desde aquí, parten camino de regreso hacia España con escalas en puertos amigos. Como ya hemos dicho, la posición política de Malaspina marcará su futuro y, desgraciadamente, el que un telón de ignorancia se corra sobre esta expedición durante muchos años. □

BULOVA

LEGENDARY SINCE 1875

Diseñado para la historia

En 1971, un cronógrafo Bulova formó parte de una misión lunar histórica. Hoy, ese legado continúa en tu muñeca

---

Bulova Lunar Pilot

Precisión nacida para explorar*

COMUNITAT VALENCIANA

Ocho culturas heredadas,
una historia que se queda grabada.

¿SERÁ ESTO LA FELICIDAD?



Seguramente, lo será. Y no será casualidad. Será por nuestro sol y la accesibilidad de nuestras playas. Por nuestra rica gastronomía. Será por la comodidad de nuestras ciudades y la autenticidad de nuestros pueblos. Por nuestra cultura y nuestra vanguardia. Será porque aquí haces tuya nuestra manera de vivir.

ACTITUD MEDITERRÁNEA