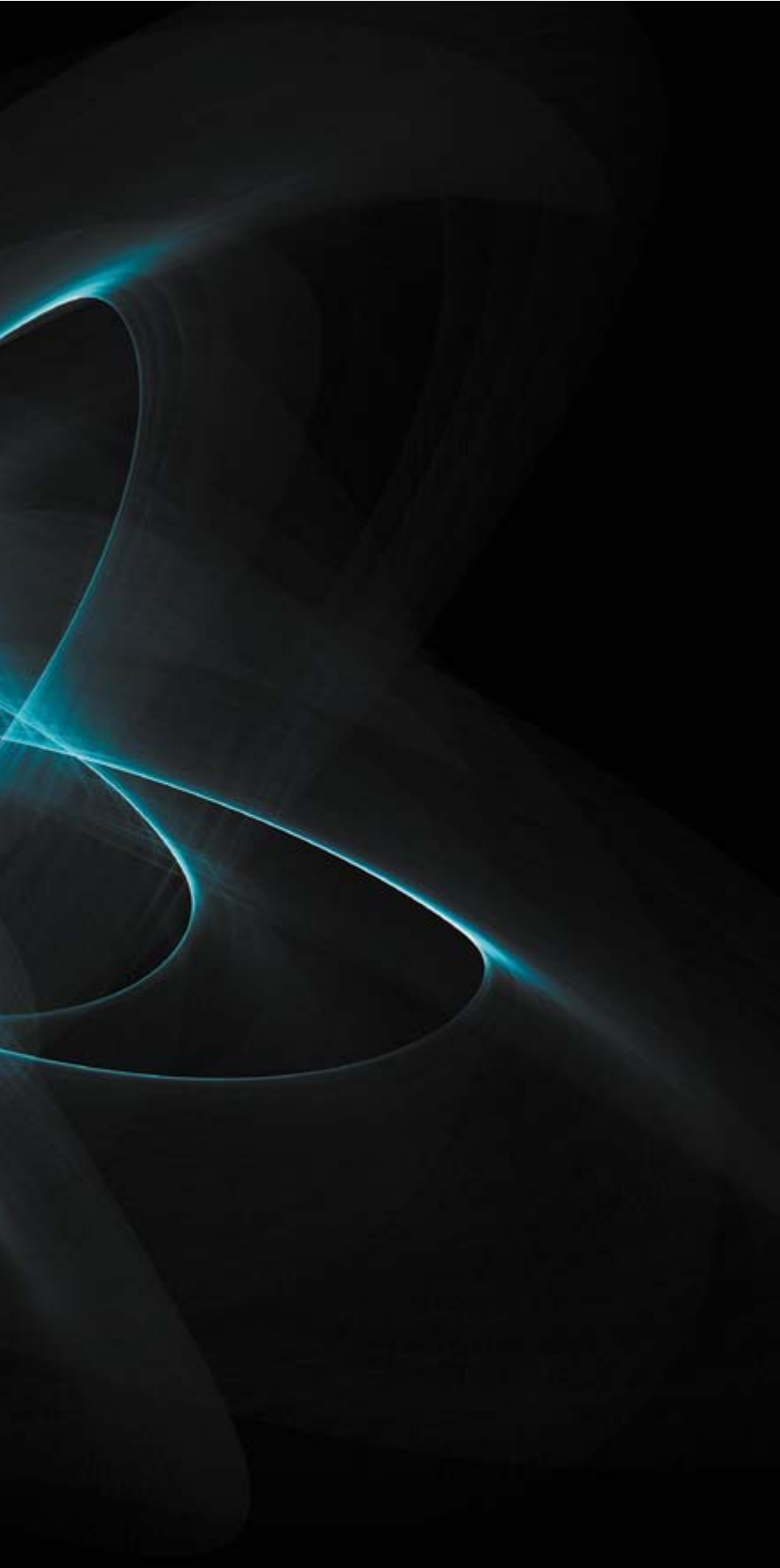


LOS FÍSICOS están cada vez más cerca de determinar el verdadero tamaño del protón (*recreación artística*).



FÍSICA

¿Cuánto mide el protón?

Un nuevo trabajo apunta al final de una larga polémica sobre el tamaño de esta partícula

A los científicos les encanta la precisión. Pueden medir la distancia entre la Tierra y la Luna con una incertidumbre de centímetros o incluso milímetros y el período de púlsares distantes con un error de fracciones de microsegundos. Sin embargo, no parece que los átomos cercanos se dejen estudiar con la misma precisión. Los físicos llevan más de medio siglo intentando determinar el tamaño del protón, la partícula con carga positiva que se encuentra en todos los núcleos atómicos. Sin embargo, ese objetivo se ha demostrado terriblemente difícil, y algunos resultados incompatibles entre sí han dejado perplejos a los investigadores. Ahora, una medición ultra-precisa llevada a cabo en la Universidad de York, en Toronto, tal vez haya resuelto el problema.

Un protón mide menos de dos billonésimas de milímetro de ancho, por lo que determinar su radio requiere usar técnicas muy complejas. Una de ellas consiste en disparar un haz de electrones contra un átomo de hidrógeno, cuyo núcleo está compuesto por un único protón; al hacerlo, los distintos ángulos con los que los electrones salen rebotados permiten inferir el tamaño de la partícula. Otra estrategia se basa en la espectroscopía, es decir, en medir la radiación emitida o absorbida por un átomo en varias frecuencias. Por ejemplo, es posible excitar el electrón de un átomo de hidrógeno para que alcance un estado de mayor energía, y estudiar

**BOLETINES A MEDIDA**

Elige los boletines según tus preferencias temáticas y recibirás toda la información sobre las revistas, las noticias y los contenidos web que más te interesan.

www.investigacionyciencia.es/boletines

con detalle la frecuencia de la radiación necesaria para que se produzca esa transición. Y, al igual que antes, la magnitud de ese «salto» entre los niveles energéticos puede depender del tamaño del protón.

Distintas mediciones basadas en ambas técnicas y que se remontan a los años cincuenta del siglo pasado fijaron el radio del protón en 0,88 femtómetros (10^{-15} metros). En 2010, sin embargo, un grupo de investigadores dirigido por Randolph Pohl, por entonces en el Instituto Max Planck de Óptica Cuántica de Garching, intentó algo nuevo. Emplearon el método espectroscópico pero no con hidrógeno normal, sino con «hidrógeno muónico»: un tipo especial de hidrógeno en el que el electrón ha sido sustituido por un muon, una partícula de carga negativa y unas 200 veces más masiva que el electrón.

Dado que el muon atrae al protón con más fuerza que el electrón, los niveles de energía del hidrógeno muónico son más sensibles al tamaño del protón y ofrecen

resultados más precisos. Además, la transición concreta que estudiaron reveló el radio del protón de manera más directa que otras. Pero, para su sorpresa, Pohl y su equipo hallaron un radio de 0,84 femtómetros: un valor menor de lo esperado y bastante alejado del intervalo de posibles tamaños establecido en experimentos previos.

El resultado de Pohl causó perplejidad. ¿Existía algún error en las mediciones anteriores? ¿O tal vez había algo peculiar en la manera en que los protones interaccionan con los muones? Esta última posibilidad era la más fascinante, ya que implicaría física desconocida y podría exigir una modificación del modelo estándar [véase «El problema del radio del protón», por Jan C. Bernauer y Randolph Pohl; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, abril de 2014]. «Todo el mundo se entusiasma cuando los datos muestran una discrepancia», comenta David Newell, físico del Instituto Nacional de Estánda-

res y Tecnología de EE.UU. cuyo trabajo se ha centrado en determinar el valor de la constante de Planck, otro parámetro fundamental de la física atómica.

Ese desacuerdo llamó la atención de Eric Hessels, el líder del equipo de la Universidad de York, que hace una década se encontraba en la conferencia donde Pohl anunció sus resultados. Hessels se lo tomó como una especie de reto personal y trabajó para reproducir el experimento con hidrógeno normal en vez de muónico, pero usando la misma transición entre niveles de energía: un salto conocido como «desplazamiento de Lamb», en honor del físico Willis Lamb, quien lo midió por primera vez en los años cuarenta. Parecía claro que una medición precisa del desplazamiento de Lamb en el hidrógeno normal revelaría algo interesante. Si el radio del protón coincidía con el valor obtenido en los primeros experimentos, el resultado podría apuntar a la existencia de nueva física. Si concordaba con el valor

ÓPTICA

Mejores fotos submarinas

Un nuevo algoritmo dota de colores reales a las fotografías subacuáticas

Los arrecifes de coral están entre las formaciones vivas más complejas y coloridas de la naturaleza. Pero, como sabe cualquier fotógrafo subacuático, las imágenes que los captan sin usar luz artificial a menudo resultan azules y anodinas. El agua, incluso a poca profundidad, absorbe y dispersa de manera selectiva las distintas longitudes de onda, y eso hace que ciertos rasgos resulten difíciles de apreciar y que desaparezcan algunos colores, en especial los rojos y los amarillos. Como consecuencia, quienes estudian los corales no pueden emplear los algoritmos de aprendizaje automático que permiten identificar, contar y clasificar especies en las imágenes, lo que les obliga a recurrir a un análisis humano extremadamente laborioso.

Ahora, la ingeniera y oceanógrafa Derya Akkaynak ha desarrollado Sea-thru, un algoritmo que elimina la distorsión visual que causa el agua en las imágenes y que podría suponer importantes mejoras para los biólogos marinos que necesitan ver los colores. Akkaynak y Tali Treibitz, su directora de tesis en la Univer-

sidad de Haifa, en Israel, detallaron el proceso en un artículo presentado en junio durante una conferencia sobre visión artificial organizada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) en California.

El análisis del algoritmo Sea-thru tiene en cuenta las diferencias entre la física de la absorción y dispersión de la luz en la atmósfera y en el océano, donde las partículas con las que interacciona la luz son mucho mayores. Píxel



GRAN CABEZA DE CORAL en el estrecho de Lembeh, en Indonesia, antes (izquierda) y después (derecha) de procesar la imagen con el algoritmo Sea-thru.

que arrojaba el hidrógeno muónico, algo menor, ayudaría a determinar el tamaño del protón y resolvería un rompecabezas que se había prolongado durante casi una década.

Hessels tardó ocho años en dar con la respuesta. «Fue la medición más difícil que jamás hayamos realizado en nuestro laboratorio», explica el investigador. Hessels usó ondas de radio para conseguir la transición asociada al desplazamiento de Lamb y midió la frecuencia precisa para la que se producía dicho salto. Al final, su equipo halló un radio de $0,833 \pm 0,010$ femtómetros, acorde con la medición de Pohl. Los resultados se publicaron el pasado mes de septiembre en la revista *Science*.

En esta era de la «gran ciencia» —piense en el Gran Colisionador de Hadrones del CERN y su túnel de 27 kilómetros—, consuela saber que aún es posible obtener resultados importantes con experimentos de sobremesa. De hecho, el mon-

taje de Hessels cabe en una única sala del campus.

No está claro por qué los primeros experimentos habían arrojado un valor mayor para el radio del protón. Una posibilidad es que adolecieran de errores de diseño. Otra, menos probable tras la medición de Hessels, es que la desviación se deba a fenómenos físicos desconocidos. La precisión del resultado del grupo de York y su proximidad al valor de 2010 indican que se está alcanzando un consenso para el radio del protón en torno a los valores más bajos. «Ahora disponemos de varias mediciones y comienzan a apoyar el resultado obtenido con hidrógeno muónico», afirma Hessels. «Así que la controversia está empezando a disminuir.»

Sin embargo, el debate aún no se ha extinguido del todo. Aunque el resultado de Hessels es excepcional —una de las mejores mediciones espectroscópicas realizadas con hidrógeno normal—, el de Pohl es más preciso gracias a la mayor sensibili-

dad que permite el hidrógeno muónico. Según los investigadores, eso significa que hay margen para experimentos todavía más precisos.

Mientras tanto, el protón aún esconde otros secretos. Por ejemplo, aunque los físicos saben que los protones y los neutrones constan de quarks que se mantienen unidos gracias a la interacción nuclear fuerte, aún ignoran numerosos aspectos de esa unión, recuerda Nilanga Liyanage, físico de la Universidad de Virginia. «Los protones son el material del que estamos hechos», prosigue Liyanage, que ha abordado el rompecabezas del radio del protón por medio de experimentos de dispersión de electrones. «El 99,9 por ciento de nuestra masa, de nosotros mismos y de todo lo que vemos en el universo, proviene de los protones y los neutrones.» Y el radio del protón es un parámetro clave, añade. «Es una partícula de enorme importancia y necesitamos entenderla bien.»

—Dan Falk

a píxel, el programa invierte la distorsión causada por el agua, gracias a lo cual consigue recuperar los colores perdidos.

Una limitación del nuevo método es que, para funcionar, la máquina debe tener infor-

mación sobre las distancias que aparecen en la imagen. Para obtenerlas, Akkaynak toma numerosas fotografías de la misma escena desde varios ángulos, gracias a lo cual el algoritmo puede calcular la distancia entre la

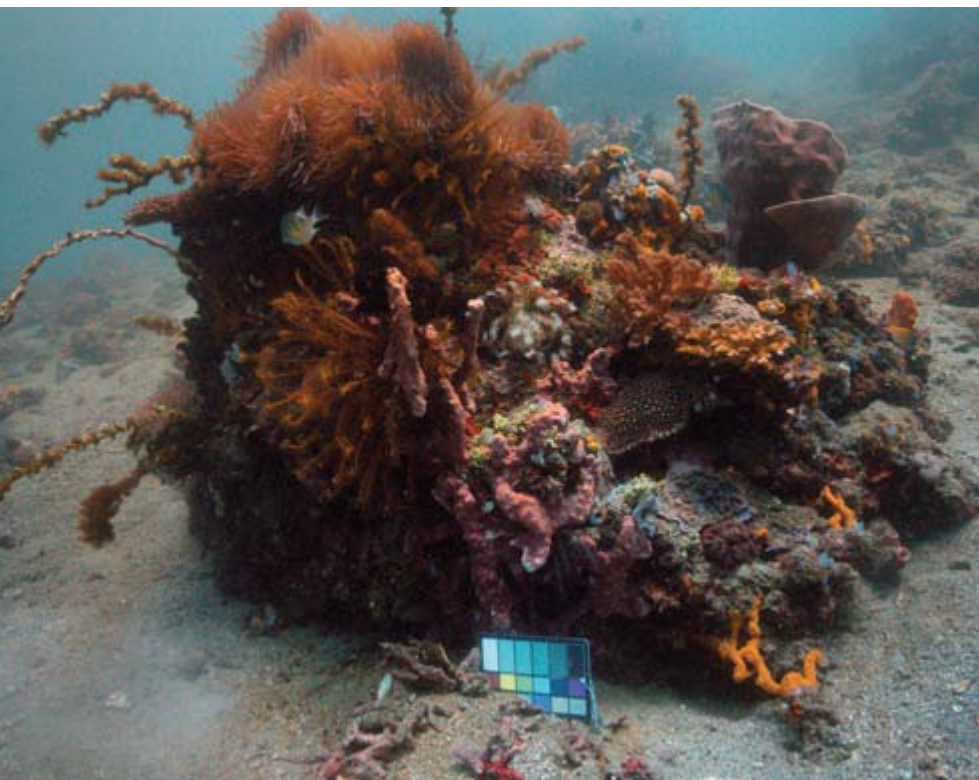
cámara y los objetos, así como la atenuación de la luz causada por el agua. Por fortuna, muchos científicos ya recogen información sobre las distancias en sus conjuntos de datos fotográficos mediante un proceso llamado fotogrametría, y Akkaynak asegura que el programa podrá usarse directamente con esas imágenes.

«Trabajar bajo el agua presenta numerosos retos que nos sitúan en clara desventaja con respecto a quienes investigan en tierra», asegura Nicole Pederson, investigadora del 100 Island Challenge, un proyecto de la Universidad de California en San Diego en el que los científicos toman hasta 7000 imágenes de cada cien metros cuadrados para crear modelos tridimensionales de los arrecifes. Pederson lamenta que su trabajo se haya visto obstaculizado por la falta de herramientas informáticas para procesar estas imágenes, y añade que Sea-thru representa un paso en la dirección correcta.

El algoritmo difiere de aplicaciones como Photoshop, que permite a los usuarios mejorar artificialmente las imágenes subacuáticas añadiendo rojos o amarillos de manera uniforme. «Lo que me gusta de este método es que se basa en obtener los colores reales», valora Pim Bongaerts, biólogo experto en corales de la Academia de Ciencias de California. «Eso podría ayudarnos a sacarle mucho más partido a los conjuntos actuales de datos.»

—Erik Olsen

DERYA AKKAYNAK



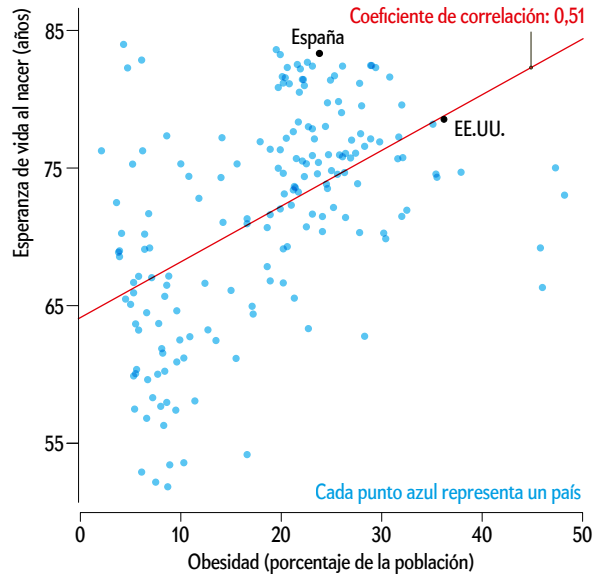
¿La obesidad acorta la vida?

Una mala interpretación de las gráficas puede reforzar la percepción sesgada de la realidad

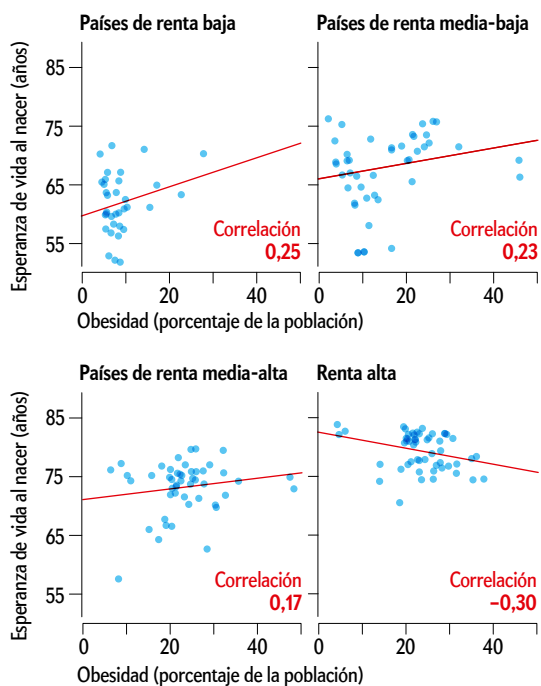
El dicho «Una imagen vale más que mil palabras» nos impulsa a creer que podemos interpretar con acierto todos los gráficos. Pero estos se prestan a una explicación errónea si no ponemos gran atención. Alberto Cairo, periodista gráfico de la Universidad de Miami, revela las trampas en las que podemos caer en el ejemplo ilustrado aquí.

Imaginemos que es usted obeso, harto de que la familia, los amigos y el médico le digan que la obesidad agrava el riesgo de padecer diabetes, cardiopatías y hasta cáncer, enfermedades que acortan la vida. Un buen día ve la gráfica de la derecha y, de repente, se siente aliviado porque le muestra que, en términos generales, cuanto más obesa es la población de un país mayor es la esperanza de vida. Pensará que las personas obesas son más longevas. Al fin y al cabo, la

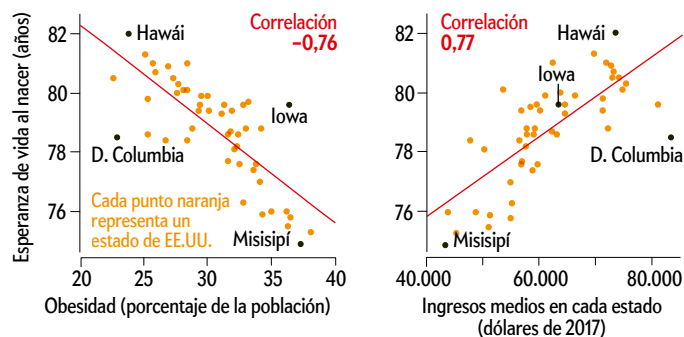
correlación (recta roja) es bastante patente. El gráfico en sí no es incorrecto, pero no refleja realmente que cuanto más obesa es una población, más tiempo se vive. Una descripción más acertada sería: «A escala nacional, país por país, existe una relación directa entre la obesidad y la esperanza de vida al nacer, y viceversa». Aun así, eso no significa que tal relación se sostenga a escala local o individual, pues entran en juego dos falacias.



La primera es que una tendencia en los datos globales puede desaparecer o incluso invertirse si estos se examinan con detalle. Si los países se separan según el nivel de ingresos, la estrecha correlación directa se torna mucho más laxa conforme aumenta la riqueza. En los países más prósperos (abajo a la derecha), la relación se invierte: cuanto mayor es la incidencia de la obesidad, menor es la esperanza de vida.



Esa relación negativa se mantiene si uno observa cada uno de los estados de EE.UU.: la esperanza de vida al nacer disminuye conforme la obesidad aumenta (izquierda). Pero esto oculta la segunda falacia: en esa relación inversa influyen muchos otros factores. El acceso a la atención sanitaria, así como el ejercicio físico, aparecen vinculados con la esperanza de vida, igual que los ingresos económicos (derecha). La idea falsa radica en intentar determinar el riesgo individual analizando datos generales que no reflejan las circunstancias de cada cual. Si, en lugar de eso, usted viera datos referentes a individuos dentro de una amplia muestra de personas seleccionadas al azar, podría descubrir que la obesidad guarda relación, o no, con la esperanza de vida en alguien de su condición.



Qué hacer

- 1 Intente ver no solo lo que la gráfica le muestra, sino también lo que no le está mostrando.
- 2 No tenga prisa en llegar a conclusiones, sobre todo si la gráfica parece confirmar sus ideas preconcebidas.
- 3 Pregúntese si está verbalizando correctamente el contenido de la gráfica.
- 4 Piense si los datos representan el nivel necesario para extraer las

deducciones que busca. Si desea saber algo sobre un país, consulte datos a escala nacional, pero si quiere averiguar algo acerca de su propio riesgo en cuanto a un tema de salud, busque datos referentes a personas. Y, sea como fuere, recuerde siempre que, ya sea ante una gráfica o ante cualquier tipo de datos, la correlación no implica causalidad.

Texto y gráficos de Alberto Cairo

MEDICINA

Plasma contra el cáncer

Un bisturí de alta energía permite destruir las células tumorales resistentes

Cuando el cirujano extirpa un tumor pueden quedar células malignas que actúen como el germen de otro nuevo. Acaba de comenzar el primer estudio clínico con un nuevo instrumento con el que se espera acabar con esas células recalcitrantes: el bisturí de plasma.

Del tamaño de un bolígrafo, el ingenio emite un fino chorro de helio cuyas partículas cargadas brillan con un vivo tono violeta. El electrodo situado en la punta divide los átomos de ese elemento convirtiéndolos en un haz de plasma de iones positivos y electrones.

A diferencia del plasma solar, los iones del bisturí se mueven con relativa lentitud, por lo que el chorro se percibe al tacto como una brisa fresca. Pero, en realidad, los electrones rebosan de energía y transforman el oxígeno y el nitrógeno del aire en especies reactivas, como el superóxido, el óxido nítrico o el oxígeno monoatómico. Estas interrumpen reacciones esenciales del metabolismo y entorpecen la división celular, y se ha visto que tales efectos perjudican mucho más a las células cancerosas que a las sanas. Durante la operación, el bisturí solo puede aplicarse breves minutos en el lecho tumoral, explica Jerome Canady, cirujano de Washington D.C. y miembro del equipo de inventores. «Pulverizamos la zona con el plasma para matar todos los tumores microscópicos.»

El plasma frío ya se emplea para combatir infecciones y esterilizar heridas, y el más energético corta limpiamente los tejidos y los cauteriza. Hace tiempo que se andaba detrás de su aplicación contra el cáncer, por lo que el nuevo estudio supone un hito importante, según Mounir Laroussi, que investiga los efectos biológicos del plasma frío en la Universidad Old Dominion: «Es un gran paso adelante».



EL BISTURÍ de plasma destruye las células cancerosas.

En los últimos años, los facultativos habían usado estos bisturíes de plasma en tres pacientes oncológicos con fines compasivos, tras el fracaso de los demás tratamientos. Canady explica que el plasma mató las células malignas residuales de esas personas. Pero todavía falta que un estudio clínico en regla aporte datos vitales sobre la seguridad y los efectos a largo plazo, como él y sus colaboradores han empezado a hacer. En el ensayo, pretenden operar con el bisturí a 20 pacientes con tumores sólidos avanzados, de páncreas, ovario o mama.

Laroussi aclara que se tardó más de una década de trabajos de laboratorio con cultivos celulares y animales para preparar el uso clínico del bisturí de plasma. Ha sido preciso identificar las sustancias que genera, medir su penetración en los tejidos y saber de qué modo altera las células tumorales. «Hay que aplicarlo con mesura, pues de lo contrario acabaría destruyendo tanto células cancerosas como sanas.» Espera que el estudio demuestre que es posible ajustar finamente el instrumento para que no cause daños.

—Mark Peplow

JEROME CANADY. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS Y BIOLÓGICAS AVANZADAS

LOS EJEMPLARES DE

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

FORMAN VOLÚMENES DE INTERÉS PERMANENTE



Disponibles las tapas del año 2019

Para efectuar tu pedido:

☎ 935 952 368

✉ contacto@investigacionyciencia.es

🌐 investigacionyciencia.es/catalogo

Para que puedas conservar y consultar mejor la revista, ponemos a tu disposición tapas para encuadernar los ejemplares.



La herencia de Alexander von Humboldt

Este año hemos celebrado 250 años del nacimiento de uno de los mayores eruditos de todos los tiempos. La ubicuidad de su legado ha hecho que a menudo este pase inadvertido

Alexander von Humboldt nació el 14 de septiembre de 1769, hace ahora 250 años. Y no deja de resultar incomprensible que, hoy, este gran naturalista no disfrute de la fama de la que gozó en vida. Aún en 1869, con motivo de su centenario, cientos de miles de personas de todo el mundo participaron en las celebraciones. En el Central Park de Nueva York se congregaron 25.000 almas con motivo de la inauguración de un busto suyo. En Pittsburgh, el presidente de los Estados Unidos, Ulysses Grant, conmemoró al investigador alemán junto a otros 10.000 asistentes a una fiesta en su honor. En Egipto hubo ceremonias con fuegos artificiales. En Australia, Argentina, México y Rusia tuvieron lugar actos y desfiles. Y Berlín albergó un homenaje en el que participaron 80.000 personas.

Hoy resulta difícil imaginar una celebración semejante por un científico. Sin embargo, una posible explicación tal vez sea que hemos interiorizado hasta tal punto sus investigaciones que ya ni siquiera nos percatamos de lo revolucionarias que fueron. Podemos entenderlo con la fórmula

$$T = \text{constante},$$

donde T denota la temperatura. Por supuesto, muy a menudo la temperatura varía: cambia en el transcurso del día o dependiendo de si la medimos en un desierto, un bosque o en lo alto de una montaña. Pero el mérito de Humboldt radicó, entre otras cosas, en proporcionarnos una visión mucho más completa del mundo.

En sus viajes por América del Norte, América del Sur, Europa y Asia lo investigó todo. Midió montañas y ríos, estudió volcanes y terremotos, observó las estrellas del cielo, catalogó plantas y animales, midió la temperatura y la presión atmosférica y creó registros meteorológicos. Se ocupó de las lenguas de los pueblos que conoció y también de su cultura, su agricultura y sus sistemas políticos [véase «Von Humboldt: el científico universal», por J. M. Sánchez Ron, en *este mismo número*]. Su visión del mundo era tanto microscópica como global, y demostró que la una no tenía sentido sin la otra. Todas las cosas están relacionadas entre sí: incluso las criaturas más pequeñas pueden influir en los fenómenos globales, y viceversa. Lo que inició Humboldt fue, en esencia, la ciencia que hoy llamamos ecología.

Si alguien desea descubrir las leyes de la naturaleza, lo primero que debe entender es qué constituye la norma y qué fenómenos se desvían de ella. Por ello, Humboldt intentó clasificar y promediar matemáticamente un amplio abanico de mediciones. Dividió el mundo en zonas climáticas, lo que dio lugar a su célebre mapa de los Andes donde muestra que la vegetación y el clima cambian no solo con la latitud, sino también con la altura. A partir de ahí desarrolló los mapas de isotermas; esto es, líneas de temperatura constante, definidas por la fórmula anterior, que él dibujó por primera vez. Puede que la temperatura fluctúe sin cesar, pero cuando uno registra los valores medios y los conecta geográficamente, obtiene una visión completamente nueva de las propiedades de la atmósfera.

Hoy estamos acostumbrados a ver isotermas en los mapas del pronóstico meteorológico, y lo mismo ocurre con otros muchos hallazgos de Humboldt. Pueden parecer modestos, pero eso solo refleja hasta qué punto se han instalado en nuestra vida y nuestros pensamientos. «Todo es interacción», escribió Humboldt en 1803. En un mundo amenazado por el cambio climático, la extinción de las especies y otros desastres ecológicos, esta conclusión sigue siendo tan vigente hoy como entonces.

—Florian Freistetter

ALEXANDER VON HUMBOLDT (1769-1859) retratado en 1843 por Joseph Karl Stieler.



Ecolocalizar a presas quietas

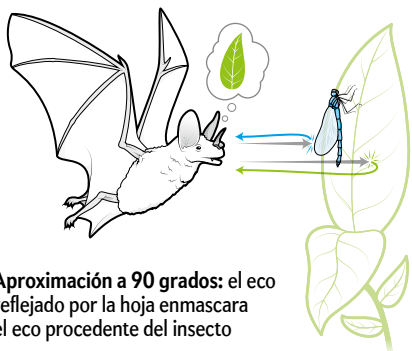
Ciertos ángulos de acercamiento ayudan a los murciélagos a cazar insectos posados en las hojas

Es sabido que los murciélagos atrapan al vuelo insectos en plena noche, entre la espesura del bosque incluso, gracias a las ondas sonoras de alta frecuencia que emiten. Pero más del 40 por ciento de los quirópteros insectívoros también capturan presas que reposan quietas en las hojas y otras superficies. Como las ondas que rebotan en la vegetación se dispersan en todas direcciones, el eco de retorno debería hacer virtualmente imperceptible a cualquier insecto posado en una hoja, por lo que los especialistas sospechaban que el cazador alado debía servirse de pistas visuales u olorosas o de los sonidos producidos por la presa inmóvil para dar con ella.

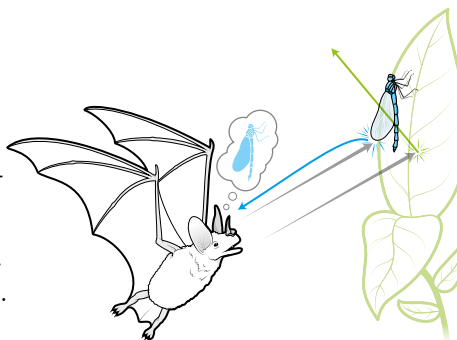
Ahora, los biólogos Inga Geipel, del Instituto Smithsonian de Investigación Tropical, y Ralph Simon, de la Universidad de Ámsterdam, y sus colaboradores han demostrado que algunos murciélagos detectan los insectos posados en una hoja, inmóviles y silenciosos, únicamente con la ecolocalización. Si se acerca a su objetivo siguiendo una trayectoria concreta, el murciélago orejudo *Myotisotis microtis* encuentra en la hoja un espejo acústico que dispersa los ecos indeseados fuera de su ángulo de ataque. Así, el eco del insecto destaca por encima de los demás, según un estudio publicado en agosto en *Current Biology*.

«Los ecos de la presa llegan reforzados a los oídos del cazador, mientras que los procedentes del follaje quedan amortiguados», explica John Ratcliffe, biólogo animal de la Universidad de Toronto, ajeno al nuevo trabajo.

Los autores sembraron una sala de micrófonos y registraron el modo en que las ondas sonoras generadas por un sónar sintético que simulaba a un murciélago eran reflejadas por una hoja. Vieron que las ondas rebotaban en la hoja en una dirección que se alejaba de la fuente. Pero cuando un insecto se posaba en ella, los impulsos emitidos en ángulos cercanos a los 60 grados con respecto a la vertical eran reflejados hacia la fuente emisora del sónar. Como paso siguiente, filmaron a cuatro murciélagos silvestres atrapando libélulas posadas en hojas. «Se aproximaron a sus presas exactamente desde los ángulos previstos», explica Simon. Fuera de esos arcos, el blanco era mucho más difícil de detectar.



Aproximación a 90 grados: el eco reflejado por la hoja enmascara el eco procedente del insecto



Aproximación a 60 grados: el eco de la hoja se aleja del murciélago y no oculta el del insecto, que queda al descubierto

No es la primera vez que se observa ese aprovechamiento de las ondas rebotadas por una superficie; los murciélagos que se alimentan en los lagos y estanques recurren a un proceso parecido para detectar las presas que flotan. Pero la táctica depende de la gran superficie lisa que ofrece el agua. Además, el murciélago no tiene que maniobrar con gran pericia para acercarse en el ángulo correcto. «Resulta interesante saber que ese mismo proceso se ha adoptado en un ambiente muy distinto», afirma la neurocientífica Michaela Warnecke de la Universidad de Wisconsin en Madison, que ha investigado la ecolocalización pero no ha participado en el estudio.

No sabemos si la táctica de *M. microtis* es única entre los quirópteros, afirma Ratcliffe. Pero este trabajo nos ayuda a revelar el mundo acústico de estos mamíferos voladores, lo que puede derivar en aplicaciones nuevas, como sistemas de sónar inspirados en sus habilidades, según los autores del estudio.

—Rachel Berkowitz

CONFERENCIAS

11 de diciembre

Creatividad computacional

Ramon López de Mántaras, CSIC
Museo de la Evolución Humana
Burgos
www.csic.es

12 de diciembre

Los elementos químicos en el cine, en la literatura y en el arte

Bernardo Herradón, CSIC
Museo de las Ciencias
Valencia
www.cac.es

19 de diciembre

Grafeno de ángulo mágico: El twist and shout de los materiales cuánticos

Pablo Jarillo-Herrero, Instituto de Tecnología de Massachusetts
Fundación Ramón Areces
Madrid
www.fundacionareces.es

EXPOSICIONES

Construyendo la tabla periódica

Museo de Ciencias Naturales
Universidad de Zaragoza
Zaragoza
museonat.unizar.es

La ciencia según Forges

Edificio central del CSIC
Madrid
www.csic.es



OTROS

14 de diciembre — Jornada

Homo curiosus

Charlas, documentales y experiencias
Palacio Euskalduna
Bilbao
homocuriosus.es

27 de diciembre — Actividad

Escape room

Para niños de 10 a 14 años
Museo de Ciencias Naturales
Barcelona
museociencias.cat