

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Junio 2022 · nº 549 · 6,50 €

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

NAVEGACIÓN CUÁNTICA



Biofísica de la brújula interna de las aves

EVOLUCIÓN
La inteligencia de los neandertales

CORONAVIRUS
Por qué es tan evasiva la variante ómicron

INFORME ESPECIAL
Restauración ecológica de los ríos



SUMARIO

ARTÍCULOS

17 QUÍMICA BIOFÍSICA
El vals cuántico de las aves migratorias

25 VIROLOGÍA
La naturaleza evasiva de ómicron

31 ARQUEOLOGÍA
La nueva arqueología de Jerusalén

47 INFORME ESPECIAL
La fragmentación de los ríos
La restauración de los arroyos urbanos

68 EVOLUCIÓN
Neandertales como nosotros

SECCIONES

03 APUNTES

Misivas para alienígenas
Batracios voladores

La placenta inspira estrategias contra el cáncer

Microbios marinos que cazan mediante moco

Cartografiar la desnutrición desde el espacio

Hojas ingeniosas

Fármacos en el agua

Supergeles

Un nuevo actor en el origen de las espinillas

Colonialismo en la paleontología

16 LA IMAGEN DEL MES

El piojo de la abeja

40 HISTORIA DE LA CIENCIA

Retratos de la naturaleza peregrina

45 FORO CIENTÍFICO

Los océanos se asfixian

75 CURIOSIDADES DE LA FÍSICA

El efecto fotoacústico, o cómo escuchar la luz

79 JUEGOS MATEMÁTICOS

¿Cómo se distribuye el talento?

84 LIBROS

Diario de un medallista Fields

APUNTES

Los científicos proponen enviar un mensaje al espacio usando la Batería de Telescopios Allen de California (mostrada en la imagen) o el telescopio FAST de China.

MISIVAS PARA ALIENÍGENAS

Presentan una nueva propuesta para enviar mensajes al espacio

Si alguna vez descubrimos vida inteligente fuera de la Tierra, una pregunta clave será: «¿Cómo nos comunicamos?». Un equipo internacional de investigadores liderado por Jonathan H. Jiang, del Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA, ha presentado una nueva misiva destinada a receptores extraterrestres. El «Faro de la Galaxia», que consta de 13 partes, actualiza el mensaje de Arecibo de 1974, el primer intento de la humanidad de enviar una comunicación comprensible para una inteligencia extraterrestre.

Jiang y sus colaboradores proponen dirigir el mensaje a un denso anillo de estrellas cercanas al centro de la Vía Láctea y que podrían albergar planetas prometedores. La transmisión incluye un remite concebido para ayudar a cualquier oyente extraterrestre a determinar nuestra posición, con la esperanza de que eso nos permita entablar una conversación interestelar. «El diseño pretende aportar la máxima cantidad de información sobre nuestra sociedad y la especie humana en un mensaje de extensión mínima», explica Jiang. «Gracias a los avances en tecnología digital, podemos hacerlo mucho mejor que en 1974.»

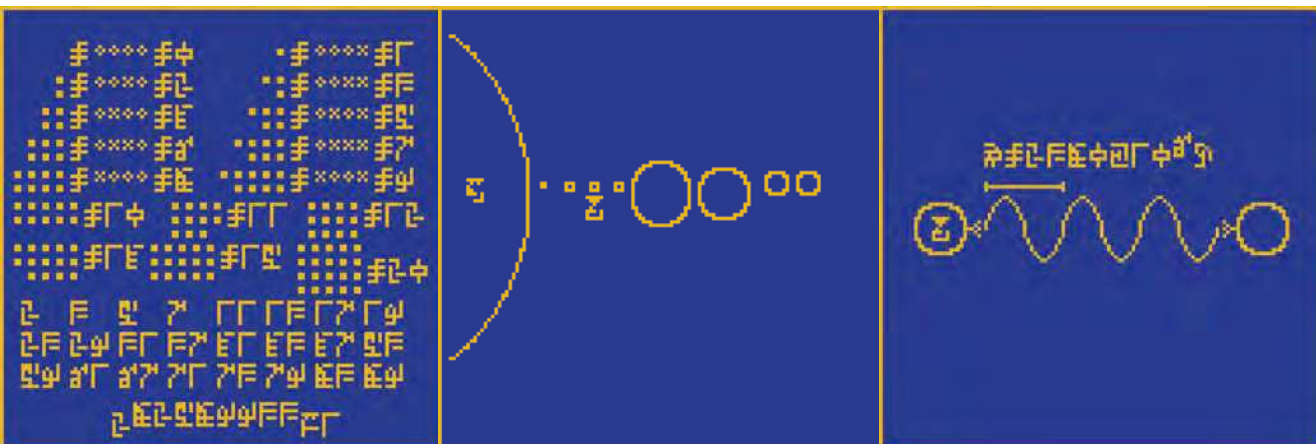
Casi todos los mensajes que hemos enviado al espacio hasta ahora comienzan con un intento de establecer puntos en común por medio de las matemáticas y la ciencia básica, que presumiblemente le resultarán familiares a cualquier especie extraterrestre lo bastante avanzada como para recibir una señal de radio. Pero los científicos deben decidir cómo codificar esos conceptos. En vez de emplear sistemas numéricos o lenguajes humanos arbitrarios, muchos proyectos (incluido el «Faro de la Galaxia») optan por presentar el mensaje como un mapa de bits, una imagen pixelada creada a partir de código binario.

Usar un mapa de bits es un enfoque lógico, ya que parece que cualquier especie inteligente podría reconocer la naturaleza de un sistema

binario, que adopta dos estados: encendido o apagado, presente o ausente. No obstante, la estrategia también presenta inconvenientes. Cuando Frank Drake, pionero en la [búsqueda de inteligencia extraterrestre](#), creó un prototipo de la transmisión de Arecibo, envió el mensaje binario a algunos colegas, entre ellos varios premios Nobel. Ninguno [entendió su contenido](#) y solo uno se percató de que se trataba de un mapa de bits.

E incluso si los alienígenas lograran descifrar el mensaje, quizá no fueran capaces de ver ninguna imagen. «Una de las ideas clave es que los extraterrestres también poseerán sentido de la vista, dado que este ha surgido de manera independiente muchas veces en la Tierra», indica Douglas Vakoch, presidente del proyecto METI (Envío de Mensajes a Inteligencia Extraterrestre), una organización sin ánimo de lucro que estudia cómo comunicarse con otras formas de vida. «Pero ese es un gran condicionante, e incluso si pudieran ver, la cultura es una parte integral de la forma en que representamos los objetos.»

El [enfoque](#) de Jiang y sus colegas, publicado en la revista *Galaxies*, se basa en gran medida en el mensaje «Cosmic Call», enviado en 2003 desde el radiotelescopio Eupatoria RT-70, situado en la región de Crimea. Esa transmisión incluía un «alfabeto» de mapa de bits especialmente diseñado para ser robusto frente a errores de transmisión. El mensaje de Jiang, que comienza enviando un número primo para subrayar el carácter artificial de la emisión, emplea ese alfabeto para presentar nuestro sistema numérico decimal y las matemáticas básicas. A continuación, se vale de un fenómeno universal —la radiación que libera un átomo de hidrógeno al cambiar de estado energético— para explicar la noción de tiempo e indicar el momento en que se envió la comunicación desde la Tierra. La misiva también muestra los elementos más comunes de la tabla periódica y describe la estructura y química del ADN.



Páginas del mensaje «Faro de la Galaxia» donde se codifican los números, se representa el sistema solar y se invita al receptor a responder en una frecuencia específica. Los autores proponen transmitir las 13 partes de la misiva mediante código binario que el receptor transformaría en imágenes.

Las últimas páginas podrían ser las más interesantes para los extraterrestres, pero también las más difíciles de entender. Incluyen un boceto de un hombre y una mujer, un mapa de la superficie terrestre, un diagrama del sistema solar y la frecuencia de radio que los alienígenas deberían usar para responder al mensaje. Además, proporcionan las coordenadas de nuestro sistema solar con respecto a los cúmulos globulares, grupos estables y compactos de miles o millones de estrellas que seguramente conocería cualquier especie que observara el espacio desde algún lugar de la galaxia.

Los investigadores proponen transmitir el mensaje desde la Batería de Telescopios Allen de California o desde el Telescopio Esférico de Quinientos Metros de Apertura (FAST, por sus siglas en inglés) de China. Tras la [reciente destrucción](#) del telescopio de Arecibo, estos son los únicos radiotelescopios del mundo [vinculados](#) de forma activa a la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Por ahora, sin embargo, lo único que pueden hacer ambos instrumentos es escuchar el cosmos, y Jiang admite que dotarlos de equipos de transmisión sería un proyecto complejo. Pero es factible, y el grupo de Jiang ya ha empezado a hablar con los investigadores del telescopio FAST para materializarlo.

Una cuestión más profunda y que ha generado controversia entre muchos científicos de este campo es si deberíamos enviar un mensaje: ¿podría ser una pérdida de tiempo o alentar el ataque de seres malignos? «Yo no vivo con miedo a una horda invasora, pero

otras personas sí. Y que yo no comparta sus temores no significa que sean irrelevantes», afirma [Sheri Wells-Jensen](#), investigadora de la Universidad Estatal de Bowling Green experta en temas lingüísticos y culturales relacionados con el diseño de mensajes interestelares. Pero «el hecho de que sea difícil alcanzar un consenso global sobre qué mensaje enviar, o si conviene enviarlo, no implica que debamos renunciar a ello. Es nuestra responsabilidad intentarlo e informar a tanta gente como sea posible».

Muchos insisten en que los posibles beneficios de la búsqueda activa de inteligencia extraterrestre superan claramente a los riesgos. Argumentan que el primer contacto constituiría uno de los mayores hitos de la historia de nuestra especie, y si nos limitamos a esperar que alguien nos llame, quizá no ocurra nunca. En cuanto al peligro de que nos aniquile una especie alienígena malvada, hace tiempo que hemos delatado nuestra presencia. Lo más probable es que cualquier extraterrestre capaz de viajar hasta la Tierra no tuviese problemas para detectar indicios de vida en las firmas químicas de nuestra atmósfera o en la radiación electromagnética que emiten nuestras radios, televisores y sistemas de radar desde hace un siglo.

«Invitamos a todo el mundo a participar en el debate sobre el envío de este mensaje», concluye Jiang. «Confiamos en que la publicación de nuestro artículo anime a la gente a pensar en ello.»

Daniel Oberhaus

BATRACIOS VOLADORES

Los análisis y las pruebas de vuelo demuestran cómo planean las ranas «paracaidistas»

Algunas ranas de las selvas de Asia oriental llevan el salto hasta el extremo. Apodadas [paracaidistas](#), saltan desde lo alto de los árboles y planean entre las copas para escapar de los enemigos, llegando a recorrer una veintena de metros en un solo salto.

Carentes de alas como las de las aves o los murciélagos, recurren a las membranas interdigitales como superficie de planeo para frenar el descenso. Poseen, además, pies desmesurados para su talla, faldones cutáneos a lo largo de las extremidades y almohadillas en los dedos que amortiguan el aterrizaje.

David Hillis, biólogo evolutivo de la Universidad de Texas, y sus colaboradores del Instituto de Biología de Chengdu, en China, recolectaron varios ejemplares de *Rhacophorus reinwardtii*, una rana paracaidista de color verde lima dotada de membranas negras y amarillas, oriunda de la pluvisilva del sur de China, para desentrañar la base genética de esas adaptaciones tan singulares.

El equipo compiló el genoma de esta rana arborícola y lo comparó con el de otros anuros cercanos incapaces de planear. En un [estudio](#) publicado en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, señaló la localización de 455 genes modificados. «Muchos de los genes que hallamos están vinculados con diversos aspectos del desarrollo de las extremidades, los pies y los dedos palmeados. Todos coinciden con la gran adaptación morfológica de las ranas voladoras al planeo», explica Hillis. Los investigadores comprobaron que algunos alargaban las extremidades y mejoraban la adherencia de las ventosas digitales durante la trepa. Mediante el estudio del desarrollo de las extremidades en los renacuajos de cada especie, también descubrieron la red de genes que probablemente sea la responsable del crecimiento extraordinario.

Con el fin de observar esas diferencias en acción, efectuaron una serie de pruebas de vuelo en condiciones controladas. Situaron a individuos de cada especie en posaderos y registraron los saltos y los planeos. Antes colocaron espon-



Rana paracaidista.

jas blandas por debajo por si algo iba mal en el aire. Esto resultó providencial para las ranas no planeadoras, que cayeron a plomo encima de ellas. Las ranas paracaidistas, en cambio, extendieron los dedos y planearon suavemente hasta tomar tierra.

Según la experta en biomecánica de la Universidad de California en Berkeley Mimi Koehl, que ha estudiado la biodinámica de las ranas planeadoras pero es ajena al trabajo, las amplias membranas interdigitales frenan la caída y al mismo tiempo ayudan a controlar el vuelo a través de las copas de los árboles. Las ranas esquivan los árboles moviendo las patas posteriores como timones mientras descienden hacia las charcas, donde se congregan antes del apa-

reamiento y la puesta. «Si no pudiesen maniobrar a través de la espesura no llegarían puntuales a la cita», explica Koehl.

Los autores afirman que conocer a fondo las adaptaciones de estos anuros tal vez ofrezca pistas sobre el modo en que otros animales, desde las ardillas hasta los lagartos voladores, se lanzaron a la conquista del aire.

Koehl y sus colaboradores han estado empleando las ranas planeadoras como modelos del [vuelo de los dinosaurios](#). Los dinosaurios voladores poseían «colas emplumadas y plumas en las extremidades posteriores. Es decir, el mismo diseño anatómico que las ranas», apunta la experta.

Stephanie Pappas

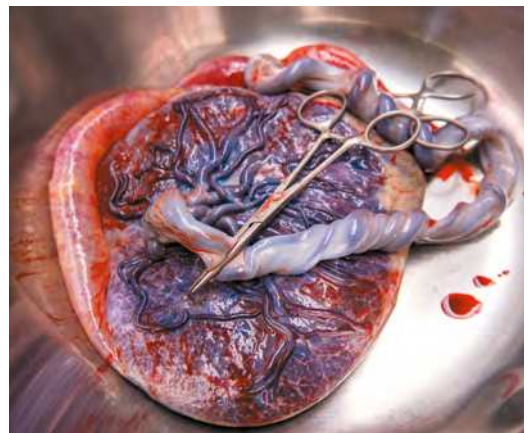
MEDICINA

LA PLACENTA INSPIRA ESTRATEGIAS CONTRA EL CÁNCER

El análisis genético de este órgano ofrece ideas para fármacos antineoplásicos

Con el objetivo de obtener nutrientes para el feto, la [placenta](#) se implanta en el útero, una «invasión» que semeja el modo en que el tumor se infiltra en el tejido sano. Ahora se han descubierto genes que ayudan a regular la implantación placentaria y que podrían ser instructivos de cara al desarrollo de medicamentos contra el cáncer, según un nuevo [estudio](#) publicado en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*.

Se sabía que la profundidad de penetración de la placenta difiere entre las especies. En el ser humano y en los simios superiores, las células placentarias se internan en la pared uterina con relativa facilidad (placenta hemocorial), pero en otros animales, como las vacas y los caballos, el útero ha evolucionado para resistir más tenazmente a esa invasión (placenta epiteliocorial). Esta característica ayudaría a proteger el sistema inmunitario de la madre y reduciría los daños que sufre el útero en el alumbramiento.



Placenta después del parto.

En 2019, los biólogos celulares Günter Wagner, de la Universidad Yale, y Kshitiz, de la Universidad de Connecticut, descubrieron que esa resistencia celular va más allá del útero. Comprobaron que existía una interrelación directa entre la profundidad de la implantación de la

GETTY IMAGES

placenta y la velocidad con que los tumores se extienden más allá del foco inicial en el cuerpo de cada especie. Las especies con placentas más invasivas presentaban mayores tasas de cáncer metastásico; el material celular que conecta los tejidos y los órganos de esas especies es menos resistente a la invasión, tanto de la placenta como de los tumores. La cuestión es por qué.

En el nuevo estudio, Kshitiz, Wagner y sus colaboradores examinaron en nueve especies de mamíferos las diferencias en la producción de proteínas que explicasen por qué los tejidos de algunas resisten mejor la infiltración. El equipo descubrió dos proteínas que, cuando se producen en abundancia, hacen más vulnerable el tejido a las células invasoras, sean placentarias o tumorales. Cuando eliminaron los genes productores de las proteínas, las células bloquearon la invasión con más eficacia.

«Una mutación que ayuda al útero a mantener a raya la placenta también podría influir

en la biología del cáncer, por ejemplo, en la piel», explica Wagner.

A juicio de Sam Behjati, biólogo del cáncer en el Instituto Wellcome Sanger, ajeno al estudio, este descubrimiento apunta a nuevos modos de detener el crecimiento y la diseminación de los tumores. «Se trata de un estudio comparativo esencial», opina. Conocemos a fondo las etapas moleculares que exige la implantación y «sería bueno emplear esa línea de pensamiento farmacológico en las metástasis».

Con todo, Amy Boddy, oncóloga comparativa de la Universidad de California en Santa Barbara, que tampoco ha participado en el estudio, advierte de que ese proceso específico de invasión probablemente no cuente toda la historia. Las causas y los factores precipitantes de los tumores son diversos. «Todo ser vivo pluricelular es susceptible de padecer cáncer. Apenas hemos comenzado a indagar en los mecanismos», lamenta Boddy.

Carrie Arnold

MICROBIOLOGÍA

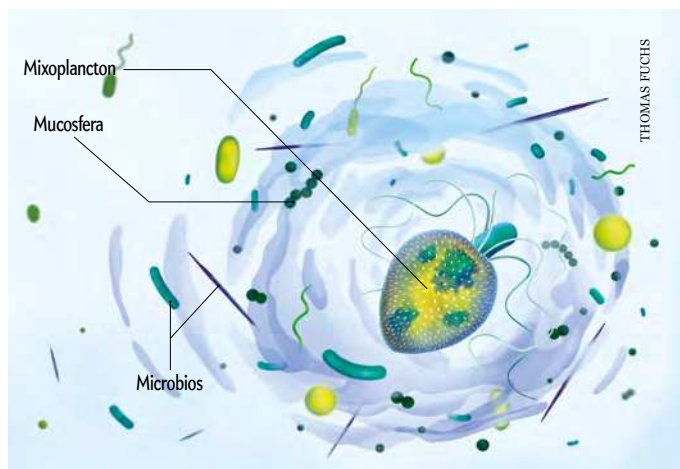
MICROBIOS MARINOS QUE CAZAN MEDIANTE MOCO

Las «mucosferas» de estos organismos desempeñan un papel muy importante en el ciclo del carbono del planeta

U nos peculiares microbios marinos llamados mixoplancton son capaces de obtener energía a través de la fotosíntesis o devorando a otros microbios.

Ahora una nueva [investigación](#) publicada en *Nature Communications* indica que una de esas especies, *Prorocentrum cf. balticum*, hace gala de una táctica de caza tan astuta como extraña que estaría contribuyendo de forma sustancial al ciclo del carbono que vincula la tierra, la atmósfera y los mares.

La autora principal del estudio, Michaela Larsson, bióloga marina en la Universidad Politécnica de Sídney, y sus colaboradores es-



THOMAS FUCHS

taban estudiando el mixoplancton marino en el laboratorio cuando se percataron de que los microorganismos giraban y se retorcían mientras segregaban moco. Aparte de realizar la fotosíntesis durante el día, por la noche también crean una «mucosfera» rica en carbono en torno a sí mismos y, a continuación, emiten señales químicas con las que atraen hacia ella a otros microbios. El mixoplancton devora a los incautos y se deshace del moco, que se hunde hasta el fondo marino, donde forma un depósito rico en carbono.

Según Larsson, el estudio «demuestra que hay que revisar nuestra visión del ciclo de carbono en el océano para incorporar los comportamientos refinados de los microbios». La identificación del ADN de *P. balticum* en un conjunto de datos mundiales de microbios marinos demuestra que está presente en todos los mares, por lo que es probable que su contribución al ciclo planetario del carbono sea notable. Los autores calculan que este tipo de plancton podría estar secuestrando

hasta 0,15 gigatoneladas de carbono cada año, alrededor del 0,5 por ciento de las emisiones anuales de carbono.

Aditee Mitra, modelizador de sistemas marinos en la Universidad de Cardiff, que no ha participado en la investigación, opina que el artículo «es una prueba más de lo poco que sabemos acerca de los organismos marinos que, en conjunto, han generado casi la mitad del oxígeno atmosférico y siguen desempeñando un papel esencial en los ciclos biogeoquímicos terrestres».

Desde que el artículo se publicara se ha comprobado que otras especies de mixoplancton forman y liberan mucosferas. También se investiga cómo podría variar su comportamiento en diferentes condiciones marinas. «El descubrimiento de este comportamiento microbiano y el análisis de la gran repercusión que tiene en los [ciclos biogeoquímicos marinos](#) no ha hecho sino comenzar», asegura Larsson.

Susan Cosier

TECNOLOGÍA

CARTOGRAFIAR LA DESNUTRICIÓN DESDE EL ESPACIO

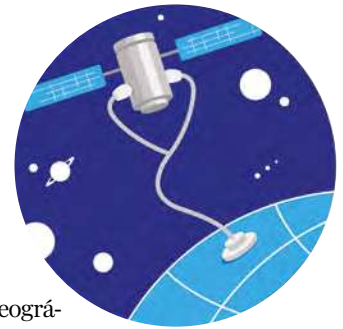
Un algoritmo de inteligencia artificial puede detectar carencias alimenticias a partir de datos satelitales

La falta de micronutrientes afecta a más de 2000 millones de personas en todo el mundo, incluidos 340 millones de niños. Esa carencia de vitaminas y minerales puede acarrear graves consecuencias para la salud, pero diagnosticarla con suficiente antelación para [combatirla](#) de forma eficaz requiere extracciones de sangre y pruebas de laboratorio lentas y costosas.

Un nuevo estudio ofrece una alternativa más eficiente. La científica computacional Elizabeth Bondi y sus colaboradores de la Universidad Harvard emplearon datos satelitales de dominio público y un algoritmo de inteligencia artificial

para localizar áreas geográficas cuya población corre un alto riesgo de sufrir déficit de micronutrientes. Este análisis podría allanar el camino para la aplicación temprana de medidas de salud pública.

Los sistemas de inteligencia artificial actuales pueden emplear datos de satélite para predecir problemas locales de seguridad alimentaria, pero suelen basarse en aspectos directamente observables. Por ejemplo, es posible estimar la productividad agrícola a partir de vistas de la vegetación. Sin embargo, calcular la disponibilidad de micronutrientes resulta más complicado.



THOMAS FUCHS

Inspirándose en un estudio que mostraba que la población de las zonas cercanas a los bosques suele presentar una dieta más diversa, Bondi y sus colaboradores identificaron indicadores poco conocidos de una posible desnutrición. Su trabajo demuestra que combinar datos como la cubierta vegetal, las condiciones meteorológicas y la presencia de agua puede dar pistas sobre los lugares donde la gente padecerá carencias de [hierro](#), vitamina B12 o vitamina A.

El equipo examinó las mediciones en bruto de los satélites y consultó a funcionarios sanitarios locales. Luego usó un programa de inteligencia artificial para escudriñar los datos y determinar las características clave. Por ejemplo, la existencia de un mercado de alimentos, inferida de las carreteras y los edificios visibles, resultaba esencial para prever el riesgo de una comunidad. Por último, los investigadores relacionaron esas características con las carencias de nutrientes concretos en la población de cuatro regiones de Madagascar, empleando datos reales de biomarcadores (muestras de sangre analizadas en laboratorios) para entrenar y probar su algoritmo.

Las predicciones sobre la carencia de micronutrientes a escala regional, para poblaciones que no estaban incluidas en los datos de entre-

namiento, alcanzaron (y a veces superaron) la precisión de los cálculos basados en los sondeos de las autoridades sanitarias locales. «Nuestro trabajo describe un método que permite identificar poblaciones vulnerables, para brindarles un soporte nutricional que complementa [otros] procedimientos costosos e invasivos», subraya Bondi. El [estudio](#) se presentó en el congreso virtual que celebró en febrero la Asociación para el Avance de la Inteligencia Artificial.

«Es una contribución novedosa que resalta el potencial de la inteligencia artificial para promover la sanidad pública», valora Christine Ekenga, epidemióloga de la Universidad Emory ajena al estudio. La obtención de datos sanitarios en áreas de bajos recursos puede verse dificultada por limitaciones económicas y de infraestructuras, añade, pero «los autores han validado un método capaz de vencer estos obstáculos».

Los autores pretenden desarrollar una aplicación informática para extender su análisis a otros países que dispongan de datos satelitales públicos. «Esperamos que esa aplicación permita a las autoridades sanitarias interactuar con la información que proporciona nuestro sistema y les ayude a diseñar intervenciones», concluye Bondi.

Rachel Berkowitz

ECOLOGÍA

HOJAS INGENIOSAS

Las secuoyas sedientas absorben agua del aire

Cuando uno pasea por los bosques de secuoyas rojas (*Sequoia sempervirens*) de la costa de California, entre los helechos frondosos, los árboles colosales y el olor a tierra mojada, puede dar la impresión de que no necesitan más agua, pero lo cierto es que soportan veranos secos y, para sobrevivir, las secuoyas disponen de tallos especializados con hojas que absorben el vapor de agua de la atmósfera.

Es sabido que numerosas plantas, las secuoyas entre ellas, absorben agua por las hojas, pero «nadie había averiguado con certeza de

qué modo», matiza la ecóloga Alana Chin, ahora en la Escuela Politécnica Federal de Zúrich. Y es que exponer las hojas a la humedad ambiental tiene su contrapartida: los estomas (poros de las hojas por donde entra el dióxido de carbono) quedan obstruidos si sobre ellos se deposita una fina capa de agua, lo que impide la fotosíntesis.

Para ver cómo resuelven los árboles ese dilema, Chin y sus colaboradores treparon a secuoyas que crecían en diversos pisos altitudinales y arrancaron algunas ramitas como muestras. De regreso en el laboratorio, crearon niebla con un humidificador y midieron la can-

tidad de agua que absorbían los tallos. También examinaron la superficie foliar y cortes transversales de las hojas, y después modelizaron el movimiento del agua para ver qué rasgos influyen en la absorción.

Publicado en el *American Journal of Botany*, el [análisis](#) reveló que la secuoya roja posee dos tipos de ramillas. Una axial, de hojas escamosas, cuyo aspecto recuerda a un brote de espárrago, constituye solo una pequeña parte de la copa, pero absorbe agua a una velocidad cuatro veces mayor que las ramillas ordinarias, de hojas abiertas en dos hileras (dícticas). El equipo calculó que una secuoya adulta absorbe hasta 50 litros de agua por hora cuando queda empapada. Entretanto, las hojas abiertas se encargan de realizar la fotosíntesis con su gran densidad de estomas y un recubrimiento ceroso que repele el agua.

En el estudio se ha comprobado que las secuoyas que crecen en las zonas más áridas del sur poseen más ramillas escamosas y a alturas mayores que las situadas al norte, lo que las ayuda a captar más agua de la niebla y la lluvia fina que cae en verano. Otras especies arbóreas podrían tener tallos especializados similares; Chin afirma que los pinos, por ejemplo, tienen



La secuoya roja regula la absorción del agua del aire mediante distintas disposiciones de sus hojas.

dos tipos que podrían ser análogos a los de las secuoyas. Esa versatilidad puede resultar importante en el marco del cambio climático, destaca Carter Berry, ecólogo de la Universidad de Wake Forest, ajeno al estudio. «En un planeta más árido, la capacidad de captar el vapor de agua del aire adquiere más importancia.»

Ula Chrobak

CONTAMINACIÓN

FÁRMACOS EN EL AGUA

Muchos ríos del mundo presentan altas concentraciones de medicamentos

Los científicos saben desde hace más de 20 años que los medicamentos con los que tratamos el dolor de cabeza, la diabetes y otras muchas dolencias acaban llegando a los ríos, donde pueden dañar los ecosistemas y favorecer la [resistencia a los antibióticos](#).

Sin embargo, casi todas las investigaciones sobre [contaminantes farmacéuticos](#) se han realizado en Norteamérica, Europa y China, y solo han examinado unos pocos compuestos. Además, esos estudios emplean métodos de muestreo y análisis muy diversos, por lo que es difícil comparar sus resultados. Estas limitaciones apuntan

a que quizá estemos obviando una pieza importante del rompecabezas de la contaminación.

Un [artículo](#) publicado en *Proceedings of the National Academy of Sciences* ofrece una visión más amplia. Una red de 127 científicos tomó muestras de 258 ríos en 104 países para medir la concentración de 61 sustancias distintas. Eso generó «una especie de "huella farmacéutica" de casi 500 millones de personas de todos los continentes», explica John L. Wilkinson, químico ambiental de la Universidad de York y primer autor del estudio.

Muchos de los ríos más contaminados por fármacos están en África y Asia, «en regiones y

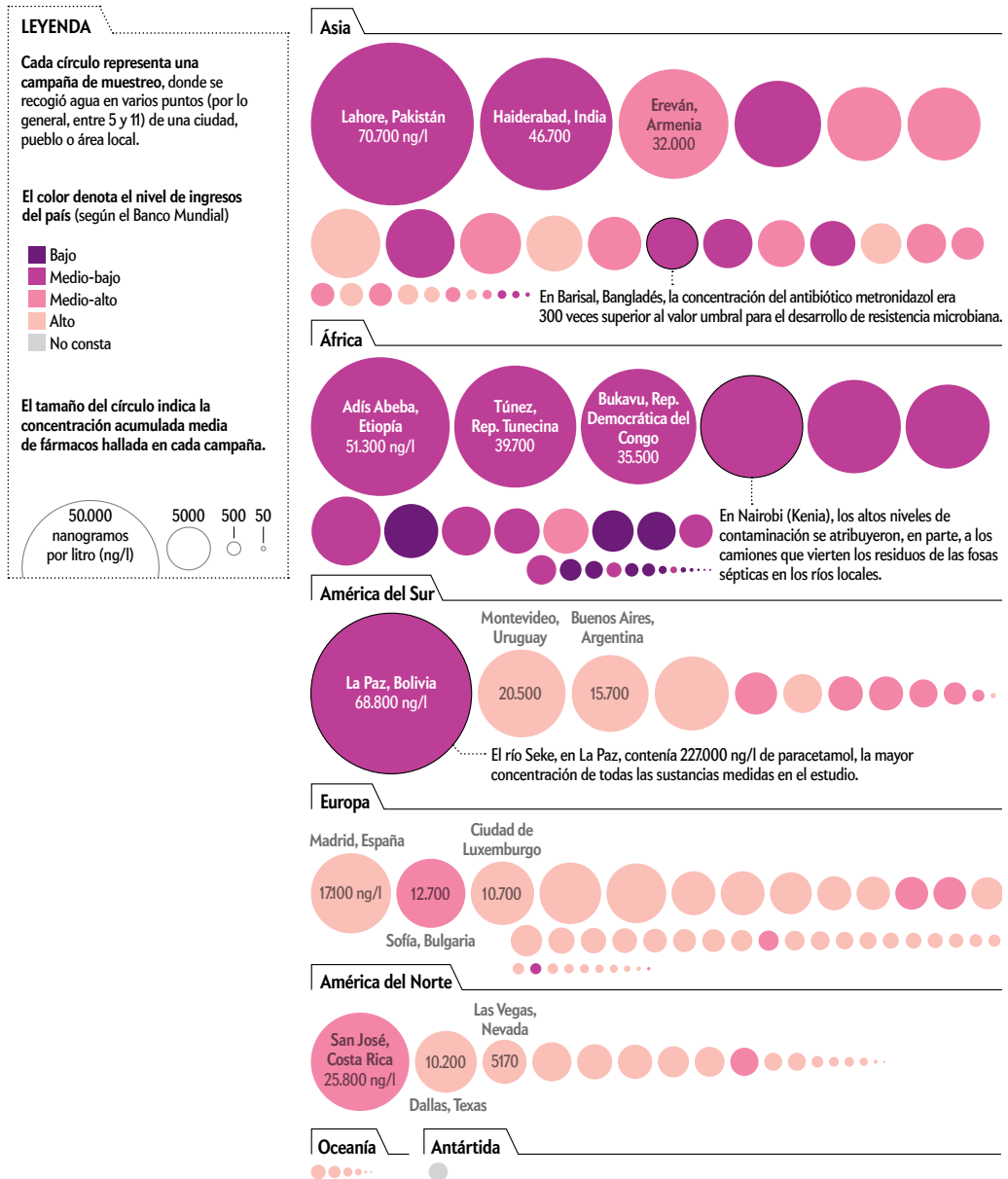
países olvidados por la comunidad científica» en lo referente a este problema, señala Wilkinson. Además, esos cursos fluviales suelen estar en [países de renta media-baja](#); los autores lo achacan a un mejor acceso a los medicamentos en lugares que aún carecen de suficientes infraestructuras para tratar las aguas residuales.

Cuatro compuestos —cafeína, nicotina, paracetamol y cotinina (una sustancia que produce el organismo tras la exposición a la nicotina)— aparecieron en todos los continentes, incluido el antártico. Otros 14, entre ellos antihistamínicos, antidepresivos y un antibiótico, se encon-

traron en todos los continentes excepto en la Antártida. Algunos fármacos solo se detectaron en lugares concretos, como un antipalúdico hallado en las muestras africanas.

El estudio demuestra que se precisan «más evaluaciones mundiales de la contaminación del agua», en particular para buscar sustancias que supongan un mayor riesgo para la salud, opina Elsie Sunderland, científica ambiental de la Universidad Harvard ajena a la investigación. Otra conclusión, añade, es que «tenemos que [tratar las aguas residuales](#)».

Andrea Thompson



FUENTE: «PHARMACEUTICAL POLLUTION OF THE WORLD'S RIVERS», POR JOHN L. WILKINSON ET AL. EN PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, VOL. 119, ART. E2113947119, FEBRERO DE 2022; AMANDA MONTAÑEZ (gráfico)