

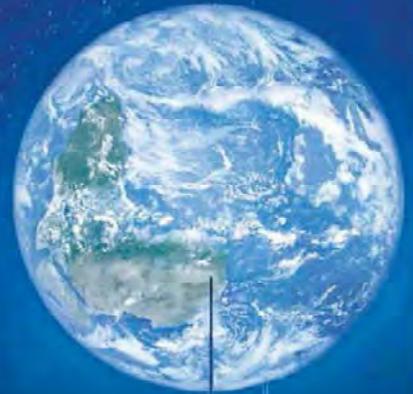
NATIONALGEOGRAPHIC.COM.ES | SEPTIEMBRE 2025

# NATIONAL GEOGRAPHIC

EL TESORO ROMANO  
QUE PODRÍA HABER  
CAMBIADO LA HISTORIA

PROMESAS  
Y PELIGROS DEL  
NUEVO CANNABIS

LA RESURRECCIÓN  
DE LAS TORTUGAS QUE  
INSPIRARON A DARWIN



ENLACE AL CANAL

[x.com/byneontelegram](https://x.com/byneontelegram)

O escanea el código QR:



# VIVIR EN LA LUNA

Empieza la cuenta atrás para construir  
ciudades en los próximos 30 años

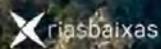
6,00€ PVP CANARIAS 6,15€  
57 003  
9 771138 143006

# Cando volves?

RÍAS BAIXAS



Deputación  
Pontevedra



riasbaixas

[turismoriasbaixas.com](http://turismoriasbaixas.com)

## SUMARIO



## ENLACE AL CANAL

[x.com/byneontelegram](https://x.com/byneontelegram)

O escanea el código QR:



2

## VIVIR EN LA LUNA

Mientras la humanidad se prepara para volver a enviar misiones tripuladas a la Luna, los ambiciosos planes para adaptar la superficie lunar a las necesidades humanas empiezan a cobrar forma. Abordamos en dos reportajes algunas de las iniciativas en marcha para hacer de nuestro satélite un lugar lo más «humanizado» posible.

*Textos de EVA VAN DEN BERG y CHARLES FISHMAN*

## EN PORTADA

Representación de un proyecto de aldea lunar compuesto por módulos hinchables.

*Ilustración: © SOM/  
SLASHCUBE GMBH/ESA*

## REPORTAJES



38

**PROMESAS Y PELIGROS  
DEL NUEVO CANNABIS**

La actual marihuana es más popular, más potente y más accesible que nunca. Médicos y consumidores se enfrentan a sus consecuencias.

*Textos de ROSECRANS BALDWIN,  
DEVIN POWELL, STACEY COLINO  
y BRIAN KEVIN  
Fotografías de SERGYI BARCHUK*



60

**EL TESORO DE PLATA QUE  
PUDO CAMBIAR LA HISTORIA**

En el siglo II, el ejército romano buscó una fortuna en plata. Casi 2.000 años más tarde, un arqueólogo aficionado dio con la clave que podría haber cambiado el destino del Imperio.

*Texto de JULIAN SANCTON  
Ilustraciones de ARIA SAFARZADEGAN*



76

**EL REGRESO DE LA TORTUGA  
GIGANTE DE FLOREANA**

El biodiverso archipiélago de las Galápagos es el escenario de una labor detectivesca de investigación genética en busca de una especie de tortuga dada por extinta.

*Texto de HANNAH NORDHAUS  
Fotografías de LUCAS BUSTAMANTE*

## SECCIONES

TU FOTO

VISIONES

EXPLORA

Las enseñanzas del *Katrina*Microbiota sahariana  
en el cielo europeoLa invisibilidad nocturna  
de la lechuza

EXPERIENCIAS NG

Aventura en los bosques  
navarros

INSTINTO BÁSICO

A los escorpiones les gusta  
bailar pegados

EDITORIAL

EN TELEVISIÓN

PRÓXIMO NÚMERO



Envíanos tus cartas  
o comentarios a  
[forum-ngme@rba.es](mailto:forum-ngme@rba.es)



Síguenos en X en:  
[@NatGeoEsp](https://twitter.com/NatGeoEsp)



Hazte fan de nuestra página  
de Facebook: [facebook.com/  
NationalGeographicEsp](https://facebook.com/NationalGeographicEsp)



Síguenos en Instagram  
en [@NatGeoEsp](https://www.instagram.com/NatGeoEsp)



Síguenos en Threads en  
[@NatGeoEsp](https://www.threads.net/@NatGeoEsp)



Más información  
en nuestra página web:  
[nationalgeographic.com.es](https://nationalgeographic.com.es)

ATENCIÓN AL CLIENTE

Teléfono 910 920 129 (de lunes a  
viernes, de 10 a 15 horas)

Email: [suscripciones@rba.es](mailto:suscripciones@rba.es)

**HISTORIA**  
NATIONAL  
GEOGRAPHIC

# II PREMIOS DE LOS LECTORES **+ HISTORIA**

Te invitamos a participar en la segunda edición de los **Premios +Historia** organizados por la revista **Historia National Geographic** con la colaboración del **Ayuntamiento de Córdoba** para reconocer la labor de las entidades que aman y difunden la Historia.

➔ Accede a toda la información sobre los candidatos y al formulario para votar a través de este QR.

Participarás en el sorteo de **10 cámaras FUJIFILM INSTAX MINI LiPlay.**



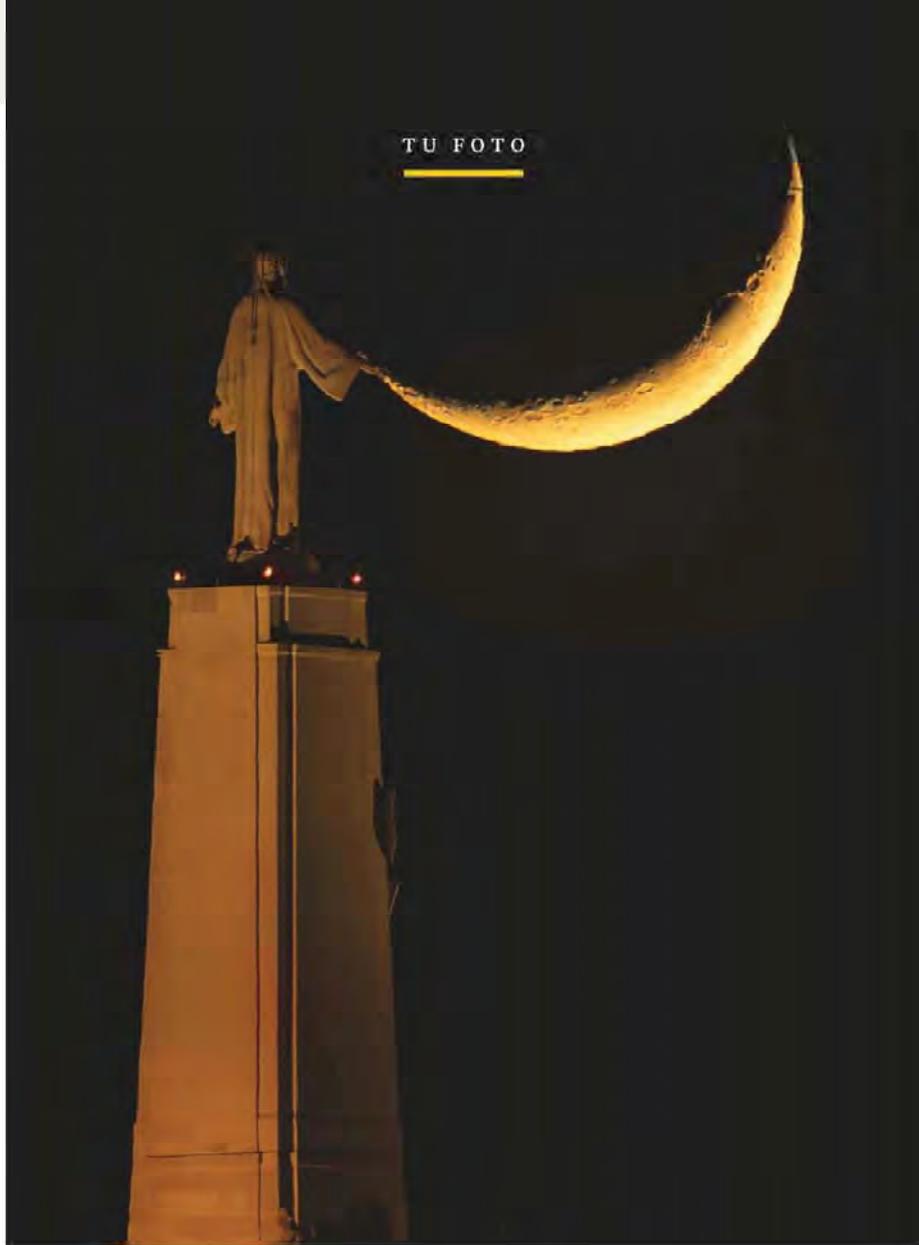
**VOTA**



**6** categorías, **30** candidaturas.  
**¡Gracias por amar la Historia!**

Córdoba es más+

TU FOTO



## JESSICA ROJAS

@byjessicarojas

Para poder conseguirla de un solo disparo, esta fotografía está planificada al milímetro. Con ella, Jessica Rojas plasmó lo que había estado buscando durante meses: representar la figura de Jesucristo del monumento al Sagrado Corazón de Jesús, en el cerro de los Ángeles de Getafe, como si estuviese sujetando con una mano la punta de la luna creciente. Para ella evoca la relación entre lo eterno y lo efímero, «como si esa figura buscara acariciar la luna y cobrar vida».

**DÓNDE** Getafe, Madrid

**CON QUÉ** Nikon Z8; Z 100-400 mm; f/5.6; ISO 2000

**PARTICIPA EN NUESTRA COMUNIDAD #TuFotoNatGeo**

En *National Geographic España* queremos que seáis partícipes del protagonismo que la fotografía tiene en nuestra revista. Para participar en esta iniciativa, simplemente tenéis que incluir la etiqueta **#TuFotoNatGeo** en las fotografías que subáis a Instagram que tengan que ver con los grandes temas



## MARTÍN CÁRDENAS

@Chiloefauna

La huiña (*Leopardus guigna*), el felino más pequeño de América, es una criatura extraordinariamente escurridiza, lo que la convierte en una especie muy difícil de ver –y no digamos de fotografiar– en estado salvaje. Martín Cárdenas consiguió esta instantánea en plena época invernal en la isla Grande de Chiloé, en Chile. «El encuentro con esta bella especie fue sorprendente, por lo que con esta captura aprendí que a menudo los momentos más inolvidables en la naturaleza se dan sin necesidad de ir a buscarlos», dice el fotógrafo.

**DÓNDE** Isla Grande de Chiloé, Chile  
**CON QUÉ** Nikon D7500; 600 mm; f/7.1; ISO 1600

---

que cubrimos habitualmente. No está permitida la manipulación fotográfica, únicamente el ajuste de niveles. Cada semana publicaremos una selección de las mejores imágenes en las *stories* de Instagram y cada mes seleccionaremos una para publicarla en la revista impresa, en la sección «Tu Foto».

 #TuFotoNatGeo

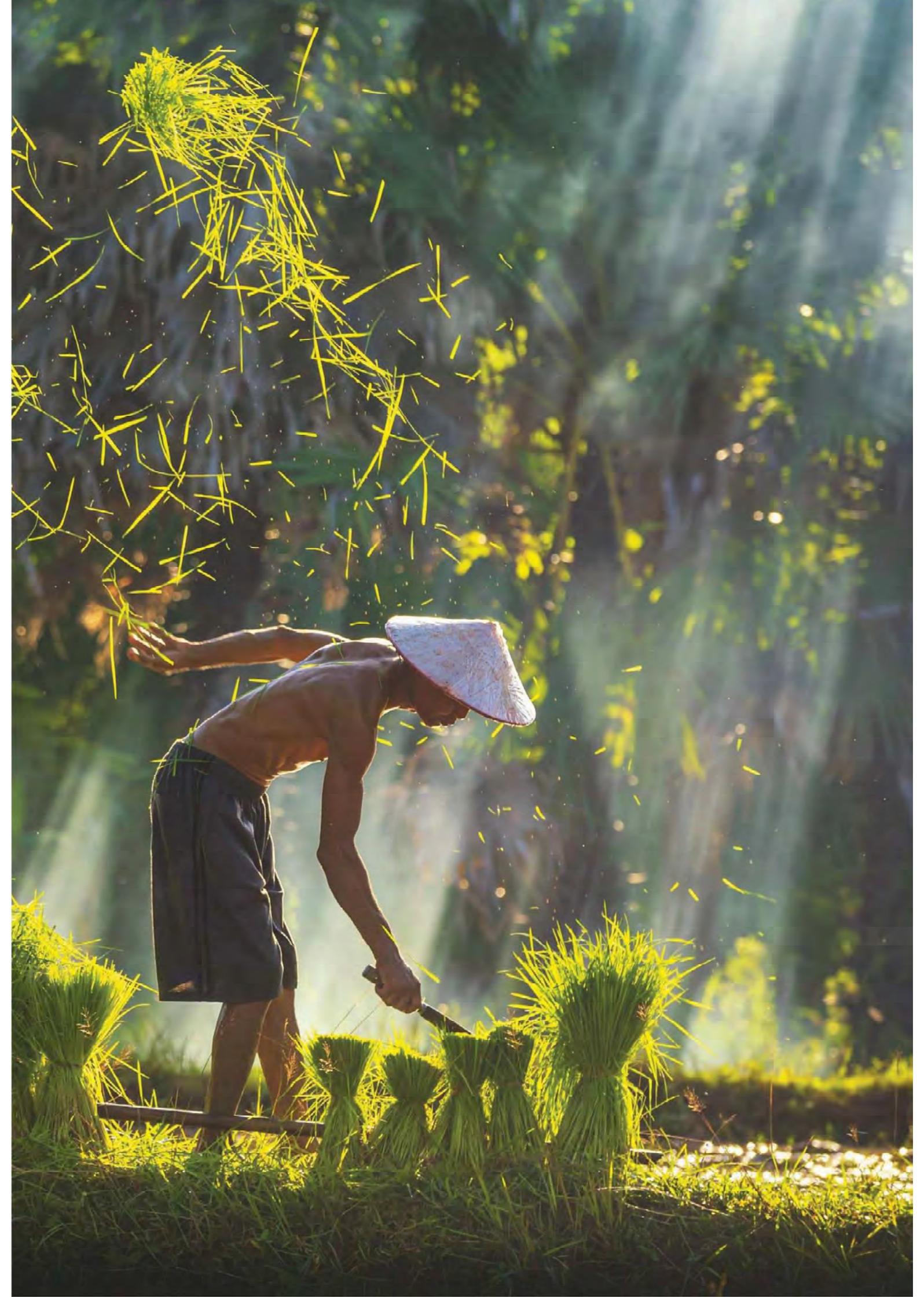
## VISIONES

---

### UN PAISAJE INDISOLUBLE DE THAILANDIA.

Un agricultor cosecha a mano arroz en una plantación de Tailandia. Este cereal representa aproximadamente la mitad de la producción agrícola del país asiático, en cuyo cultivo están involucrados unos 18 millones de campesinos. Sin embargo, en los últimos años la intensificación de los fenómenos meteorológicos extremos derivados del cambio climático están diezmando las cosechas y amenazando los cultivos.

FOTO: THIRAWATANA PHAISALRATANA/ISTOCK





## VISIONES

---

### REVISIÓN MÉDICA COMPLETA

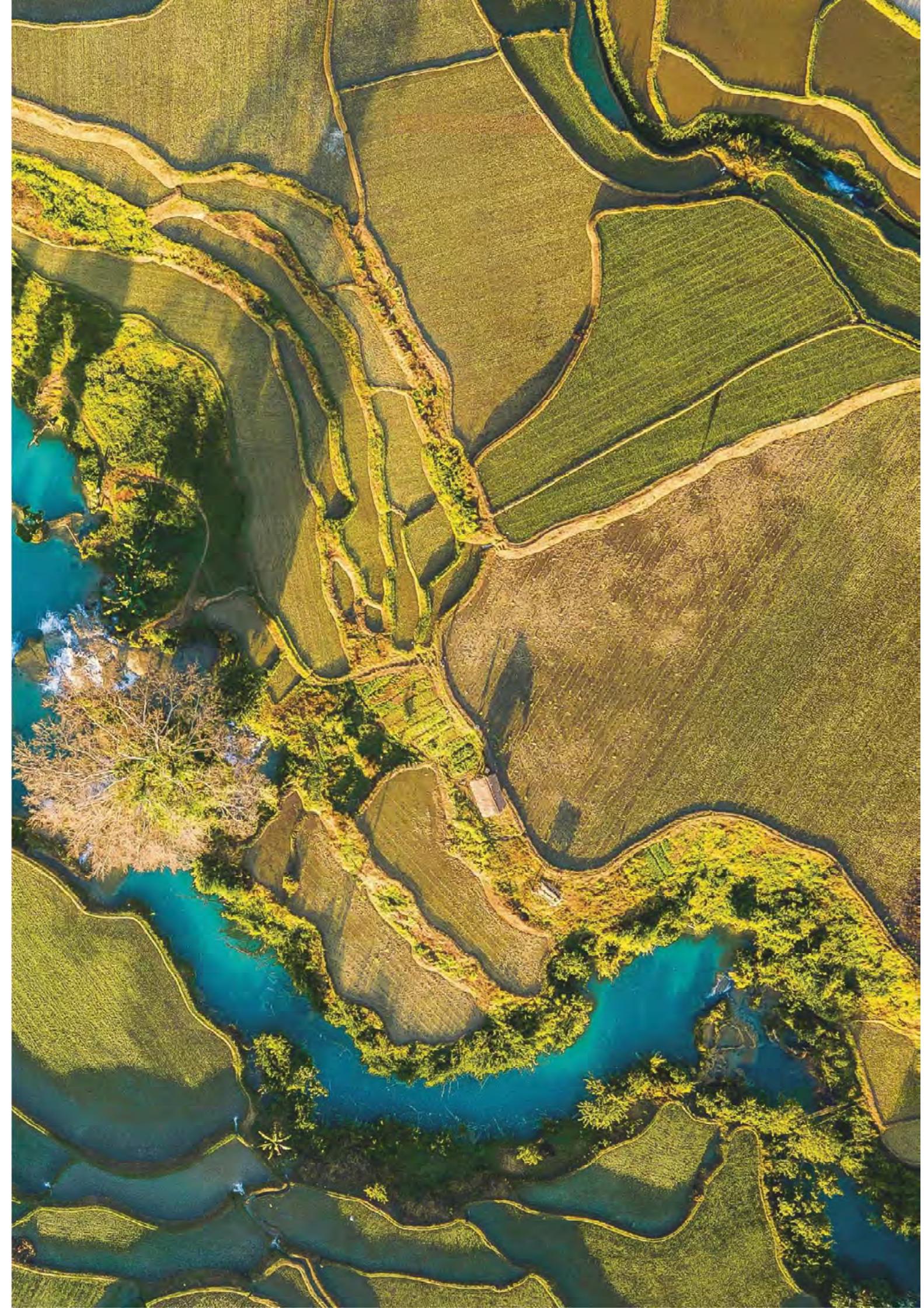
Una iguana común (*Iguana iguana*) se somete a un examen rutinario en una clínica veterinaria de Polonia. La revisión incluye un servicio completo, desde un examen médico hasta el corte de uñas. Estos reptiles son muy demandados como mascotas, pero su mantenimiento es complicado dadas sus características biológicas. Por ejemplo, necesitan terrarios espaciosos y estar a una temperatura de entre 26 y 38°C.

FOTO: JANIECBROS/GETTY IMAGES



#### CASCADAS CON Poca ALTURA

Las hermosas cascadas de Weekacura, situadas en la isla indonesia de Sumba, se caracterizan por sus múltiples saltos de agua con poco desnivel. A diferencia de otras cataratas del país ubicadas en entornos boscosos, estas están rodeadas de arrozales y forman piscinas naturales, lo que las convierte en un destino codiciado tanto por fotógrafos como por turistas en busca de paz.



## LAS ENSEÑANZAS *del* **KATRINA**

Dos décadas después de que el huracán devastase Nueva Orleans, se han invertido 14.000 millones de dólares en un sofisticado sistema de defensa costera. ¿Será suficiente para plantar cara a la próxima megatormenta?

*Texto de* BOYCE UPHOLT  
*Mapa de* MATTHEW W. CHWASTYK

HACE 20 AÑOS que el huracán *Katrina* tocó tierra en la costa de Luisiana, dejando a su paso casi 1.400 muertos y unos 125.000 millones de dólares en daños materiales. Gran parte de la devastación se debió a los formidables volúmenes de agua que se adentraron en el territorio a través de estuarios y canales, inundando Nueva Orleans. Unos humedales costeros sanos habrían absorbido parte de esa marejada ciclónica si décadas de desarrollo urbanístico no hubiesen causado estragos en el delta. Los canales de navegación y las infraestructuras petroleras alteraron su hidrología. Las presas y los diques le robaron el aporte de sedimentos que lo forman.

Meses después de la tormenta, Luisiana creó la Autoridad de Protección y Restauración Costera, una agencia estatal que articuló un plan a 50 años vista para prevenir la pérdida de suelo y construir infraestructuras que aumentasen las defensas naturales de la costa.

Desde entonces, el estado ha invertido casi 14.000 millones de dólares en unos 170 proyectos, aunque no sin contratiempos. A principios de este año, tras criticar los costes y el impacto sobre la actividad pesquera, el gobernador suspendió una pieza fundamental del proyecto que habría desviado agua dulce y sedimentos a una cuenca muy erosionada. Y la financiación de otros proyectos valorados



Cerca del 80% de Nueva Orleans quedó inundada tras el paso del *Katrina*, en agosto de 2005.



en unos 30.000 millones de dólares a lo largo de unos 30 años está en la cuerda floja.

«Es caro, sin duda –afirma Alex Kolker, climatólogo del Consorcio Marino de las Universidades de Luisiana–. Pero otro *Katrina* costaría más de 100.000 millones de dólares».

En estas páginas analizamos lo que ha hecho el estado y lo que todavía podría hacerse para fortalecer un paisaje tan frágil como crítico.



### **EL HURACÁN KATRINA: A CONTRARRELOJ**

El nuevo documental en cinco episodios de National Geographic revela la fuerza y la resistencia de los supervivientes del *Katrina* que se convirtieron en héroes. Disponible en streaming en Disney+.

# PROTEGER UNA COSTA VULNERABLE

A raíz de la catástrofe del *Katrina*, Luisiana se propuso actuar en dos frentes para resistir mejor las tormentas y la subida del nivel del mar: construir defensas artificiales y restaurar las naturales. Los proyectos tienen como objetivo prevenir tanto las inundaciones catastróficas como la pérdida de suelo. En este mapa con imágenes de satélite infrarrojas, el agua aparece en negro.

-  Agricultura
-  Humedales
-  Zona urbanizada
-  Terrenos más vulnerables a la erosión y la inundación

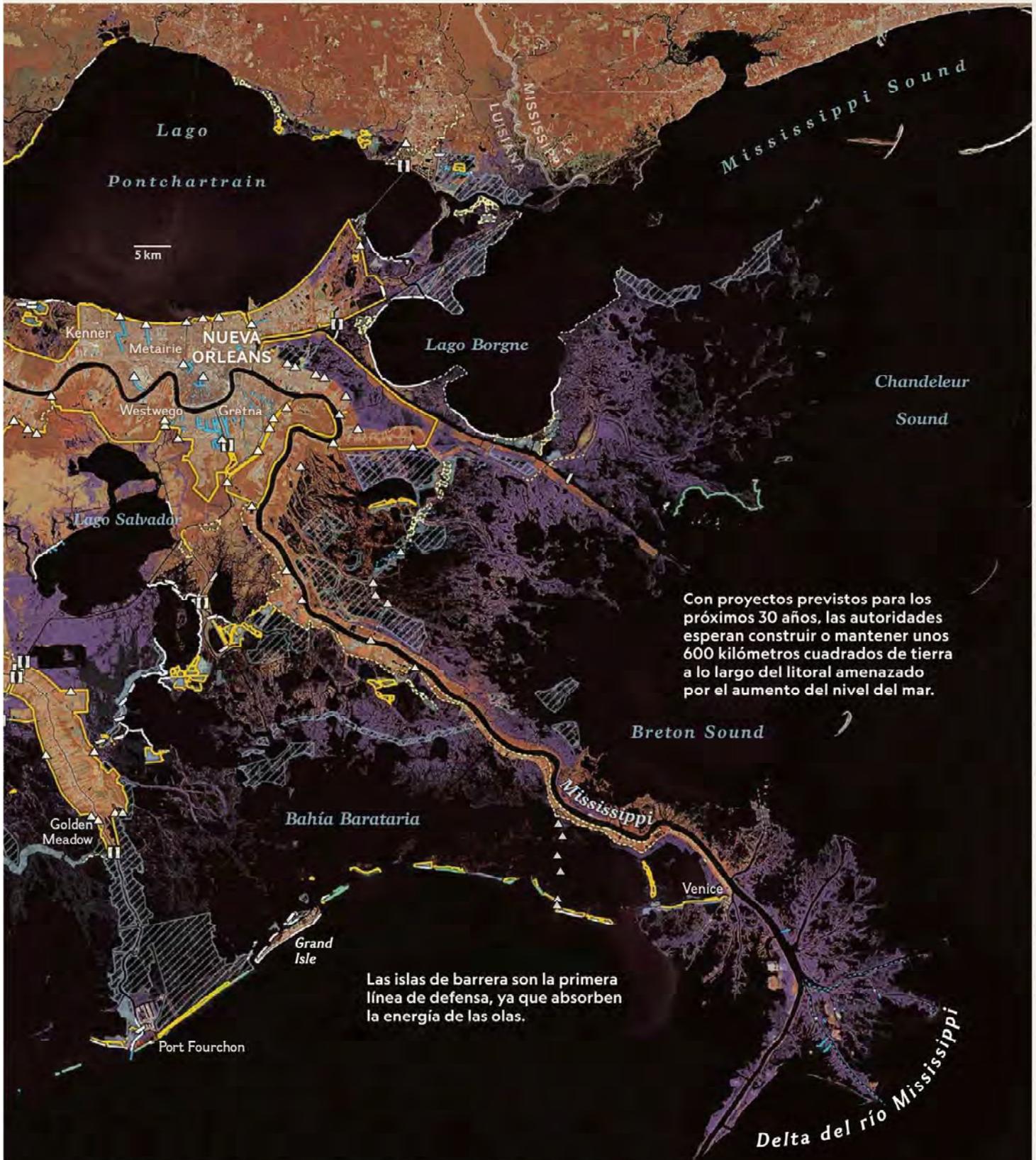


Canales de riego de parcelas agrícolas

## CONSTRUCCIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA INGENIERÍA

- | ACABADO   | PLANIFICADO   |  |
|---|---|--|
|  |  | <b>Dique, zanja, terraplén o muro</b><br>Construidos para bloquear o desviar las aguas de inundación de las zonas cruciales. |
|  |  | <b>Protección de la línea de costa</b><br>Barreras de rocas, estructuras de hormigón y vallas para prevenir la erosión.      |

- Proyectos de gestión del agua**
- **Azud:** barrera baja que ralentiza el flujo de agua; mitigación de la erosión.
  - || **Compuerta o esclusa:** se puede abrir y cerrar para controlar el flujo de agua.
  - ▲ **Bombeo o drenaje:** ayuda a evitar que el agua inunde los terrenos bajos.



Con proyectos previstos para los próximos 30 años, las autoridades esperan construir o mantener unos 600 kilómetros cuadrados de tierra a lo largo del litoral amenazado por el aumento del nivel del mar.

Las islas de barrera son la primera línea de defensa, ya que absorben la energía de las olas.

## RESTAURACIÓN DE PROTECCIONES NATURALES

ACABADO

PLANIFICADO



**Promover el flujo natural del agua**  
El dragado y la limpieza de residuos mantienen el exceso de agua fuera de las zonas pobladas.



**Sembrar arrecifes de ostras y plantar hierba**  
Sistemas naturales que controlan la erosión, los lechos de ostras y la vegetación costera fijan las vulnerables costas arenosas.

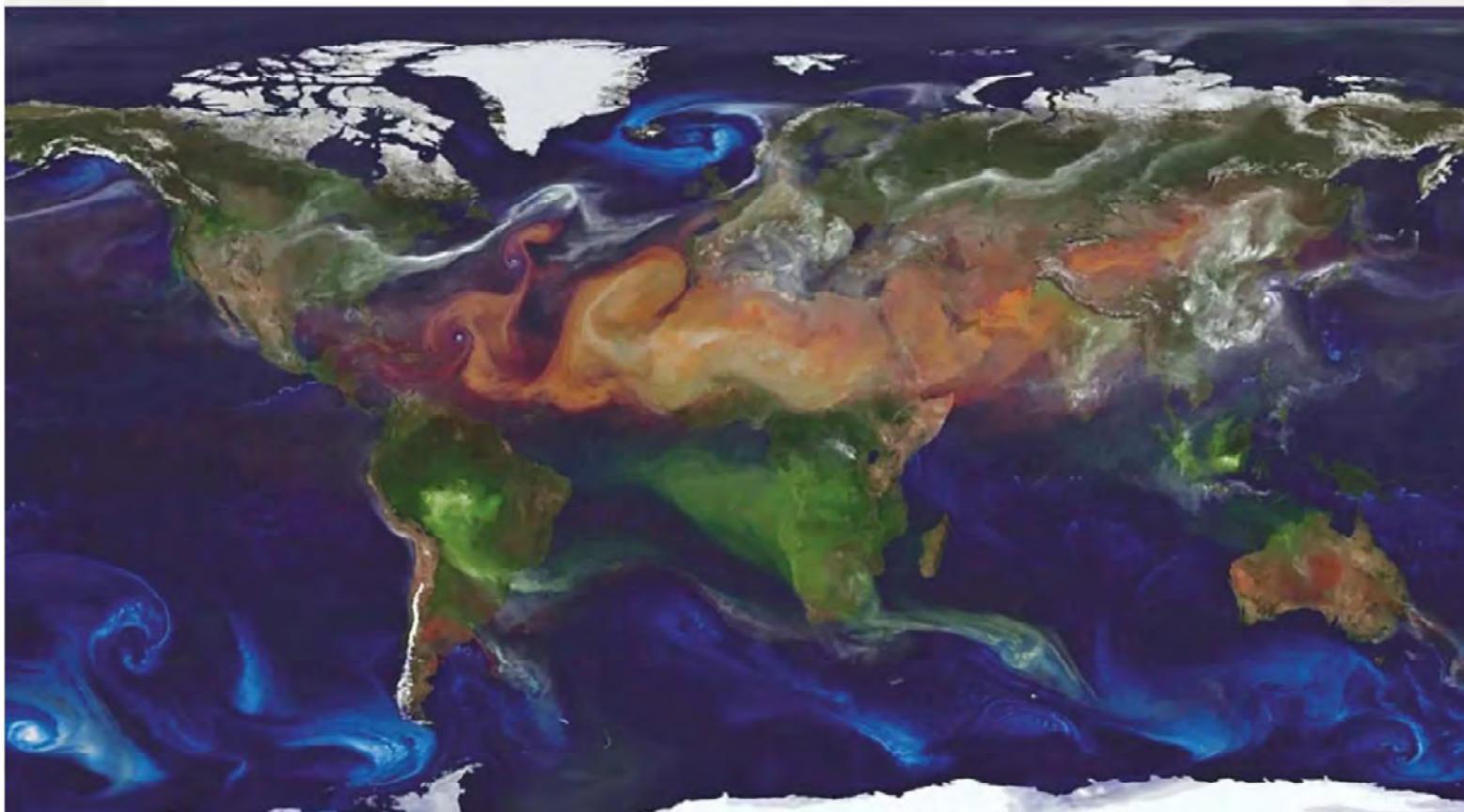
ACABADO

PLANIFICADO



**Creación y refuerzo de las marismas**  
Los humedales costeros restaurados proporcionan un hábitat crucial para la fauna y amortiguan el impacto de las tormentas.

MAPA: MATTHEW W. CHWASTYK, NGM  
FUENTES: AUTORIDAD DE PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN COSTERA DE LUISIANA; CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO; NASA / JPL; USGS; ADMINISTRACIÓN OCEÁNICA Y ATMOSFÉRICA NACIONAL EE. UU.



## MICROBIOTA SAHARIANA EN CIELO EUROPEO

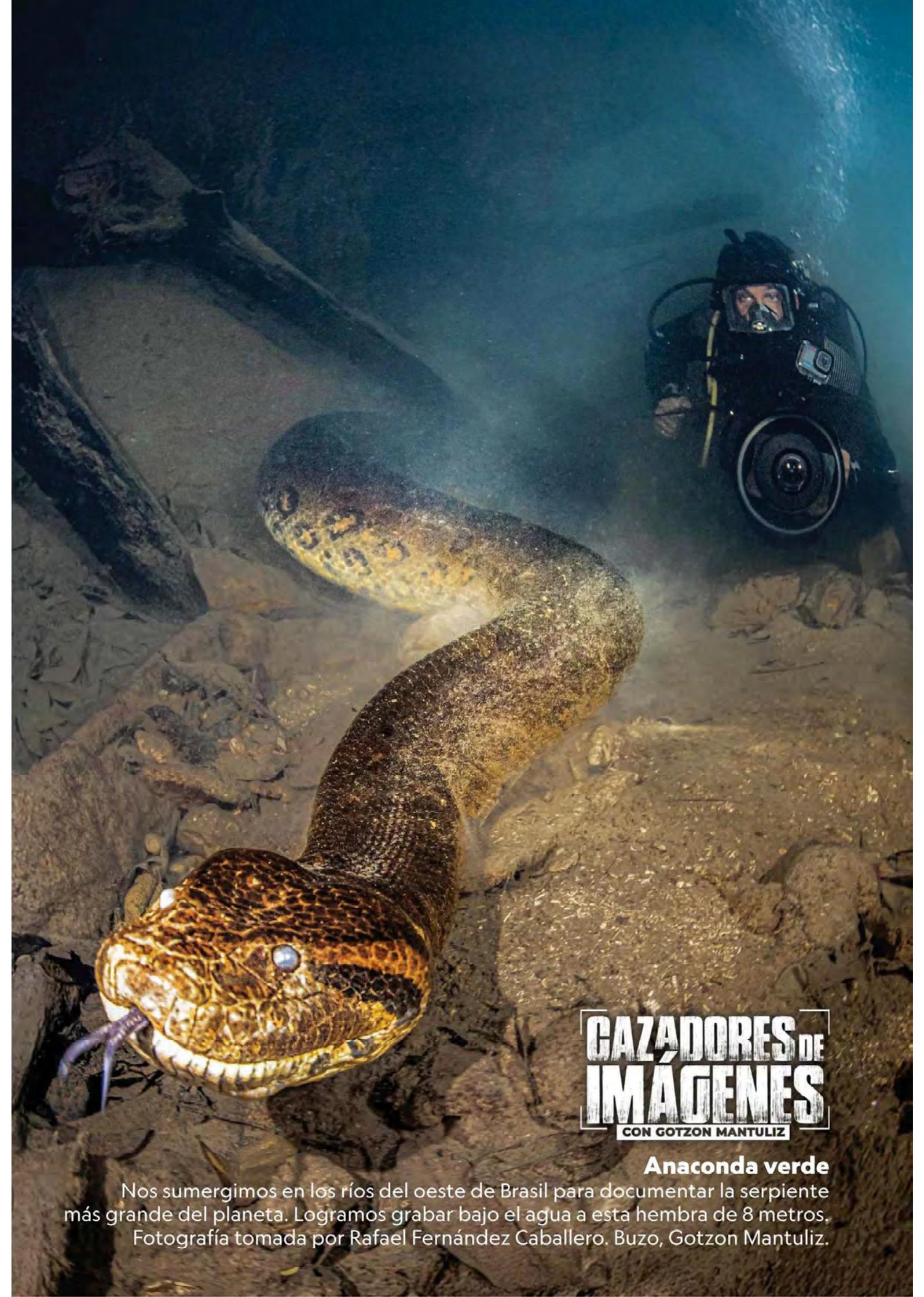
Texto de EVA VAN DEN BERG

**DESPUÉS DE 30 AÑOS** recogiendo muestras de lluvia en el macizo catalán del Montseny, un estudio realizado desde el Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC) ha revelado que los cielos del sur de Europa contienen de forma persistente microbios procedentes de los suelos desérticos del norte de África.

«Se trata de bacterias y hongos presentes en las muestras de precipitaciones recogidas desde 1987 hasta 2014 y que, por lo tanto, se encuentran en el aire de forma continuada y no únicamente durante los episodios de calima», explica Joan Cáliz, primer autor del estudio. Los datos indican que un 40% de la microbiota analizada procede de los desiertos africanos, desde donde se emiten unos mil millones de toneladas de polvo.

Entre estos resistentes microorganismos, capaces de mantenerse con vida tras recorrer distancias intercontinentales, se han caracterizado bacterias de los géneros *Geodermatophilus*, *Noviherbaspirillum* y *Acidiphillum*, muy adaptadas a entornos secos y hostiles. Pero ¿qué efectos pueden tener esos microorganismos africanos en los ecosistemas y en la salud humana? Emilio Casamayor, director del estudio, indica que «pueden influir en la formación de nubes y en la química atmosférica, colonizar ecosistemas remotos y ser una fuente de dispersión de agentes patógenos y de genes resistentes a los antibióticos».

Las masas de aire de polvo sahariano, patentes en esta imagen de la NASA, transportan y diseminan a miles de kilómetros infinidad de microorganismos.



# CAZADORES DE IMÁGENES

CON GOTZON MANTULIZ

## Anaconda verde

Nos sumergimos en los ríos del oeste de Brasil para documentar la serpiente más grande del planeta. Logramos grabar bajo el agua a esta hembra de 8 metros. Fotografía tomada por Rafael Fernández Caballero. Buzo, Gotzon Mantuliz.

# LA INVISIBILIDAD NOCTURNA DE LA LECHUZA

Texto de EVA VAN DEN BERG



¿QUÉ HACE UNA RAPAZ NOCTURNA como tú luciendo un plumaje tan claro?, podríamos preguntarle a la lechuza común (*Tyto alba*). ¿No serían los colores oscuros más adecuados para no ser vista cuando sale de caza? Según un estudio multidisciplinar liderado por la Estación Biológica de Doñana (EBD-CSIC), las plumas blancas de esta ave representan un tipo de camuflaje nocturno muy útil en las noches despejadas y con luna. «Nuestra hipótesis es que el llamativo color blanco de la lechuza común podría ser una adaptación que hace que a sus presas, por lo común roedores que buscan alimento en el suelo, les sea más difícil verlas cuando vuelan en el cielo nocturno», explica el investigador de la EBD Juan José Negro. Para que la lechuza sea prácticamente invisible, debe haber una luna cuyo resplandor compense la luz de la bóveda celeste que hay detrás de la

rapaz con la luz que refleja el ave hacia el suelo, donde está la presa. «Entonces puede hacerse casi indetectable para el ratón, que, cuando alcanza a verla, suele ser demasiado tarde», añade este experto en ecología evolutiva.

El astrofísico David Galadí, investigador de la Universidad de Córdoba y coautor del estudio, añade que «basta que la luna esté sobre el horizonte en cualquiera de sus fases para que una lechuza en vuelo pueda acercarse a los roedores desde diversos ángulos del cielo nocturno y permanezca por debajo del umbral de detección del sistema visual del ratón». El incauto roedor será súbitamente atrapado... y fin de la historia.

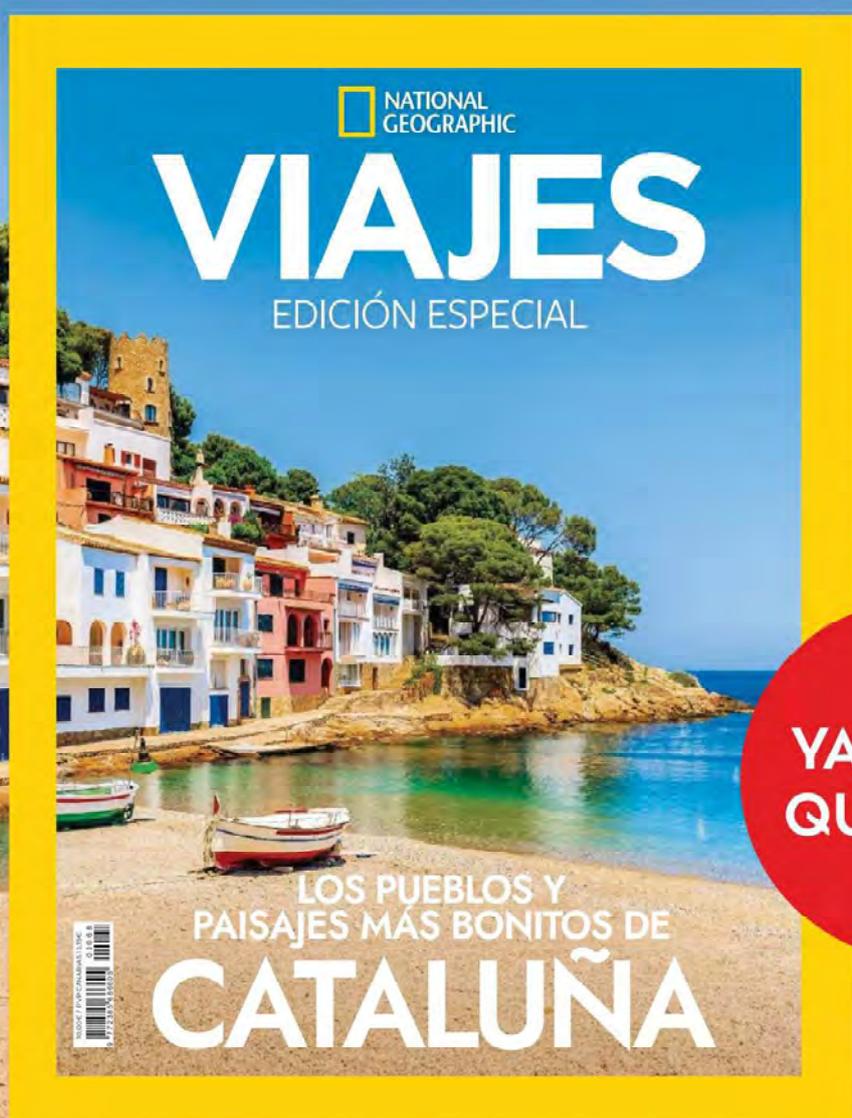
El estudio muestra que el plumaje blanco de las lechuzas es un eficaz camuflaje adaptado a un cielo iluminado por la luna, y da una nueva base para comprender el camuflaje nocturno en otras especies.

EDICIÓN ESPECIAL

VIAJES  NATIONAL  
GEOGRAPHIC

# CATALUÑA

DE LOS PIRINEOS AL MEDITERRÁNEO



YA EN TU  
QUIOSCO

---

**DESTINOS IMPRESCINDIBLES PARA DISFRUTAR  
DEL PAISAJE, LA CULTURA Y LA GASTRONOMÍA**

---

**RBA**



## AVENTURA EN LOS BOSQUES NAVARROS

**LOS LECTORES MÁS ATENTOS** de la revista ya conocían a Enrique Baquero, director del Departamento de Biología Ambiental de la Universidad de Navarra. Renombrado entomólogo, ha sido autor de numerosos descubrimientos de pequeñas especies que han aparecido en nuestras páginas. Esta vez, sin embargo, su misión era diferente. Baquero fue el guía informal de una «expedición» compuesta por unos 50 suscriptores de *National Geographic* al Parque Natural del Señorío de Bértiz, una de las zonas protegidas más antiguas de España.

Con meticulosidad, atentos a cada movimiento de alas o de patas en el suelo o en el cielo, los lectores se sumergieron en la exploración. «Es fundamental comprender la interrelación de todas las formas de vida que constituyen un bosque sano –explicó el biólogo–. No basta con esperar a que aparezcan los grandes mamíferos». De hecho, minutos después de esta explicación apareció un corzo a cien metros de los expedicionarios, entreteniéndose durante unos minutos como un modelo deseoso de ser fotografiado.

Horas antes, el grupo de exploradores que disfrutó de esta Experiencia National Geographic se había adentrado en el campus de la Universidad de Navarra respondiendo al reto lanzado por Baquero: encontrar en la fauna y flora cotidianas las maravillas más intrincadas de la evolución.



Como naturalistas modernos, los suscriptores de *National Geographic* se adentraron en el Parque Natural del Señorío de Bértiz para aprehender la interdependencia de todas las formas de vida en un ecosistema sano y en equilibrio.



Escanea este código para  
conocer las Experiencias  
National Geographic.

## A LOS ESCORPIONES LES GUSTA BAILAR PEGADOS

Texto de EVA VAN DEN BERG

¿HAN VISTO alguna vez a una pareja de escorpiones marcándose unos bailes? La bióloga Mariela Oviedo, miembro de un equipo investigador de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, dice que su danza de cortejo es compleja y está compuesta por diversos «pasos de baile». Tras agarrarse por las pinzas, exhiben movimientos vibratorios (sacudidas del cuerpo del macho), caricias con el telson (el último segmento de la cola) y aguijoneo sexual (introducción del aguijón en el cuerpo de la hembra). Otro paso es la resistencia femenina, que se da cuando la hembra, sin soltarse, avanza en dirección contraria al macho.

«Creemos que durante esa danza algunas especies se "escanean" mutuamente para evaluar

### HÁBITAT

Estos primitivos artrópodos se distribuyen por todos los continentes menos en la Antártida.

### OTROS DATOS

Existen unas 2.800 especies de escorpiones, un grupo de arácnidos muy poco conocido.

la calidad de la pareja, como si fuese una elección de pareja mutua, algo que nunca antes se ha descrito en escorpiones», explica la experta en estos arácnidos.

Mientras dura el baile, un continuo tira y afloja, el macho busca el lugar adecuado donde depositará su espermatóforo, que quedará adherido al suelo con una sustancia cementante. Luego ubicará a la hembra encima asegurándose de que se efectúa la transferencia de esperma. Tras la gestación en el interior de la madre, ella alumbrará pequeños escorpiones que llevará a cuevas hasta que más o menos puedan espabilarse solos.

Esta pareja de escorpiones practica la danza ritual típica del cortejo, conocida con la expresión francesa *promenade à deux*, o paseo para dos.



CREEMOS QUE CUANDO  
LAS PERSONAS ENTIENDAN MEJOR  
EL MUNDO QUE HABITAMOS,  
TOMARÁN MAYOR CONCIENCIA  
SOBRE SU PROTECCIÓN.

NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE  
ESPAÑA

**GONÇALO PEREIRA ROSA**  
*Director*

**ANA LLUCH** *Subdirectora*

**JOAN CARLES MAGRIÀ**  
*Director de Arte*

**BÁRBARA ALIBÉS,**  
**SERGI ALCALDE**  
*Redacción*

**VÍCTOR ÁLVAREZ**  
*Maquetación*

**MIREIA PLANELLES**  
*Coordinación Editorial*

**JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ**  
*Tratamiento de Imagen*

**CATERINA MILORO** *Directora*  
*Editorial Divulgación*

**MÓNICA ARTIGAS**  
*Subdirectora Área NG y Ediciones*  
*Internacionales*

**OLIVER TAPIA** *Director Digital*  
[www.nationalgeographic.com.es](http://www.nationalgeographic.com.es)

**ESTHER MOYANO**  
*Revista Digital*

**SYLVIA ROIG**  
*Coordinadora Experiencias NG*

**ASESORES**

**MARÍA TERESA ALBERDI** *PALEONTOLOGÍA*

**JUAN LUIS ARSUAGA** *PALEOANTROPOLOGÍA*

**EUDALD CARBONELL** *ARQUEOLOGÍA*

**CARMEN HUERA** *ETNOLOGÍA*

**ALBERT MASÓ**  
*ENTOMOLOGÍA Y VERTEBRADOS*

**JOAN PINO** *BOTÁNICA*

**MANUEL REGUEIRO** *GEOLOGÍA*

**VÍCTOR REVILLA** *HISTORIA ANTIGUA*

**ELOÍSA RODRÍGUEZ VIDA** *MEDICINA*

**JOANDOMÉNEC ROS** *ECOLOGÍA*

**ADOLFO DE SÓSTOA** *ICTIOLOGÍA*

**TRADUCTORA**

**EVA ALMAZÁN**

**COLABORADORES DE ESTE NÚMERO**  
**EVA VAN DEN BERG**

**RBA** BRANDS

**ENRIQUE BLANC, CEO**

**ARIADNA HERNÁNDEZ FOX, Directora General**

**SERAFÍN GONZÁLEZ, Director de Negocio Digital**

**MADRID, NORTE Y ANDALUCÍA**

**ARANTXA SÁNCHEZ, Directora de Oficina**

**ADRIÁN GARCÍA DE MANUEL, Subdirector de**  
*Publicidad*

**BEGOÑA LLORENTE, Subdirectora de Publicidad**

**YOLANDA TRIGUEROS, Coordinadora de Publicidad**

C/ López de Hoyos, 141 28002 Madrid  
Tel. 915 10 66 00

**BARCELONA Y LEVANTE**

**ANA GEA, Directora de oficina**

**MÓNICA MONGE, Directora de Publicidad Barcelona**

**PALOMA CAMPOS, Directora de Publicidad Levante**

**IVANA STELMASZEWSKI, Coordinadora de**  
*Publicidad*

Av. Diagonal, 109 08018 Barcelona  
Tel. 934 15 73 74

**ATENCIÓN AL CLIENTE**

[suscripciones@rba.es](mailto:suscripciones@rba.es)  
910 920 129

**Distribución:** LOGISTA PUBLICACIONES

**Impresión-Encuadernación:**

ROTOCOBRHI, S.A.

Depósito legal: B-333 67-1997

ISSN 1138-1434

ISSN edición digital 2604-6156

Printed in Spain - Impreso en España

Edición 12-2025

**Copyright** © 2025 National Geographic Partners, LLC.

Todos los derechos reservados. National Geographic  
y Yellow Border: Registered Trademarks® Marcas  
Registradas. National Geographic declina toda  
responsabilidad sobre los materiales no solicitados.

Difusión controlada por



**NATIONAL GEOGRAPHIC CONTENT**

**PRESIDENT:** Courteney Monroe  
**EVP & GENERAL MANAGER:** David Miller  
**EDITOR IN CHIEF:** Nathan Lump

**HEAD OF VISUALS:** Soo-Jeong Kang

**HEAD OF CREATIVE:** Paul Martinez

**HEAD OF DIGITAL:** Ailissa Swango

**INTERNATIONAL EDITIONS**

**EDITORIAL DIRECTOR:** Amy Kolczak

**INTERNATIONAL EDITIONS EDITOR:** Leigh Mitnick

**PRODUCTION EDITOR:** Ariana Felle

**EDITORS**

**ALEMANIA:** Werner Siefer

**BULGARIA:** Tatiana Grigorova

**CHINA:** Tianrang Mai

**COREA:** Junemo Kim

**ESLOVENIA:** Marija Javornik

**ESPAÑA Y PORTUGAL:** Gonçalo Pereira

**FRANCIA:** Frédéric Valliols

**GEORGIA:** Kevan Chumburidze

**HUNGRÍA:** Tamás Vitray

**INDONESIA:** Didi Kaspi Kasim

**ISRAEL:** Mirit Friedman

**ITALIA:** Marco Cattaneo

**JAPÓN:** Shigeo Otsuka

**KAZAJISTÁN:** Yerkin Zhakipov

**LATINOAMÉRICA:** Alicia Guzmán

**LENGUA ARÁBE:** Hussain AlMoosawi

**LITUANIA:** Frederikas Janssonas

**PAÍSES BAJOS/BELGICA:** Robbert Vermue

**POLONIA:** Agnieszka Franus

**REPÚBLICA CHECA:** Tomáš Tureček

**TAIWÁN:** Yungshih Lee

**THAILANDIA:** Kowit Phadungruangkit

Copyright © 2024 National Geographic Partners, LLC.  
Todos los derechos reservados. National Geographic y  
Marco Amarillo: ® Marcas Registradas.

**RBA** REVISTAS

Licenciataria de  
**NATIONAL GEOGRAPHIC PARTNERS, LLC.**

**RICARDO RODRIGO** *Presidente*

**JOAN BORRELL** *Director General Corporativo*

**AUREA DIAZ** *Directora General de Contenidos*

**BERTA CASTELLET** *Directora General de Marketing*  
*y Comercial*

**SUSANA GÓMEZ MARCULETA** *Directora Editorial*

**JÓRDINA SALVANY** *Directora creativa*

**JOSEP OYA** *Director General de Operaciones*

**RAMON FORTUNY** *Director de Producción*

**© RBA REVISTAS, S.L. 2024**

Reservados todos los derechos. Queda prohibida la  
reproducción, almacenamiento en cualquier medio o  
soporte, distribución, comercialización y comunicación  
pública de la presente publicación, su transformación  
total o parcial, así como la de sus textos, dibujos,  
fotografías, portada, marca y cualquier contenido.  
La prohibición alcanza también a cualquier uso de  
los contenidos relativos a la denominada inteligencia  
artificial. Tampoco se pueden utilizar para recopilaciones,  
reseñas, revistas de prensa o citas, sin la autorización  
expresa y por escrito de la titularidad de la revista.

La infracción de cualquier derecho sobre la presente  
publicación, titularidad de RBA REVISTAS S.L., será  
perseguida siguiendo las leyes aplicables y se exigirá  
a los infractores la imposición de las sanciones civiles  
y/o penales establecidas en la normativa vigente,  
y las indemnizaciones que correspondan.



## EL GRAN ENGAÑO de la Luna y la NUEVA OLA de colonización

GONÇALO PEREIRA ROSA

**VOY A CONTARLE** mi historia favorita sobre la exploración lunar. Para entenderla, tendrá que transportarse a la ciudad de Nueva York en 1835. Los periódicos eran entonces la fuerza más poderosa de divulgación del conocimiento y una fuente de riqueza. Pero también constituían un campo peligroso para estafadores y otras personas sin escrúpulos.

En 1835, *The New York Sun* (sin relación con el tabloide británico) comenzó a publicar una serie de seis artículos. Falsamente presentados como informes de las observaciones de uno de los astrónomos más conocidos de la época, dieron a conocer a un público extasiado los «descubrimientos» más recientes: gracias al telescopio más potente de todos los tiempos, la publicación contaba que sir John Herschel había logrado ver montañas, ríos y canales en la Luna. En el segundo artículo, el periódico dio un paso más: Herschel había avistado bisontes, cabras, cebras y unicornios. Cada día, más neoyorquinos compraban la publicación, ansiosos por conocer este maravilloso nuevo mundo.

En los artículos siguientes, *The New York Sun* avanzó aún más: anunció el avistamiento de un extraño homínido al que los sabios llamaban *Homo vespertilio*, el hombre-murciélago. Y, por último, informó sobre templos y monumentos, una señal evidente de que la civilización había llegado a la Luna. Llegado a ese punto, el periódico se asustó: el fraude había alcanzado tal magnitud que el público estaba desesperado por saber más. Por eso se anunció la triste noticia de que el telescopio se había quemado inesperadamente. Más tarde, obligado a reconocer el fraude, el periódico cayó en desgracia y el episodio se convirtió en un icono de la credulidad humana.

En este número tendrá que creer que no le contamos una fábula. Partimos en busca de los proyectos más interesantes para responder a preguntas prácticas sobre la colonización de la Luna. La aventura está comenzando. ¡Y, esta vez, puede creer lo que está leyendo!

Una de las reconstrucciones del paisaje lunar descrito por el periódico *The New York Sun* en 1835.

# A L D E A

Hace tiempo que Europa mira al cielo e imagina futuros asentamientos lunares que allanen el camino de la exploración humana del sistema solar. Varios proyectos trabajan para hacerlo posible.



# L U N A R

ENLACE AL CANAL

[x.com/byneontelegram](https://x.com/byneontelegram)

o escanea el código QR



byneon  
Neon147

byneon  
Neon147

El estudio de arquitectura e ingeniería SOM, de Nueva York, está detrás del proyecto conceptual Moon Village, que a instancias de la ESA imagina una aldea lunar hecha con módulos inflables bajo un cielo en el que la Tierra luce en fase llena.

ILUSTRACIÓN: © SOM/SLASHCUBE GMBH/ESA

A

**COMPÁÑENME A UNA VISITA** virtual a la Luna. En un abrir y cerrar de ojos recorreremos los 384.400 kilómetros que hay, de promedio, entre la Tierra y nuestro satélite natural, para posar nuestra nave imaginaria en uno de los sitios que más números tiene para

acoger un primer asentamiento humano: el Polo Sur lunar, concretamente, el cráter Shackleton y sus alrededores. Horadado por el impacto de un meteorito hace unos 3.300 millones de años, este cráter mide 21 kilómetros de diámetro y 4,2 de profundidad. Su nombre rinde homenaje al valeroso explorador polar Ernest Shackleton, quien, con toda seguridad, estaría más que dispuesto a formar parte de los equipos humanos que hoy sueñan con salir de la Tierra madre para colonizar el espacio.

Por razones de proximidad, la Luna será la primera parada en esa pretendida expansión de nuestra especie por el sistema solar. Algo así como una estación de transbordo espacial desde donde afrontaremos el que se considera el próximo gran hito exploratorio de la humanidad: poner un pie en Marte... e, *ipso facto*, plantar una bandera en el planeta rojo. Pero nuestro satélite interesa también por otros motivos, como la explotación de recursos minerales, la promoción del turismo espacial y la investigación científica desde ámbitos muy variados que van más allá de la astronomía.

«La cara oculta de la Luna es ideal para albergar infraestructuras de observación astronómica: es el lugar del sistema solar con menos contaminación radioeléctrica, a salvo de las radiaciones producidas por los seres humanos –explica el físico Ignasi Ribas, director del Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña (IEEC) e investigador del Instituto de Ciencias del Espacio (ICE) del CSIC–. Además, desde un cráter profundo del polo lunar, podríamos gozar de una noche permanente para realizar observaciones con el telescopio».

Pero ¿qué tiene de interesante y especial el área del cráter Shackleton para que sea el emplazamiento donde tienen pensado aterrizar las dos misiones lunares tripuladas más desarrolladas, es decir, la de Estados Unidos y la de China? Sus dos principales atractivos son diametralmente opuestos: sus luces y sus sombras. Las primeras son producidas por el tenue fulgor solar que baña la región. Similar al sol de medianoche que alumbra nuestras latitudes polares al acercarse el solsticio de verano, el fenómeno produce en algunos lugares de la Luna los denominados picos de luz eterna. «Concretamente en los bordes que rodean el cráter Shackleton hay tres de esos picos, que están iluminados por el Sol de forma permanente durante el 90 % del año», explica Ribas. Esos puntos constantemente iluminados, cuya existencia apuntó ya en 1879 el astrónomo francés Camille Flammarion,

Gateway es la estación espacial en órbita lunar prevista por el programa Artemis y cuenta con la colaboración de la ESA. Si los recortes de la NASA no la malogran, Gateway recibirá naves procedentes de la Tierra, y desde allí partirán las que quieran ir a la Luna y más allá.



serían idóneos para acoger infraestructuras de energía solar en funcionamiento ininterrumpido.

Por otro lado, también interesa mucho la fría oscuridad que se atisba en el fondo del cráter, una despensa de hielo de agua de origen cometa. «En teoría, en estos reservorios se podría obtener agua líquida y también, mediante electrólisis, hidrógeno para producir combustible y oxígeno para abastecer los equipos de respiración», explica el astrofísico. Pero según los datos obtenidos por las sondas lunares que han sobrevolado el cráter desde mediados de los años noventa, y tal como se explica más a fondo en el artículo siguiente («La fiebre lunar», página 22), la cantidad de agua en el interior del cráter no es demasiado abundante y está mezclada con ese sustrato basáltico polvoriento y tóxico que recubre toda la superficie lunar, el regolito.

Pero, como decía Ernest Shackleton, «las dificultades son simplemente cosas que hay que superar», y en el entretanto, mientras se acaba de perfilar la compleja y competitiva vuelta del ser humano a la Luna, varias iniciativas imaginan formas de habitarla. Una de las más destacadas es el proyecto conceptual Moon Village, una propuesta de la Agencia Espacial Europea (ESA) que coordinó el físico Bernard Foing, muy vinculado a los programas lunares europeos. «La Luna es el octavo continente de la Tierra», suele decir Foing. El desarrollo virtual del proyecto lo asumió el estudio de arquitectura e ingeniería estadounidense SOM, en colaboración con Jeffrey A. Hoffman, exastronauta de la NASA y profesor de Aeronáutica y Astronáutica en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), y culminó con su presentación en la Bienal de Venecia de 2021.

**S**I QUIERE UNA CASITA EN LA LUNA, sepa que el sueño de la ESA de instalar una aldea en la superficie de nuestro satélite no es nueva. Ya en 2015 la ESA inició una colaboración con Foster and Partners, el estudio de arquitectura fundado por Norman Foster en 1967. ¿El objetivo? Explorar las posibilidades que ofrece la impresión 3D en la construcción de hábitats lunares modulares con el mínimo aporte de material de la Tierra y capaces de

proteger a sus potenciales habitantes de los grandes peligros asociados al medio ambiente lunar: meteoritos, radiaciones, seísmos y enormes fluctuaciones térmicas. La renombrada firma optó por diseñar una cápsula cilíndrica con capacidad para cuatro personas, con la idea de que, junto con un par de robots, pueda ser enviada a la Luna a bordo de un módulo de aterrizaje no tripulado y emplazada en el borde del cráter Shackleton. Allí, en uno de los extremos de la cápsula –el otro sería la puerta al habitáculo– se inflaría una cúpula sobre la cual estos avanzados robots imprimirían en 3D una estructura porosa que posteriormente sería rellenada con regolito lunar. Transcurridos unos tres meses terrestres, la capa protectora quedaría terminada y la morada lunar, lista para ser estrenada.

Una de las personas que impulsaron el sueño de ir más allá del diseño de un habitáculo y proyectar una aldea lunar internacional fue el ingeniero alemán Jan Wörner, director general de la ESA entre 2015 y 2021. Para Wörner, la mejor opción para sustituir en un futuro a la Estación Espacial Internacional (ISS), símbolo de cooperación entre naciones incluso en los contextos geopolíticos más tensos, es construir una base lunar permanente que recoja su espíritu multinacional y cooperativo. «No se trata de edificar casas, un ayuntamiento y una iglesia», dijo entonces. La aldea lunar, señaló, deberá tener usos y usuarios múltiples: a un país tal vez le interese más la ciencia; a otro, poner una empresa minera privada, y a un tercero, usar la Luna como base de exploraciones más lejanas.

Ese fue el marco conceptual del que partió el equipo de SOM (siglas de Skidmore, Owings and Merrill), célebre por haber construido algunos de los rascacielos más altos del mundo, cuando aceptó desarrollar el proyecto Moon Village. Su propuesta (véase la fotografía de las páginas 2-3) es un asentamiento basado en módulos hinchables verticales de tres o cuatro pisos, expandibles y conectables entre sí y recubiertos con una barrera protectora de regolito. Una idea que combina la experiencia de la industria espacial con conocimientos de arquitectura, urbanismo, ciencia y psicología con el objetivo de crear en la Luna un entorno lo más «humanizado» posible.

# HACIA UN LUGAR INHÓSPITO

Queremos asentarnos en la Luna, pero no hay que olvidar que es un lugar muy peligroso donde el cuerpo humano se pone constantemente a prueba.



El viaje. La distancia promedio entre la Tierra y la Luna es de 384.400 kilómetros.

La exitosa primera misión del programa Artemis fue un vuelo no tripulado que en 2020 comprobó el buen funcionamiento del Sistema de Lanzamiento Espacial (SLS) y la nave espacial Orión. Artemis II, prevista para 2026, lanzará una misión tripulada que orbitará la Luna, pero sin alunizar, para probar los sistemas de soporte vital. Será la tercera misión la que afronte el esperado regreso del ser humano a la Luna. Aún sin fecha, será el primer vuelo tripulado estadounidense que se pose en la Luna desde 1972. Los planes inclusivos que preveían que Artemis III llevara a la Luna a la primera mujer y a la primera persona de color parecen estar hoy en entredicho por el Gobierno de Trump.

Pero más allá de los peligros que afronta todo viaje espacial, el mayor desafío de ir a la Luna es que sin la atmósfera protectora de la Tierra no hay nada que nos proteja de las radiaciones, las temperaturas extremas o los impactos de los meteoritos. Mantenerse con vida es un reto mayúsculo.

**1** La débil gravedad de la Luna provoca que su tenue atmósfera solo pueda retener un fino velo de moléculas de gas.



Una atmósfera muy tenue

**2** La radiación solar que impacta en la Luna es unas 200 veces mayor que en la Tierra. Las probabilidades de desarrollar cáncer son muy altas.



Sin protección frente a la radiación solar

**3** Las temperaturas en la Luna oscilan entre los 127 °C y los -173 °C, un rango incompatible con la vida humana.



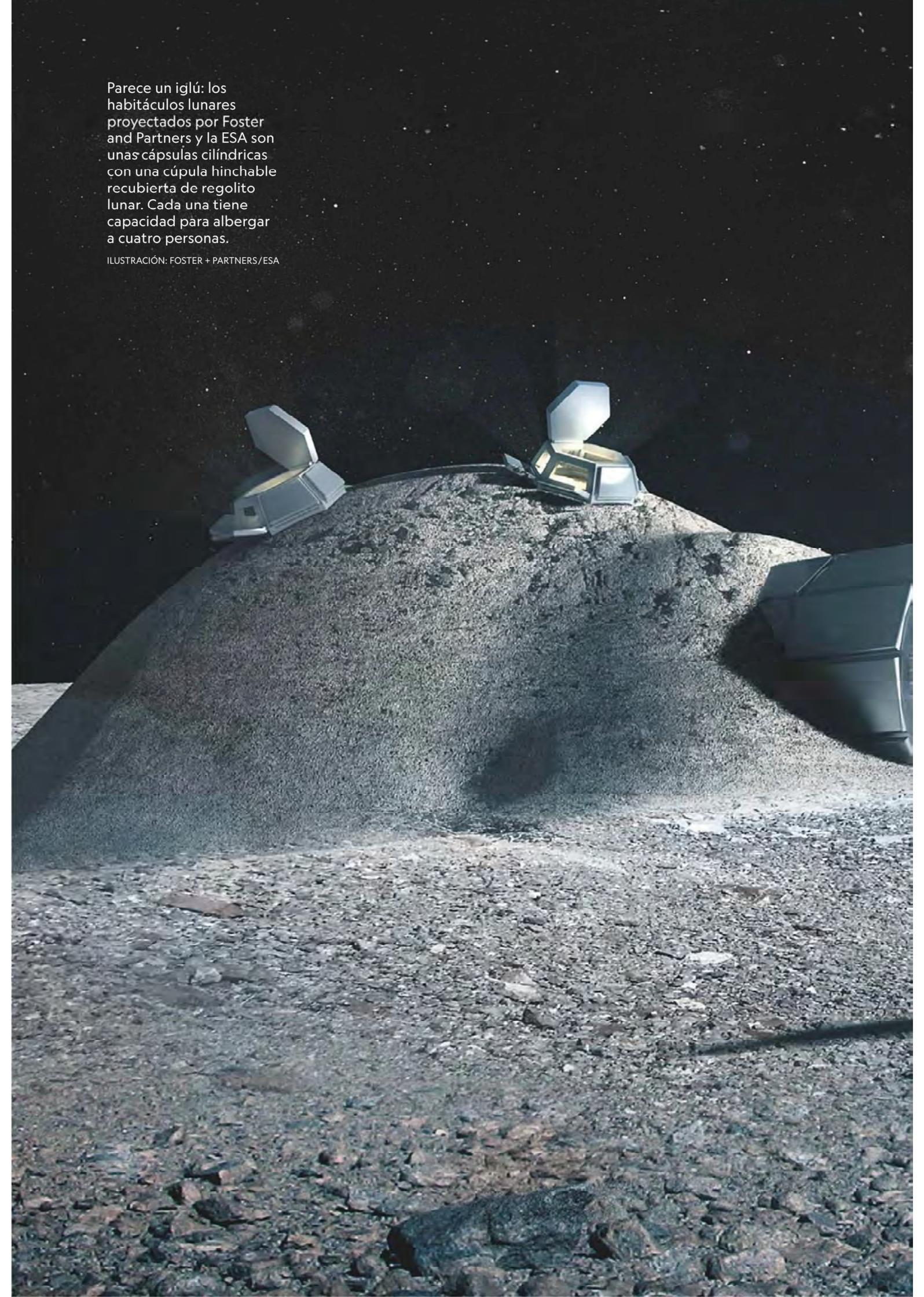
**4** Los meteoritos constituyen otro gran peligro en nuestro satélite natural. Sin una barrera de protección, miles de ellos, muchos muy pequeños, impactan cada año.

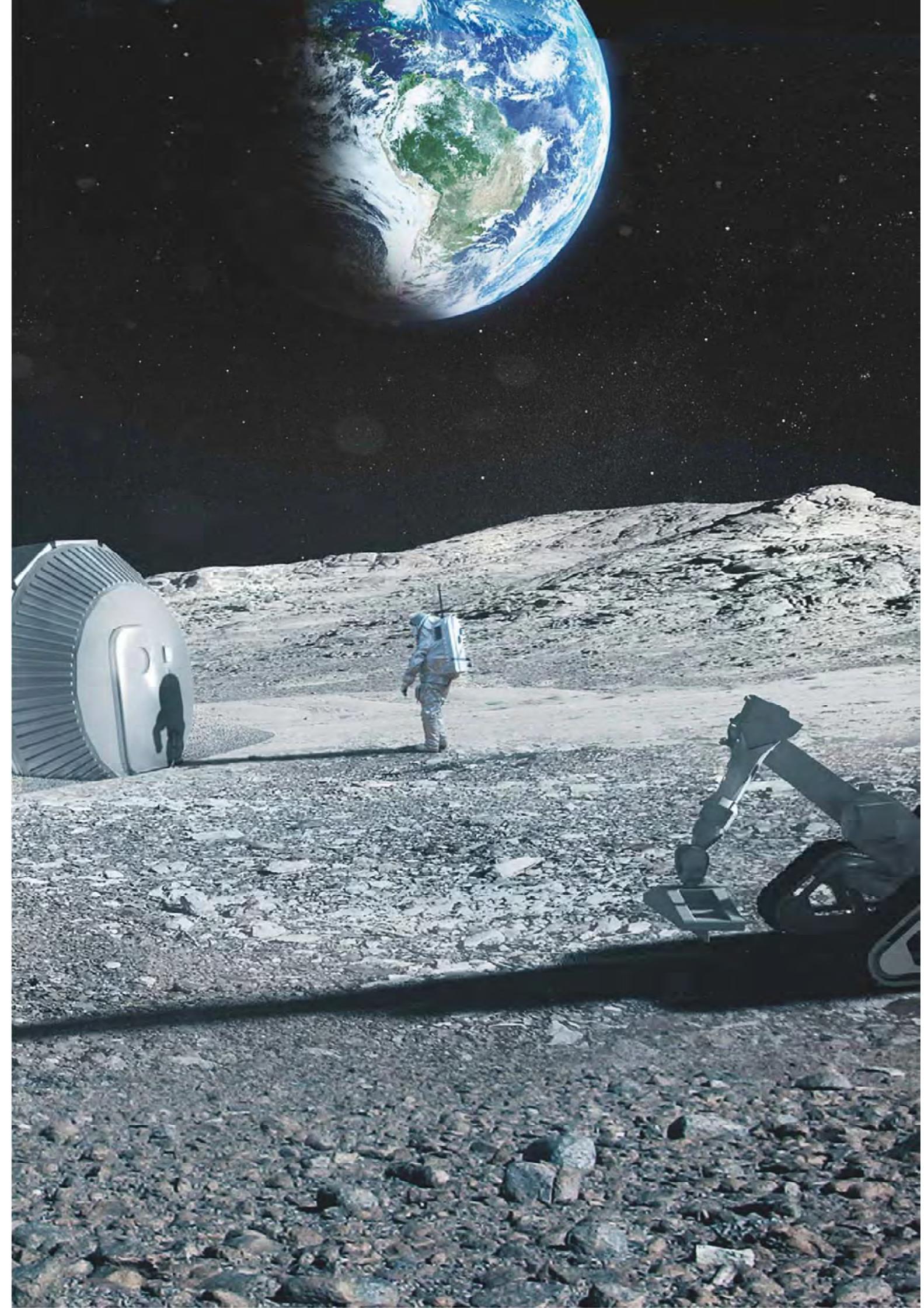


Expuesta a los meteoritos

Parece un iglú: los habitáculos lunares proyectados por Foster and Partners y la ESA son unas cápsulas cilíndricas con una cúpula hinchable recubierta de regolito lunar. Cada una tiene capacidad para albergar a cuatro personas.

ILUSTRACIÓN: FOSTER + PARTNERS/ESA





«Al igual que en la Tierra, se trata de crear unos espacios que permitan a los seres humanos no solo sobrevivir, sino también prosperar y ser creativos», explica Colin Koop, arquitecto de la firma estadounidense. Para ello, pusieron especial hincapié en el confort de los interiores, diseñados para usos distintos y muy bien iluminados al aprovechar uno de esos picos de luz eterna, que a su vez harían posible la autosuficiencia energética.

Pero el principal desafío de la colonización de la Luna es mantener a las personas con vida: allí, a diferencia de lo que sucede en nuestro maravilloso planeta Tierra, el rango de temperaturas es incompatible con la vida y no hay atmósfera ni campo magnético. Es decir, aparte de no poder respirar, en la Luna estamos expuestos a un índice de radiación espacial mucho más alto y a más impactos de meteoritos. «Se trata, ante todo, de un ejercicio de estimación de la protección», afirma Koop.

Para el arquitecto, uno de los retos más desafiantes es la microgravedad. «El hecho de que la Luna tenga aproximadamente una sexta parte de la gravedad de la Tierra es un verdadero problema. Nuestros huesos son así de fuertes porque nuestro cuerpo resiste continuamente la fuerza de la gravedad. Pero si vas al espacio y esa fuerza ya no actúa sobre ti, tu densidad ósea comienza a disminuir casi de inmediato. También el sistema circulatorio se resiente, pues es gracias a la gravedad que la sangre recircula hacia el corazón. En ambientes de baja gravedad, la sangre tiende a coagularse, por lo que necesitas tomar anticoagulantes. Y tus músculos empiezan a deteriorarse porque están diseñados para mantenerse en forma en la Tierra. Entonces, ¿cómo deberíamos concebir los espacios para hacer ejercicio? ¿Y cómo desarrollar en el cuerpo humano la capacidad para soportar un esfuerzo extremo? Hay que pensar que en la Luna tienes que ejercitarte cuatro, cinco o seis veces más para obtener el mismo efecto en tu cuerpo y mantenerlo sano. Eso sí que es un reto difícil».

No es el único. «Otra de las grandes dificultades que deberemos superar es conseguir que los alunizajes sean lo suficientemente seguros –añade Bernard Foing–, y tendremos que lograr

la implementación de operaciones sostenibles a largo plazo que produzcan beneficios económicos y sociales para los ciudadanos de la Tierra».

**E** **L RETO DE ASENTARSE EN LA LUNA** es bastante más complejo de lo que popularmente se cree. Para profundizar en todas esas dificultades que entraña, me reúno con Ignasi Casanova, profesor de Geoquímica en la Universidad Politécnica de Cataluña

(UPC), donde imparte la asignatura de Recursos Espaciales y Asentamientos Planetarios en el marco del Máster Universitario en Ingeniería Espacial y Aeronáutica. Experto en lo que se conoce como ISRU (acrónimo en inglés de Utilización de Recursos *In Situ*), Casanova me explica que el regolito lunar, compuesto básicamente de distintos basaltos machacados, es extremadamente abrasivo y, además, está cargado electrostáticamente por el efecto de la radiación solar sobre la superficie de la Luna.

«Cualquier actividad que se realice en nuestro satélite, como es montar una infraestructura, levanta una gran cantidad de polvo de regolito –dice–. Se trata de un polvo muy fino que está cargado de electricidad, lo que conlleva que las partículas leviten y se repelan entre sí». Un dato impactante: el polvo lunar que levantaron los *rovers* de las misiones Apollo, por poner un ejemplo, sigue estando aún hoy en suspensión y puede permanecer en este estado unos 200 años. «Hay que tener en cuenta que las partículas de regolito pueden infiltrarse en todos los engranajes y estropear las infraestructuras y los instrumentos», advierte.

Fino como la harina, pero abrasivo como el papel de lija, respirarlo es peligroso, como ya informaron en su día astronautas de diversas misiones Apollo. En el informe de la sexta misión tripulada y la segunda en alunizar, la Apollo 12 de 1969, se explicaba cómo el polvo, que se adhería a los trajes y equipos, se infiltraba en la cabina del módulo lunar: «Tras la inserción en la órbita de ascenso, cuando la nave espacial se vio sometida de nuevo a un entorno de gravedad cero, gran cantidad de partículas de polvo lunar flotaba libremente en el interior de la cabina.

# HABITACIÓN LUNAR

¿Cómo se instalaría en la Luna la vivienda modular ideada por Foster and Partners en el marco de un futuro asentamiento lunar permanente?



**1 Alunizaje** Una cápsula cilíndrica es enviada a la Luna a bordo de un módulo de aterrizaje no tripulado.



**2 Ubicación** Una vez en la Luna, la cápsula es emplazada en el cráter Shackleton.



**3 Despliegue** De uno de los extremos de la cápsula emerge un módulo hinchable listo para desplegarse.



**4 Inflamción** El módulo, con forma de iglú, se infla por completo. Por el otro extremo se accede a la cápsula.

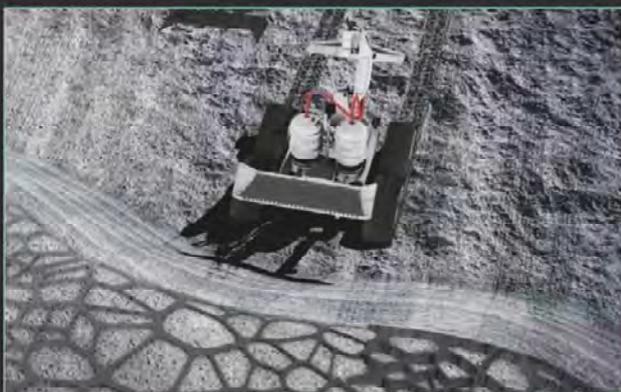
**5 Impresión 3D** Un robot erigirá una estructura porosa 3D parecida a la de una esponja o un hueso, que luego procederá a rellenar con regolito lunar.

Pala para recoger el regolito

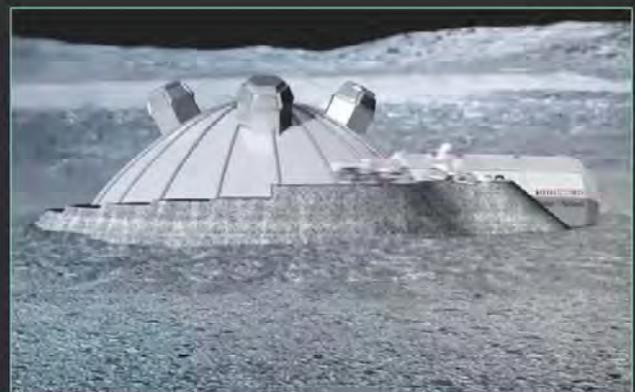
Depósito para el líquido de impresión

Brazo robótico de 6 ejes

Cabezal de la impresora 3D



**6 Regolito lunar** Con esta materia prima los robots recubrirán y protegerán los habitáculos.



**7 Cubierta protectora** A los tres meses, el módulo quedará completamente protegido y listo para ser habitado.

Todo ese polvo dificultaba y hacía peligrosa la respiración sin casco, y había suficiente cantidad como para afectar la visión».

Tres años después, en 1972, al finalizar la que fue la última misión tripulada, la del Apolo 17, su comandante Gene Cernan afirmó lo siguiente: «El polvo es probablemente uno de nuestros mayores obstáculos para una operación programada en la Luna. Creo que podremos superar otros problemas fisiológicos, físicos o mecánicos, excepto el polvo».

Por todo ello, Casanova afirma que el primer paso para asentarse en la Luna sería construir pistas de aterrizaje y despegue de las naves que minimicen el movimiento de ese ubicuo polvo lunar. La ESA ya está en ello, y a través de su proyecto PAVER experimenta cómo fundir regolito para construir carreteras que mantengan a raya el polvo lunar. También desde el sector privado se trabaja para conseguir ese pavimento selenita.

Tampoco será sencilla la tan proclamada explotación de los codiciados recursos presentes en la Luna, como el helio-3, combustible esencial de los esperanzadores reactores de fusión nuclear que nos permitirían generar energía limpia e ilimitada. O las hoy tan necesarias tierras raras, utilizadas como componentes en casi todos los dispositivos tecnológicos modernos, contenidas en un tipo de roca lunar conocida como KREEP por el acrónimo en inglés de potasio (K), tierras raras (REE, de rare earth elements) y fósforo (P). «Ya en las misiones Apolo quedó claro que la Luna contiene tierras raras –explica el geólogo–, pero desde luego todavía no es posible su explotación, pues sus concentraciones están muy por debajo de las que pueden ser económicamente viables. Creo que tardaremos décadas en hacerlo posible».

El científico apunta que la Luna tiene un gran valor como laboratorio de sostenibilidad: nos brinda un espacio en el que experimentar desde el momento uno los efectos de cada acción llevada a cabo en su superficie y explorar soluciones que den respuesta a los desafíos terrestres. La Luna, que según la teoría más aceptada se formó hace unos 4.500 millones de años a consecuencia de la colisión de la Tierra con Tea, un protoplaneta del tamaño de Marte, permitiría

también el estudio de los procesos geológicos extraordinariamente bien preservados que encierran datos aún desconocidos sobre la formación del sistema solar.



**LES GUSTAN LOS RÁBANOS**, sepan que es muy posible que este tubérculo sea una de las especies vegetales más exitosas del huerto selenita, junto con las lechugas, las espinacas y los tomates. Lo ha comprobado el equipo de Green Moon Project, un proyecto de

agricultura espacial fundado hace nueve años. Uno de sus impulsores, el ingeniero aeroespacial José María Ortega, está al frente del equipo junto con su colega Jorge Pla-García, investigador en el Centro de Astrobiología (CAB)-INTA-CSIC, y la bióloga Eva Sánchez, directora del laboratorio granadino de tecnología e investigación agrícola InnoPlant. «En colaboración con más de una decena de investigadores de distintos organismos científicos, en Green Moon Project trabajamos para averiguar cómo afecta la microgravedad a las plantas con el objetivo de que en un futuro se puedan crear invernaderos espaciales auto-suficientes que permitan a los astronautas consumir vegetales frescos», cuenta Ortega.

La primera prueba de fuego tendrá lugar a finales de 2026, gracias al acuerdo establecido con Orbital Paradigm, una empresa española de logística espacial que ofrece vuelos en órbita baja en el interior de su pequeño vehículo de retorno Kestrel para la experimentación biotecnológica y médica en situaciones de microgravedad. «Lanzaremos una pequeña cápsula de 20 por 20 por 10 centímetros, escalable en el futuro, a prueba de vibraciones, cambios de temperatura y de presión, con una serie de plántulas en su interior –informa Jorge Pla-García–. El experimento partirá al espacio desde Cabo Cañaveral a bordo de un cohete de Space X que luego lo traerá de vuelta al mismo punto de despegue tras un período que, según vaya todo, oscilará entre unas cuantas horas y unas dos semanas».

Eva Sánchez, experta en el estudio de plantas bajo situación de estrés, me explica que la cápsula está despresurizada, mantiene un rango de temperaturas de entre 15 y 20 °C, y está equipada

# EL INTERIOR DEL HABITÁCULO

La vivienda lunar diseñada por Foster and Partners en colaboración con la ESA ofrece un espacio vital para cuatro personas en el que priman el confort y la protección.



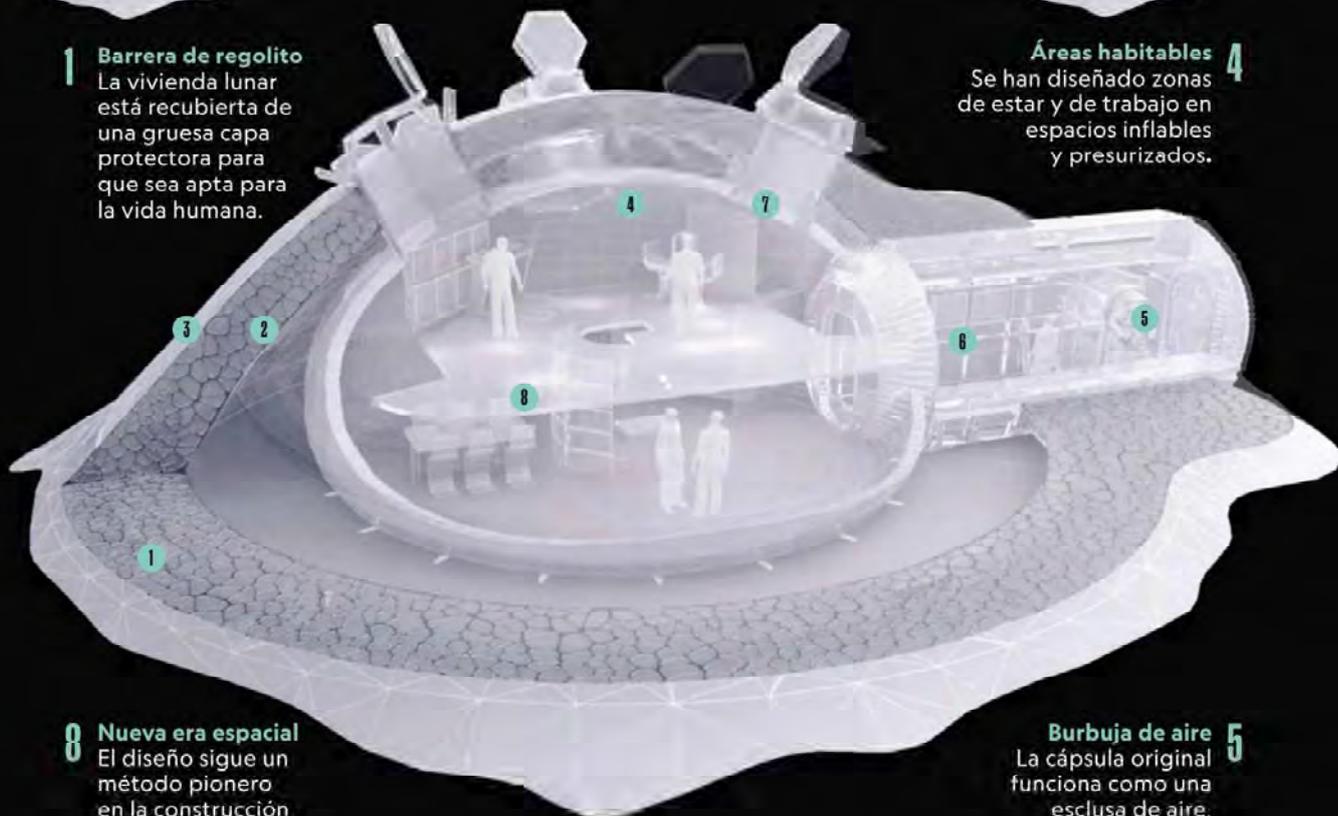
**2 La radiación solar**  
Uno de los grandes riesgos ambientales es la radiación, en especial los rayos cósmicos y la radiación ultravioleta.

**Otras amenazas**  
No solo los meteoritos amenazarían un asentamiento en la Luna. También hay que tener en cuenta los movimientos sísmicos en la arquitectura lunar.



**1 Barrera de regolito**  
La vivienda lunar está recubierta de una gruesa capa protectora para que sea apta para la vida humana.

**Áreas habitables**  
Se han diseñado zonas de estar y de trabajo en espacios inflables y presurizados.



**8 Nueva era espacial**  
El diseño sigue un método pionero en la construcción avanzada de la era espacial.

**Burbuja de aire**  
La cápsula original funciona como una esclusa de aire, esencial para la habitabilidad.



**7 Cúpula de luz**  
Los tragaluz permiten la entrada de luz natural a las viviendas lunares.

**Soporte técnico**  
También alberga un módulo de soporte técnico que mantiene la base hinchable en funcionamiento.





## HUERTO LUNAR

Green Moon Project realiza experimentos hortícolas con regolito para simular el suelo lunar, al que incorporan microorganismos.

Una de las líneas de investigación de Green Moon Project para hacer realidad su invernadero espacial, recreado en la imagen superior, es explorar hasta qué punto los territorios volcánicos tienen semejanzas con, por ejemplo, el suelo de la Luna. En colaboración con el laboratorio granadino InnoPlant han hecho pruebas con muestras de suelos volcánicos de las islas canarias de La Palma y Lanzarote para comprobar cómo crecen las plantas en estos entornos extremos. Al igual que el del suelo lunar, el regolito volcánico también carece de los nitratos necesarios para alimentar a las plantas de forma adecuada. Por eso, una de las líneas de investigación es mezclar ese sustrato con microorganismos extremófilos, en concreto bacterias que han sido aisladas de las minas de Riotinto capaces de incrementar la fertilidad del sustrato. Abajo, la cápsula invernadero de Green Moon Project y los diferentes componentes que, altamente automatizados, persiguen dotarla de una autosuficiencia de al menos seis meses.



ILUSTRACIONES: MARIO BAUTISTA / GREEN MOON PROJECT / FREEPIK



ILUSTRACIÓN: ESA / P. CARRIL

Como afirma la ESA, la investigación, la tecnología y la exploración espaciales nos ayudan a expandir el ingenio y amplían las fronteras en todos los ámbitos, desde el desarrollo de lanzaderas y satélites hasta el trabajo en equipo y la colaboración internacional. En la Luna, como muestra esta recreación artística, tres de las líneas de trabajo pioneras son la generación de energía solar, la producción de alimentos en invernaderos y la construcción con impresoras 3D móviles.

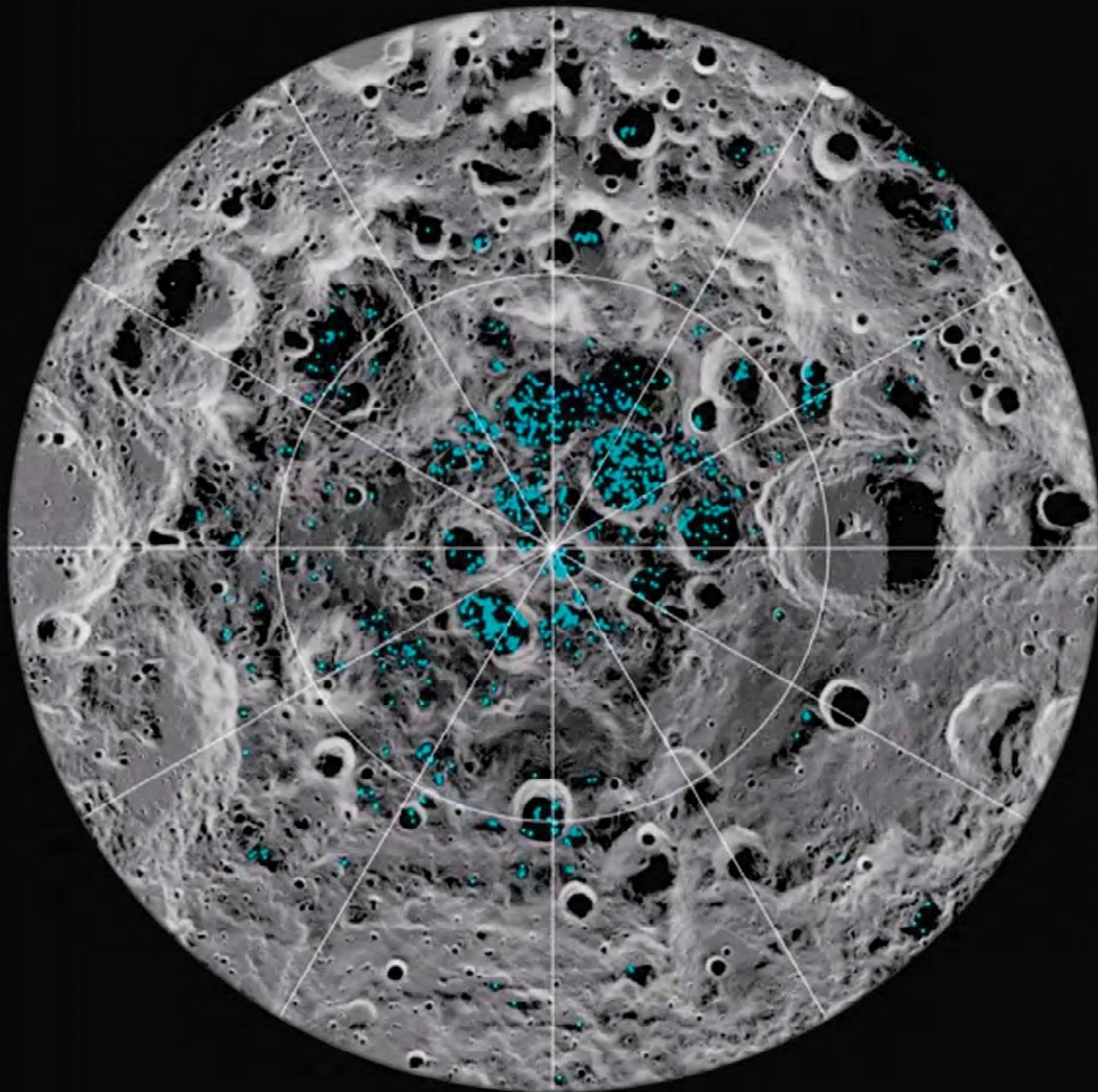


con luces led para posibilitar la fotosíntesis y también con un sistema de fluidización y baterías. «A su regreso a la Tierra, estudiaremos el efecto que ha tenido el espacio en la salud de esas plantas y las compararemos con otras iguales germinadas en el laboratorio bajo las mismas condiciones que las de la cápsula. La única diferencia entre unas y otras será la microgravedad», dice. Uno de los efectos conocidos del estrés causado por la ingravidez es que acelera el ciclo vegetativo de las plantas: crecen más rápido, los entrenudos son más largos y el porte, más alto.

El objetivo final del proyecto Green Moon es la construcción de una cápsula de dimensiones mayores que, con una autonomía de unos seis meses, pueda abastecer a las misiones tripuladas en asentamientos espaciales, ya sea en la Luna o en cualquier otro entorno extremo en la Tierra y fuera de ella.

Mientras, en el muy terráqueo campus de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), hace 30 años que funciona la planta piloto del proyecto europeo MELiSSA (siglas en inglés de Alternativa de Sistema de Soporte Vital Microecológico).

Polo Norte



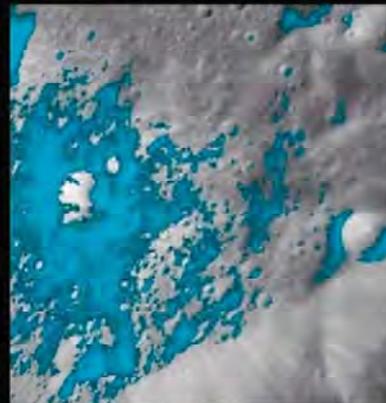
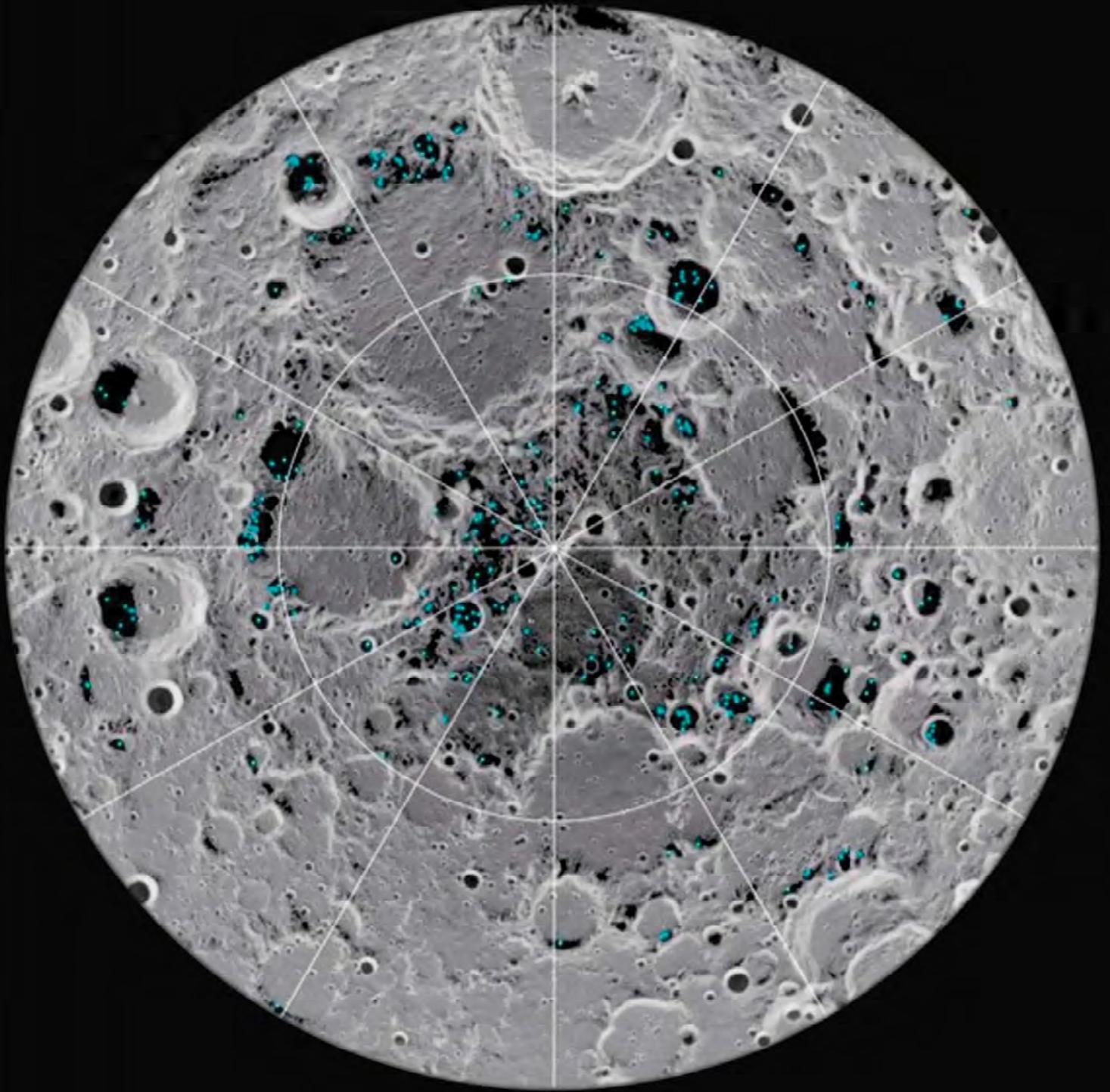
## AGUA LUNAR, ¿UN RECURSO ESCASO?

Descubrir importantes reservas de agua en la Luna facilitaría mucho el establecimiento de asentamientos lunares, pero no parece que abunde ni que sea fácil de extraer.

Las imágenes muestran la distribución del hielo superficial en el Polo Sur (izquierda) y el Polo Norte (derecha) de la Luna, detectado por el instrumento Moon Mineralogy Mapper de la NASA, que viajó en 2008 a bordo de la sonda espacial india Chandrayaan-1. La ubicación del hielo, en color azul, destaca sobre una imagen de la superficie lunar donde los tonos más oscuros representan

las zonas más frías y los más claros, las más cálidas. El hielo se concentra en los puntos más oscuros y fríos, a la sombra de los cráteres. Esta fue la primera vez que los científicos observaron directamente una evidencia definitiva de hielo de agua en la superficie lunar, algo que misiones posteriores han constatado. Pero todavía se ignora cuánta agua hay en la Luna.

Polo Sur



**Chandrayaan-1**, la primera misión india al espacio profundo, identificó, gracias al espectrómetro de la NASA, moléculas de agua e hidroxilo atrapadas en minerales lunares. En especial en el Polo Sur, el lugar elegido para las próximas misiones tripuladas. En 2023 la sonda Chandrayaan-3 se posó justo en ese lugar para investigar la presencia de hielo de agua.

La meta de esta instalación es desarrollar un sistema circular regenerativo de soporte vital para que las personas puedan obtener en el espacio, sin aportes desde la Tierra, alimentos, agua y oxígeno a partir de sus propios desechos, a saber, aire espirado, agua condensada, orina y residuos orgánicos.

Su director, Francesc Gòdia, me enseña las cinco unidades que lo componen. En todas ellas se controlan parámetros como la temperatura relativa, la humedad, la iluminación o la concentración de  $O_2$  y  $CO_2$ , y están colonizadas por microorganismos bacterianos que se encargan de funciones específicas. En dos de estos compartimentos se lleva a cabo una degradación microbiológica de residuos orgánicos para convertirlos en materia orgánica aprovechable. En un tercero se obtiene nitrato, un gran fertilizante, a partir del amonio de la orina. Un cuarto produce alimento y oxígeno, gracias a los nitratos y la captura de  $CO_2$ , mediante el uso de plantas superiores como la lechuga o la col rizada y de microorganismos, en este caso cianobacterias. En un quinto compartimento vive la «tripulación», que por el momento es un pequeño grupo de roedores que sirve para demostrar la buena funcionalidad de este experimento, largamente comprobada.

«Lo que empezó siendo una iniciativa científica y académica, se ha convertido en un proyecto profesional. Y aunque al principio las distintas unidades funcionaban por separado, ahora se trabaja en su conexión para crear un sistema en bucle, cerrado y autosuficiente. En 2035 nos gustaría poder dimensionar esta tecnología a escala humana», dice Gòdia. Y con ello, demostrar que se podría utilizar para sostener a un grupo de seres humanos fuera de la Tierra, algo mucho más complejo que mantener con vida a unas cuantas ratas. En concreto, se proyecta un sistema que pueda satisfacer las necesidades por persona y día y de forma autónoma de 1 kilo de oxígeno, 13 de agua de higiene, 2,8 de agua para beber, 2,7 de alimento y 15 kilojulios de energía, y que retire del ambiente 1,2 kilos de  $CO_2$ .

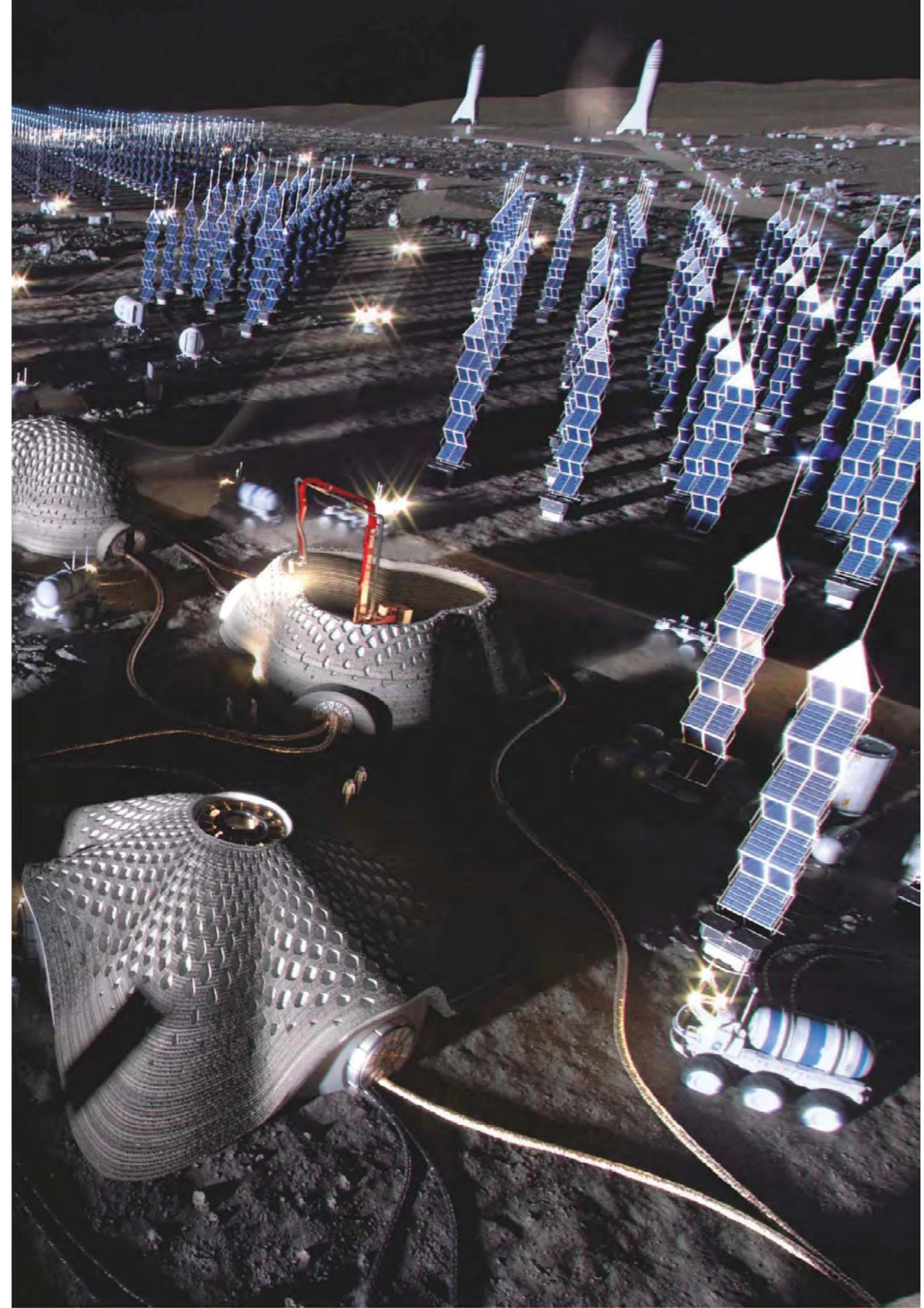
Algunas tecnologías desarrolladas en el marco de MELISSA sirven también para afrontar problemas mundanos. Un ejemplo de ello es una



## ENERGÍA SOLAR

El equipo de SOM prevé la capacidad de generación de energía solar mediante la instalación de una red de paneles solares.

En la Luna, al igual que en la Tierra, la luz solar puede aprovecharse como fuente de energía, y los proyectos arquitectónicos ya desarrollados asumen su utilidad en este sentido. Los paneles solares previstos por este estudio de arquitectura se colocarían en el cráter Shackleton, en el Polo Sur de la Luna, cuya ubicación recibe luz solar de manera casi continua, y se moverían para captarla de la manera más eficiente. Dichos paneles tendrían que orientarse verticalmente, mirando hacia el horizonte, y deberán estar equipados con una capacidad de rotación de 360 grados para seguir el movimiento del Sol durante el día lunar. Uno de los posibles problemas es que los que estén orientados hacia el Sol pueden proyectar sombras sobre los que se encuentran detrás, lo que reduciría la producción total de energía. Se han probado configuraciones hexagonales y diagonales para superar este reto.



unidad de reciclaje de aguas grises que ya se ha probado en lugares tan dispares como son la base de investigación científica franco-italiana Concordia, en la Antártida, o el torneo de tenis de Roland Garros.

A

**LO LARGO DE NUESTRO VIAJE** lunar hemos podido atisbar brevemente un escenario que, en opinión de la mayoría, se enmarca en un futuro no tan lejano. ¿Se imaginan observando aquella «magnífica desolación» —así describió el paisaje lunar el astronauta Buzz Aldrin en la célebre primera misión en la que un ser humano pisaba la Luna— desde una de estas viviendas modulares instaladas en el borde del cráter Shackleton? Le pido a Ignasi Ribas que me ayude a reconstruir imaginariamente ese panorama.

«Veríamos un Sol muy, muy bajo, de forma casi permanente, que iría moviéndose por el horizonte. En el cielo observaríamos la Tierra siempre en la misma ubicación, aunque, debido a la rotación, cada 12 horas nos mostraría una cara distinta y también sus distintas fases: llena, menguante, creciente y nueva, en el marco de un cielo estrellado libre de contaminación lumínica». Pero, terráqueos como somos, nuestro organismo seguiría palpitando a ritmo terrestre, y aunque en la Luna un día equivale a 28 días terrestres, para nuestro reloj vital las jornadas seguirían siendo de 24 horas. «En esos asentamientos lunares las personas deberán seguir los ciclos biológicos terrestres determinados por el ritmo circadiano, lo que requerirá que en esos hábitáculos se programen de forma artificial los ciclos de luz y de oscuridad», señala Ribas.

F

**ALTA MUCHO POR HACER** para que podamos ver la retransmisión del corte de cinta de un asentamiento lunar o para que se haga realidad el primer viaje tripulado a Marte. Pero más tarde o más temprano, dependiendo del grado de ambición de los países líderes, ese instinto exploratorio que para bien y para mal nos define como especie nos llevará a franquear físicamente las fronteras del espacio.

Por el momento, se estima que en las dos próximas décadas agencias espaciales y empresas privadas llevarán a cabo 400 misiones lunares, incluyendo vuelos orbitales, sondas y rovers. Con estos números en mente, y a sabiendas de las cantidades astronómicas de dinero que todo ello representa, la ESA lanzó el año pasado el programa Moonlight para consolidar un sistema de comunicación y navegación satelital que ofrezca a esas misiones a la Luna, y luego al planeta rojo, acceso a los servicios que hoy proporcionan en la Tierra sistemas como GPS o Galileo.

El panorama es emocionante. Y, como en las mejores novelas, esas prometidas misiones tripuladas nos darán tramas que, más allá del conocimiento y el progreso de la ciencia, mantendrán nuestra atención en torno a múltiples relatos centrados en las luchas de poder por la gobernanza espacial. En ausencia de un marco legal internacional que defina el uso y la explotación del espacio ultraterrestre —el Tratado del Espacio Exterior firmado en 1967 está obsoleto—, no es descabellado vaticinar que, al igual que hacemos aquí en la Tierra, también en la Luna las naciones se pelearán para apropiarse de los recursos lunares y de su derecho de extracción.

Otro tema importante que carece de regulación es la protección ambiental de una Luna en la que por ahora, y sin que ningún humano haya pasado allí más de unos pocos días —el récord lo tienen los astronautas de la misión Apollo 17 Gene Cernan y Harrison Schmitt, con una estancia de 75 horas, 13 minutos y 10 segundos—, ya hemos desperdigado más de 200 toneladas de basura de las que nadie se responsabiliza. La misma cantidad, por cierto, que en aras de ese impulso exploratorio tan nuestro dejan tras de sí las 80.000 personas que van al monte Everest cada año. ¿Podrá la primera propuesta de una Ley del Espacio de la UE, presentada el pasado mes de junio, poner un poco de orden a la ajetreada actividad espacial que se avecina?

Busco en el cielo a nuestro satélite y me viene a la mente aquella imagen emblemática de la película que Georges Méliès rodó en 1902, *Viaje a la Luna*. En ella, nuestra protagonista aparece con un cohete clavado en el ojo y expresión de fastidio. ¡Ya están aquííí!, parece asumir. □



En su esperado regreso a la Luna, los astronautas de Artemis III llevarán trajes extravehiculares que, por encargo de la NASA, están siendo desarrollados por la compañía Axiom Space. La firma de moda italiana Prada aporta su toque.

# LA FIEBRE

Texto de CHARLES FISHMAN

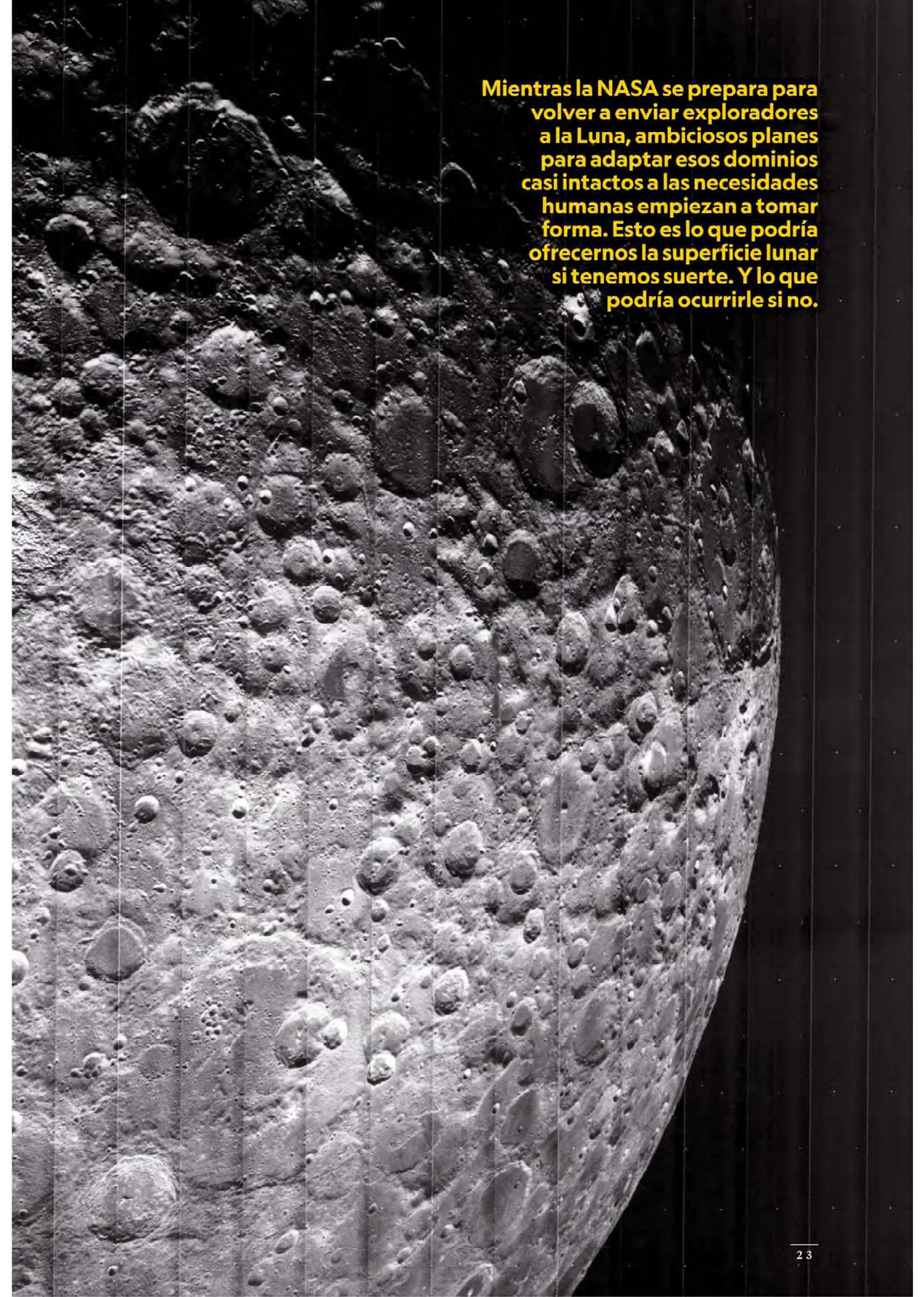
ENLACE AL CANAL

[x.com/byneontelegram](https://x.com/byneontelegram)  
O escanea el código QR:



byneon  
Neon147

byneon  
Neon147



**Mientras la NASA se prepara para volver a enviar exploradores a la Luna, ambiciosos planes para adaptar esos dominios casi intactos a las necesidades humanas empiezan a tomar forma. Esto es lo que podría ofrecernos la superficie lunar si tenemos suerte. Y lo que podría ocurrirle si no.**

# En plena conversación sobre el estado de la astrofísica moderna y la ciencia espacial, Joseph Silk dice algo que provoca una risita de incredulidad, hasta que queda patente que no está hablando en broma.

A sus 82 años, Silk es una figura central en el campo de la cosmología. Ya era astrofísico cuando el programa Apolo llegó a la Luna. Ha firmado descubrimientos fundacionales sobre el origen del universo y su misterio central, la materia oscura. No es precisamente un indocumentado dado a exageraciones.

Habla de uno de sus grandes intereses profesionales: el potencial nunca bien ponderado de nuestro propio satélite.

En unas décadas, vaticina, tendremos la capacidad de instalar en la superficie lunar un telescopio tan potente que podría fotografiar, pongamos por caso, un planeta del sistema TRAPPIST-1, a unos 40 años luz de distancia, con el mismo detalle con el que hoy observamos Marte. «Podremos ver los bosques, las cimas de las montañas, la luz arrancando destellos a los mares –dice–. Es increíble». Silk habla de usar un telescopio para tomar instantáneas de vida alienígena. «Si hubiese ciudades, veríamos las luces».

■ La inmensa mayoría de los 379 millones de kilómetros cuadrados de superficie lunar están totalmente intactos. La excepción son los puntos de alunizajes no tripulados y la mínima zona del ecuador lunar explorada durante las misiones Apolo.

FOTOS: NASA / JSC / ASU, NASA (PÁGINA ANTERIOR)





Pero esa magia no la obraría el telescopio, sino el lugar en el que se asentaría. La Luna resulta ser una ubicación única para avanzar en la ciencia espacial: mucho mejor que la Tierra, y hasta que el propio espacio, por dos razones: porque su cara oculta es radiosilenciosa (no le llegan las señales de radio terrestres) y porque prácticamente carece de atmósfera, lo que se traduce en una resolución casi ilimitada de los telescopios ópticos.

El telescopio que podría fotografiar formas de vida en el sistema TRAPPIST-1 sería en realidad un conjunto circular de una treintena de telescopios interconectados que crearía un único espejo virtual de 19 kilómetros de diámetro. El aspecto tecnológico no presenta obstáculos. Ya hay estudios que describen tanto su diseño como su funcionamiento. El proyecto suma varias versiones imaginadas, entre ellas la que instala el telescopio en el interior de un cráter, y se ha ganado un apodo: el hipertelescopio lunar.

Solo le falta una cosa: que en la Luna exista la infraestructura necesaria para hacerlo realidad. Para desplegar un hipertelescopio harán falta cohetes que transporten cada uno de los telescopios individuales que lo componen. Para aterrizar con seguridad, esos cohetes necesitarán plataformas de alunizaje y una flota de robots que descarguen lo transportado. Cada uno de los telescopios tendrá que estar ubicado con una precisión absoluta. Para que funcione, el hipertelescopio requerirá un suministro continuo de electricidad *in situ*, incluso durante los 14 días que dura la noche lunar, y un monumental ancho de banda que habilite una vía de comunicaciones para hacer llegar sus extraordinarias imágenes a la Tierra. Requerirá mantenimiento y reparaciones, quizás a cargo de astronautas destacados en la Luna.

Y, pese al colosal calibre científico y metafísico que poseería un telescopio capaz de tomar imágenes de planetas a 380 billones de kilómetros de distancia, lo cierto es que no vamos a construir e instalar semejante infraestructura solamente para operar un telescopio. De hecho, es justo lo contrario.

El hipertelescopio, así como algún que otro proyecto científico igualmente impresionante, seguramente acabará siendo el fruto secundario de la nueva carrera espacial, que hoy cobra velocidad con el objetivo de establecer por fin en la Luna una colonia humana permanente y operativa.

Hoy en día hay más misiones en vías de alunizar en los próximos seis años que en las últimas seis décadas. La NASA va a enviar astronautas a la Luna en el marco del programa Artemis, primero con un sobrevuelo lunar con la misión Artemis II, prevista para 2026, y después con el alunizaje de seres humanos, de momento previsto para mediados de 2027. La agencia espacial china tiene previsto llevar a la Luna a sus primeros astronautas en 2030. La India, que en 2023 alunizó su primer módulo, está diseñando una misión para recoger y traer suelo lunar. Y estos son solo algunos de los Estados con ambiciones lunares. A todo ello hay que sumar las misiones independientes de una decena de empresas privadas que pretenden enviar sus robots a la Luna, como fue el caso de la nave de una empresa japonesa que se estrelló en la superficie lunar el pasado mes de junio. Mientras tanto, y con los pies en la Tierra, miles de personas trabajan cada día para sentar las bases del nuevo futuro de la Luna, diseñando plataformas de alunizaje, robots de construcción, hábitats humanos, una red eléctrica, satélites de comunicaciones y hasta una explotación minera robotizada.

Para tratar de imaginar el futuro de la Luna, hablé con decenas de personas inmersas en el desarrollo lunar: directores ejecutivos e ingenieros, economistas y científicos, trabajadores de empresas con 100.000 empleados e integrantes de *start-ups* respaldadas por capital riesgo con apenas una docena de personas en plantilla. Su ambición y su energía son desbordantes, incluso inspiradoras, tanto para el desarrollo comercial como para el descubrimiento científico. El éxito, dicen, dependerá del dinero que se invierta, de la determinación con la que se trabaje y de las sorpresas que nos depare la Luna cuando

volvamos a explorarla. A grandes rasgos, hay dos caminos posibles.

Si todo marcha conforme a lo planeado, a finales de este siglo la Luna será sede de una dinámica economía que generará puestos de trabajo, beneficios y recursos para llevar a cabo proyectos científicos tan ambiciosos como el del hipertelescopio.

Pero si hay una lección que la historia nos ha dejado más que clara, es que la ocupación y el desarrollo de territorios rara vez sale según lo previsto. Es posible que, dentro de 50 años, de la optimista visión actual no quede más que un mísero destacamento semiabandonado, mantenido a regañadientes como si de una tosca y remota parada de postas para las diligencias del Lejano Oeste se tratase. A falta de unas normativas de conservación adecuadas, la Luna podría acabar siendo el desguace de los sueños de los ultramillonarios, con robots, vehículos exploradores y módulos de alunizaje abandonados de cualquier manera, olvidados por un mundo que habrá dado carpetazo al hipnotizado frenesí lunar de mediados del siglo XXI.

Ahora mismo, no cabe la menor duda de que vivimos el momento más emocionante y creativo de la astronomía desde la década de 1960 y el programa Apollo, lleno de promesas y de riesgos. La Luna es, una vez más, la próxima frontera espacial.

## E

**EL CAMINO HACIA** una próspera economía lunar se asentará sobre un elemento: el polvo. El polvo lunar, denominado regolito.

El regolito lo invade todo: tapiza la superficie hasta el horizonte en todas direcciones. Y no es precisamente un dechado de virtudes: de color gris apagado, arenoso, cortante, adherente, electrostático, abrasivo, dañino para los equipos y peligroso para las personas. También es el recurso del que dependerá todo lo demás. Llevar equipos y suministros a la Luna sale tan caro –transportar un litro

**Con 84 misiones  
anunciadas  
de aquí a 2030,  
no cabe duda  
de que la Luna  
va a ser un  
lugar muy  
concurrido.**

de agua en cohete desde la Tierra a la Luna costará entre 25.000 y más de un millón de dólares– que la única forma económicamente viable de construir en nuestro satélite será utilizar los materiales allí presentes.

Pese a todos sus defectos, el regolito está repleto de todo lo que cabría desear para establecer una base lunar: aluminio, hierro, titanio, silicio, oxígeno. Si se calienta a 1.600 °C para que se funda, se pueden extraer sus componentes y fabricar cosas con ellos.

El regolito fundido, por fortuna, puede servir de base para construir las plataformas de alunizaje, condición indispensable de cualquier avanzada lunar. La NASA planea alunizar humanos con el módulo Starship HLS de SpaceX, que también se usará para transportar mercancías. Con 50 metros de altura, transporta 90 toneladas y aluniza de cola. Si volcase en la maniobra, sería una catástrofe. El primer alunizaje de las misiones Artemis tendrá que conformarse con encontrar un lugar plano y seguro, pero las misiones futuras se verían muy favorecidas por una plataforma de alunizaje en condiciones.





■ En 1972, durante la misión Apolo 17, los astronautas pasaron un mal rato por culpa del polvo lunar. Cortante y abrasivo, el material es un incordio para exploradores e ingenieros, que a pesar de ello ven en él un recurso fundamental.

FOTO: NASA/JSC/ASU

Varias empresas trabajan ya en su diseño. Están creando prototipos de robots capaces de arrastrarse por la superficie lunar, nivelarla y, a continuación, recoger regolito, fundirlo, formar bloques de pavimentación o superficies sólidas y colocarlos y sellarlos entre sí para formar una plataforma de alunizaje lisa y sin juntas.

Sam Ximenes, veterano de los gigantes aeroespaciales Grumman y L3, es el fundador y director ejecutivo de Astroport Space Technologies, una *start-up* con sede en San Antonio (Texas) que pretende construir puertos lunares y luego explotarlos. Astroport quiere construir plataformas de alunizaje, carreteras para conectarlas con las bases cercanas, almacenes para estibar la mercancía descargada... y cobrar por todos esos servicios. Ximenes dice que el robot de pavimentación de su empresa, el Lunatron, está en fase de ensayos.

Astroport está construyendo una explanada de pruebas de seis hectáreas en Midland (Texas) y llenándola de regolito lunar simulado. «Esta es la base –dice Ximenes–. Podemos hacer negocio con el regolito fundido».

Y ahí estriba la diferencia de esta carrera lunar. Una cosa es ir a algún lugar –la Luna, Marte–, aterrizar y tomar muestras. Y otra muy distinta es llegar con la intención de crear un futuro autosostenible. Lo primero es una expedición financiada por un Estado. Lo segundo es un sector económico que genera valor y beneficios y que se articula sobre sí mismo. Las empresas que diseñan los cohetes necesitan a las que proyectan las plataformas de alunizaje; las empresas que proyectan las plataformas de alunizaje necesitan a las que diseñan los vehículos exploradores... y también a las que diseñan los cohetes. Y unas y otras necesitan a las empresas que solucionan el problema del suministro de energía. Todos se necesitan mutuamente. Necesitan a los clientes, necesitan a los proveedores. Nada tiene sentido sin todo lo demás.

## E

**EN LA TIERRA**, esta economía lunar ya ha empezado a tejerse. Astroport colabora con otra empresa de tecnología lunar, Astrolab, para fabricar el *rover* que moverá la pavimentadora Lunatron. Astrolab está diseñando y construyendo un camión lunar compacto llamado FLEX, con una capacidad de carga de 900 kilos, y tiene una reserva para enviarlo en una de las primeras misiones de transporte de carga de SpaceX.

La idea de una economía lunar basada en el regolito es tan potente que una de las mayores empresas de la nueva economía espacial, la Blue Origin de Jeff Bezos, ha creado una división entera dedicada en exclusiva a convertir el regolito lunar en productos útiles *in situ*.

## Desde 2018, 15 misiones se han propuesto alunizar. Incluso con tecnología del siglo XXI, solo seis lo han conseguido.

Su director sénior, Vlada Stamenković, un planetólogo que ha trabajado en el MIT y en el Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA, explica que la labor del departamento, integrado por 60 personas, consiste en «aprender a hacer casi todo de la nada».

Su primer objetivo es la electricidad, el elemento más importante de la infraestructura lunar después de los propios cohetes. Desde 2021, dice Blue Origin, el grupo ha estado utilizando regolito lunar simulado para fabricar cables y células fotovoltaicas, valiéndose exclusivamente de la energía solar y la tecnología robótica.

El primer paso fue crear ese regolito lunar simulado, no solo replicando las proporciones exactas de los minerales que lo componen, sino también logrando una mezcla realista de granulados y texturas a partir de muestras tomadas en las misiones Apolo. La empresa desarrolló un proceso alimentado con energía solar que transforma el regolito en un líquido fundido, denso y brillante. Sin dar demasiados detalles, afirma haber

aislado silicio, hierro y aluminio, y añade que el sistema robótico que ha diseñado ya ha transformado esas materias primas en células fotovoltaicas operativas. Blue Origin ha publicado una imagen de una célula fotovoltaica circular del tamaño de la palma de la mano con el logotipo de la empresa: una pluma.

La empresa llama al proceso Blue Alchemist y declara sin un ápice de modestia que es «revolucionario» y que «llevará electricidad ilimitada y cables de transmisión a cualquier punto de la superficie de la Luna».

Además el proceso genera oxígeno como subproducto (como casi cualquier proceso que funda regolito, porque casi la mitad de su peso es oxígeno). El oxígeno, huelga decirlo, puede proporcionar aire respirable a los astronautas. Y, lo que es aún más significativo en términos económicos, puede usarse como componente crítico del combustible de los cohetes, para que reposten las naves espaciales que han alunizado y necesitan volver a la Tierra, o entrar en órbita lunar, o ir más allá.

Los detalles económicos no se conocen. ¿Cuál es la inversión de capital de Blue Origin? ¿Cuánto costará llevar a cabo ese proceso en la Luna? ¿Cuánto se puede cobrar por la electricidad lunar? Pero sí se sabe una cosa: la empresa de Bezos no es una organización benéfica; pretende ganar dinero con el regolito. «Esto no es un juego», dice Stamenković.

Los paneles solares fabricados en la Luna serán cruciales para mantener en funcionamiento los robots y los hábitats de cualquier economía lunar, pero también podrían enviar energía a la Tierra. Con la infraestructura adecuada, dicen los ingenieros, será posible recoger regolito en la Luna, fundirlo para formar ladrillos de materia prima y lanzarlos con una catapulta –un cañón de riel– que los pondrá en órbita. Una vez allí, los ladrillos serían recogidos y remolcados a una fábrica espacial que podría convertir el regolito –repleto de silicio y aluminio– en inmensos paneles solares, una megaversión de Blue Alchemist para su despliegue en la órbita terrestre.

Dado que las horas nocturnas y los cielos nublados dejan de ser un problema, los

conjuntos orbitales de paneles solares son siete veces más productivos que los terrestres; podrían generar electricidad esencialmente ilimitada, con un impacto climático nulo, y eso nos evitaría tener que construir inmensos parques solares o centrales nucleares terrestres. Esa electricidad puede enviarse por microondas a la Tierra sin ningún problema de seguridad y suministrar energía, incluso a lugares hoy desabastecidos, con más facilidad que construyendo las infraestructuras eléctricas típicas.

Y se podría ganar dinero haciéndolo. Todo el proceso podría estar supervisado por un reducido contingente humano que trabajase en la fábrica orbital y vigilase que todo fuese bien en la superficie lunar. Otras empresas podrían embolsarse un buen dinero como proveedores de esa nueva Eléctrica Lunar S.A.

Pensemos por ejemplo en la inmensa infraestructura petrolífera de la costa estadounidense del golfo de México. Allí 50 plataformas marinas operan en aguas profundas, atendidas por un miniejército de operarios que van y vienen en escuadrones de helicópteros, abastecidos por flotas de barcos, y extraen el 14 por ciento del petróleo que produce Estados Unidos. Si la Luna se desarrolla con imaginación, persistencia y dinero, hacia 2100 podría parecerse al Golfo: un entorno tan ajetreado como remoto en el que se lleva a cabo un trabajo importante y exigente a cambio de enormes beneficios.

## D

**DE PIE SOBRE LA LUNA.** su superficie es tan majestuosa que sobrecoge. Durante el día refulge como una ladera nevada en una soleada mañana de invierno. Es un paisaje de llanuras y crestas, montañas y valles, y cráteres. Todo es polvo gris. Sin una atmósfera perceptible y sin la acción del viento, la lluvia y la vegetación, la geografía se aprecia vívida y nítida. La vista alcanza una gran distancia. La Tierra flota en el negro cielo

lunar, brillante y sorprendentemente grande, cuatro veces mayor de lo que nos parece la Luna desde la Tierra.

Lo que no se ve es la sustancia de la que bebe toda la biología terrestre: el agua. Sin ella, esta visión de una floreciente economía lunar en 2100 se torna más borrosa; la promesa de energía ilimitada para la Tierra y un telescopio para escudriñar mundos extrasolares empieza a antojarse menos realista.

Sabemos que hay agua en la Luna. La detectó un instrumento de la NASA que volaba a bordo de la sonda india Chandrayaan-1 en 2008 y confirmó su presencia una segunda sonda de la NASA al año siguiente. Aquellos primeros e ilusionantes datos sugerían que podría haber cantidades ingentes de agua en los cráteres de los polos Norte y Sur de la Luna. El actual frenesí de actividad lunar obedece, en parte, al entusiasmo generado por aquel descubrimiento.

La importancia de disponer de agua en la Luna no requiere explicación: evidentemente, transportar cientos de litros desde la Tierra, incluso para unas bases modestas, costaría millones de dólares. Pero su verdadero potencial es que puede separarse fácilmente en hidrógeno y oxígeno. Si la Luna alberga agua que pueda aprovecharse, habrá oxígeno para respirar y, lo que es más importante, hidrógeno y oxígeno con los que fabricar combustible para cohetes.

Si dentro de los fríos cráteres permanentemente en sombra del Polo Sur hay hielo que se pueda acopiar y purificar para obtener agua, el proceso iría en la misma línea del regolito: parece sencillo, pero es un recurso que lo hace todo posible.

Aún no se ha logrado alunizar una sonda de prospección en un cráter del Polo Sur para averiguar cuánta agua hay cerca de la superficie, y en qué estado. Pero las sondas orbitales que exploran la superficie lunar desde la Chandrayaan-1 en 2008 –y otros análisis– sugieren cada vez con más convicción que dar por descontada la presencia de agua de fácil obtención es ilusorio, cuando no directamente un ejercicio de ciencia ficción.

«Queda descartado que haya grandes bloques o acumulaciones del tamaño de un iceberg», dice el planetólogo Kevin Cannon, uno de los mayores expertos en agua lunar y que hoy trabaja en la *start-up* espacial Ethos.

Cannon afirma que desde 2010 el entusiasmo por el agua lunar ha ido demasiado lejos; es comprensible, dado su valor, pero no concuerda con la filosofía de acumulación progresiva de conocimientos en la que se basa la ciencia. Lo que esta década de análisis continuos demuestra es que, haya el agua que haya en los cráteres polares, podría estar más bien en forma de escarcha –gránulos congelados mezclados con el polvo lunar, algo así como los trocitos de conchas marinas que se mezclan con la arena de la playa– y a bastante profundidad. Todo ello mucho menos accesible de lo que algunos esperaban. En el mejor de los casos, parece que el regolito realmente «húmedo» podría contener un 5 por ciento de su peso en agua. Para obtener 375 litros de agua habría que excavar y procesar 7,5 toneladas de regolito.

En la práctica, extraer el agua de los cráteres en sombra permanente del Polo Sur será extremadamente difícil. Están en una ubicación a la que no llega la comunicación por radio, con paredes escarpadas, fondos accidentados y a unas temperaturas interiores de 20 kelvin (-253 °C). Es imposible que los astronautas exploren con seguridad, pero también que lleguen los robots, al menos de momento. Y todo eso antes incluso de plantearse lo que implicaría extraer y transportar esa agua hasta las bases humanas.

Una economía lunar próspera dependerá del agua tanto como del regolito. Bien podría ser el elemento en el que se cifre el futuro lunar. La cuestión del agua está en la agenda de todas las empresas y agencias espaciales. Todas las misiones lunares tripuladas tienen como objetivo el Polo Sur, empezando por Artemis III, el primer proyecto de la NASA desde 1972 para alunizar humanos. La mayoría de las misiones no tripuladas para probar *rovers*, paneles solares y robots también tienen como objetivo el Polo Sur. Muchas

buscarán pruebas de la existencia de agua como parte de su trabajo. Que la encuentren o no será un poderoso indicador del futuro lunar que nos espera.

## E

**EN MARZO DE 1966**, tres años antes de que Neil Armstrong y Buzz Aldrin pisasen la Luna, la NASA recibió un alarmante informe de los ingenieros y científicos de la Grumman Aircraft Engineering Corporation, que estaba construyendo el módulo lunar del Apolo, y de sus colegas de Arthur D. Little, una consultora de Cambridge (Massachusetts). A aquellos ingenieros se les había formulado una pregunta sencilla: ¿hasta qué punto contaminarían la Luna las misiones Apolo por el simple hecho de alunizar?

El análisis científico que enviaron como respuesta contiene una sorprendente revelación nada más empezar sus 206 páginas. Resulta que la Luna posee una atmósfera natural. Es muy poco densa, pero la gravedad lunar ejerce suficiente fuerza para atraer y retener un tenue velo de moléculas de gas.

El módulo lunar del Apolo 11, cuando se posase en la Base Tranquilidad sobre un penacho de gases de escape, llevaría a la Luna casi tantas moléculas de gas como las que ya contenía su atmósfera.

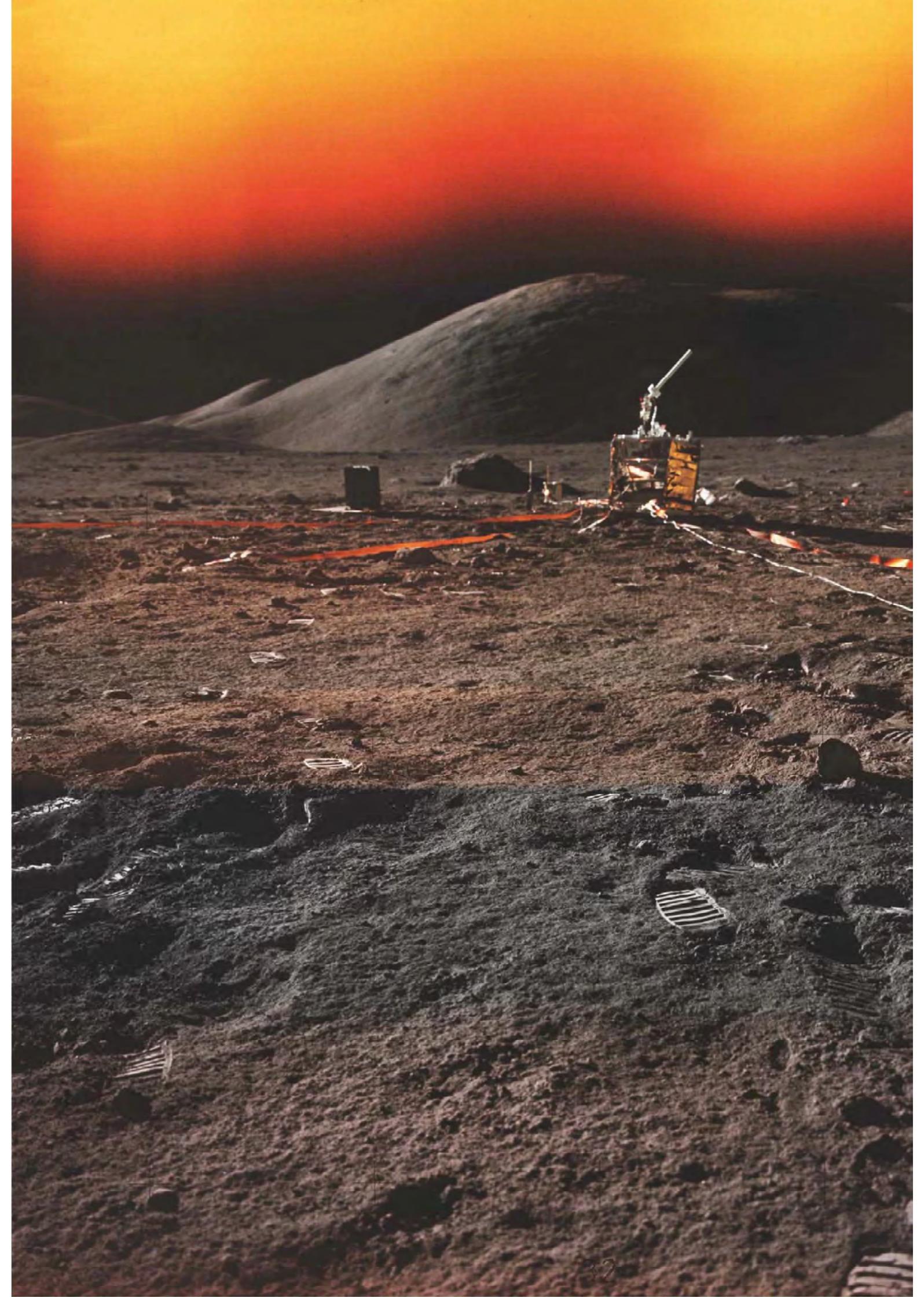
De hecho, cada vez que enviásemos un módulo lunar estaríamos llevando a la Luna una «nueva» atmósfera de moléculas de gas procedentes del penacho de escape del cohete de alunizaje, a las que se sumarían los gases evacuados de la cabina y hasta las ventosidades salidas de los trajes espaciales de los astronautas.

En otras palabras, el propio acto de explorar la Luna la contamina. Nuestro satélite tiene 37,9 millones de kilómetros cuadrados de superficie, es decir, aproximadamente el doble del área de Estados Unidos y Canadá. Hoy, toda esa superficie está vacía y prácticamente intacta. Como sabemos por nuestra



■  
Los desechos de futuras misiones se sumarán a dos pelotas de golf, una jabalina, varias cámaras, una fotografía de la familia del astronauta Charles Duke (abajo) y muchos otros objetos de fabricación humana abandonados en la Luna.

PHOTOS: NASA / JSC / ASU (AMBAS)





■ Al igual que las huellas dejadas por los astronautas, los restos de las misiones, como esta estación experimental del Apolo 17, podrían permanecer en la Luna millones de años.

FOTO: NASA/JSC/ASU

experiencia en la Tierra, ahora es el momento de planificar su protección como recurso natural si no queremos ver frustrados nuestros planes científicos más ambiciosos.

Y eso es justo lo que inquieta a Nivedita Mahesh. Pero la contaminación que más preocupa a esta astrofísica del Caltech no es la típica. Mahesh estudia la formación de estrellas en los primeros momentos del universo. «Es una época que llamamos el amanecer cósmico –dice–, cuando se encendieron las primeras estrellas».

Para comprender cómo se formaron las primeras estrellas, los científicos deben escuchar las señales enviadas por el universo cuando solo tenía 100 o 200 millones de años de edad, el equivalente a comprender la vida de una persona centenaria retrotrayéndonos a cuando era un bebé de nueve meses. En astrofísica, la única manera de escuchar señales tan antiguas pasa por utilizar radiotelescopios avanzados. Desde la Tierra es imposible. Entre la atmósfera y nuestras propias emisiones electromagnéticas, hay demasiado ruido. El lugar más silencioso del sistema solar resulta ser la cara oculta de la Luna.

Mahesh forma parte de un grupo de científicos e ingenieros que trabajan en el diseño de FarView, un radiotelescopio extraordinario que explotaría el silencio radioeléctrico de la Luna con 100.000 antenas individuales interconectadas para escuchar el nacimiento del universo. El proyecto pretende basarse en la tecnología que está desarrollando el sector comercial: FarView se autoconstruiría en la Luna con *rovers* robóticos que fundirían el regolito y extruirían los cables de las antenas.

Como todos sus colegas de las empresas extractivas y aeroespaciales, Mahesh habla con entusiasmo e ímpetu, transmitiendo incluso cierta sensación de inevitabilidad. Pero la emergencia de una pujante economía comercial en la Luna es simultáneamente positiva y negativa para la ciencia. Podría sentar las bases de FarView... o cerrarle las puertas. Nokia envió un *rover* a la Luna a principios de 2025 para probar las transmisiones de telefonía móvil sobre el satélite. «Me parece estupendo –dice Mahesh–. Mejorar las comunicaciones es fundamental». Pero este servicio podría interferir con el estudio de esas débiles señales de radio primordiales si no se apantalla como es debido. Existe el peligro, advierte Mahesh, de que las transmisiones de radio de las operaciones lunares rutinarias «estropeen o contaminen el entorno radiosilencioso». Y ahora es el momento de salvaguardar ese silencio. Mahesh habla por experiencia. Los satélites Starlink versión 2 de Elon Musk, lanzados a la órbita terrestre en 2023 para ofrecer internet desde el espacio, ya impiden escuchar algunas señales del espacio, «cegando» literalmente algunos radiotelescopios cruciales situados en la Tierra.

Por ahora no existen acuerdos internacionales vinculantes para conservar la Luna. Pero empiezan a germinar iniciativas novedosas para empezar a salvaguardar nuestro satélite de este tipo de degradación,

tanto desde la ciencia como desde la cultura. El planetólogo británico Ian Crawford ha propuesto la firma de un acuerdo internacional inmediato para que el Polo Norte lunar se declare zona protegida de la actividad humana a perpetuidad. Un parque natural en versión lunar, para que podamos retornar a una región virgen si hiciese falta por motivos científicos o, por qué no, espirituales.

También se ha sugerido establecer una serie de normas internacionales que obliguen a que cualquier intervención llevada a cabo en la Luna sea imperceptible a simple vista desde la Tierra, de modo que nadie mire al cielo en plena noche y vea los potentes focos de una obra o los pilotos rojos intermitentes de una mina.

Tal y como señala el filósofo y especialista en ética de la exploración espacial Brian Green, de la Universidad de Santa Clara, «todo el que haya vivido en la Tierra y tenga capacidad visual ha visto la Luna. Capta tu atención desde que tienes edad para mirarla hasta el momento de tu muerte. No se puede jugar con algo así». La Luna también es sagrada para muchas culturas, actuales e históricas. En 2024, los diné de la Nación Navajo se opusieron a la misión de una empresa privada que pretendía depositar cenizas humanas en la Luna, pues lo entendían como una profanación. (Al final el módulo de alunizaje no llegó a su destino).

Ahora es el momento de establecer esas protecciones, dice Crawford, porque no se perjudican los intereses comerciales de nadie. En las reuniones de planificación de futuras misiones a las que asiste, Mahesh aboga ya por implantar severos controles de silencio radioeléctrico. Y hay en marcha, aunque a ritmo pausado, conversaciones orquestadas por la ONU sobre temas relacionados, como un sistema de control de tráfico aéreo lunar para que todo el mundo sepa por dónde vuelan los demás, la asignación de frecuencias de radio y el establecimiento de normas para rescatar astronautas en peligro.

La presión de la actividad lunar nos hará avanzar. Los Estados tienen en su haber

siglos de normativas y regulaciones sobre la gestión de los recursos oceánicos; la gestión de la Luna bien podría ir en esa línea. Habrá quien crea que la distancia alienta la impunidad. Pero en un futuro imaginable, cualquier empresa, Estado o institución científica que opere en nuestro satélite lo hará desde la Tierra, de donde emana la potestad para hacer cumplir la ley y desde donde pueden imponerse las sanciones.

En alta mar impera una norma tácita: es importante estar. Estados Unidos cuenta con 11 grupos de ataque con portaaviones para los siete mares; la Armada china ha ido añadiendo naves sin cesar en la última década y hoy supera a la estadounidense en número de buques de guerra. El mismo principio se impondrá sin ambages en la Luna, hoy desierta. Esta carrera lunar tiene un componente de aventura, de oportunidad, de ciencia... pero también de presencia. El actor que domine la actividad sobre la Luna dictará las normas y escribirá su futuro.



**VIVIR Y TRABAJAR EN LA LUNA** exigirá la misma combinación de arrogancia y humildad que en su día requirieron otras empresas humanas que en un principio parecían descabelladas: el ferrocarril transcontinental, el viaje a los polos, la invención de internet y, por supuesto, los primeros alunizajes.

Sin duda estamos subestimando las consecuencias, como nos ocurrió con todos y cada uno de aquellos proyectos. En realidad, la Luna va a implicar más dificultades de lo esperado. Desde 2018, 15 misiones de distintos países y empresas se han propuesto alunizar. De ellas, solo seis lo han conseguido. Una tasa de fracaso del 60 por ciento, incluso con tecnología del siglo XXI.

Una empresa pionera, Intuitive Machines, se convirtió en la primera entidad privada en llevar a cabo el alunizaje controlado de una nave espacial sin estrellarla, algo de lo

que solo pueden presumir cinco Estados. Intuitive Machines lo ha logrado dos veces, hazaña donde las haya para una empresa modesta. Sin embargo, y aunque los dos módulos sobrevivieron al alunizaje, no pudieron llevar a cabo sus misiones por una sencilla razón de la que convendría tomar nota: al posarse sobre el accidentado terreno cercano al Polo Sur, tanto la primera como la segunda nave volcaron y quedaron prácticamente inservibles. Años de trabajo y decenas de millones de dólares de inversión perdidos casi por completo.

Si la Luna resulta ser un hueso más duro de roer de lo que esperan empresas como Intuitive Machines, los inversores podrían perder la paciencia. Si la promesa del agua se desvanece, también podría evaporarse el entusiasmo de los inversores. Podríamos pasarnos dos décadas intentando hacer posible la vida allí, tratando de poner en marcha una economía lunar autosuficiente, para que al final todo quede en agua de borrajas y dejemos una Luna sembrada de restos de potenciales bases lunares. Al fin y al cabo, así es como quedan muchas obras en la Tierra, con la ferralla asomando del hormigón de muros inacabados. Solo que esos restos permanecerían en la Luna durante millones de años, dando fe de nuestros fracasos.

Con 84 misiones nacionales y comerciales anunciadas de aquí a 2030, no cabe duda de que la Luna va a ser un lugar muy concurrido. La economía impulsará en última instancia lo que ocurra después. Pero llama la atención una motivación diferente que expresan por igual empresarios, ingenieros, científicos y astrofísicos como Joseph Silk y Nivedita Mahesh: el asombro.

La fascinación y el aprecio que nos inspira la Luna nacen del asombro. Es lo que sentimos cuando salimos a la calle una tarde de verano y vemos aparecer en el horizonte la luna llena baja, enorme y refulgente. O cuando no podemos dejar de mirar una fotografía de la superficie lunar. Es lo que percibimos en las voces de los astronautas del Apolo cuando pisaron su superficie.

**Cada vez que  
alunizamos,  
llevamos a  
nuestro satélite  
una «nueva»  
atmósfera de  
moléculas  
de gas.**

El asombro propulsa la nueva era lunar tanto como el oportunismo.

FarView puede parecer ciencia ficción, como también el hipertelescopio capaz de atisbar vida extraterrestre. Pero no más de lo que en su día lo parecieron el programa Apolo, internet o el Proyecto Manhattan. Mahesh confía en que el equipo de FarView empiece a ensayar con antenas de radio en la Luna el año que viene, y con conjuntos de ellas antes de 2030. Para instalar 100.000 antenas, «el primer paso es poner una», dice.

Comprender la astrofísica de un universo que tiene 13.800 millones de años es para esta científica un urgentísimo tema pendiente, impulsado tanto por la oportunidad del momento presente como por el asombro que inspira. ¿Cómo no explicar los orígenes del universo si tenemos la capacidad de hacerlo? «Debemos completar el puzle –declara Mahesh–. ¿Vamos a quedarnos sin saber de dónde salió la primera estrella? Somos polvo de estrellas. ¿No queremos saber de dónde venimos? Pues esta es la única manera de descubrirlo». □

FOTOGRAFÍAS DE  
SERGIY BARCHUK

¿Es el rosa el nuevo verde? En Estados Unidos, la venta de cogollos de marihuana -las flores fumables de la planta de cannabis- ha disminuido en el mercado legal, mientras que las ventas de productos elaborados a partir del aceite extraído de la planta de cannabis, como las gominolas, se han disparado.



# LAS POTENTES PROMESAS (Y AMENAZAS) DEL CANNABIS MODERNO

Actualmente la marihuana es más popular y más poderosa que nunca. Y su consumo y su estudio están dando lugar a descubrimientos sorprendentes. Abordamos algunas de las preguntas más cruciales que plantea la hierba de hoy, más fuerte, más extraña y más accesible que antes.



¿Cómo es un viaje  
psicotrópico salido  
del laboratorio?

PÁGINA 40



¿Puede la «marihuana  
de diseño» acabar  
con el dolor crónico?

PÁGINA 48



¿Por qué la marihuana  
superpotente enferma  
a algunas personas?

PÁGINA 54

## ADEMÁS:

Cómo el vapeador venció al porro, por qué la marihuana sintética conlleva riesgos y qué efectos tiene el cannabis de alta potencia sobre el cerebro adolescente.

# CÓMO LOS CIENTÍFICOS DEL CANNABIS CREAN UNOS PRODUCTOS MÁS POTENTES

ENLACE AL CANAL

[www.instagram.com/byneontelegram](https://www.instagram.com/byneontelegram)

o escanea el código QR:



**Los fabricantes están recombinando la marihuana para producir concentrados tan potentes que llevan a los consumidores a nuevos territorios psicotrópicos fuera del alcance de las presentaciones tradicionales.**

**TEXTO DE  
ROSECRANS  
BALDWIN**



Los laboratorios de extracción separan la esencia oleosa del cannabis y la convierten en concentrados muy potentes de texturas variadas. Tanto la salsa viva como los diamantes triturados que se muestran en la imagen, artículos del productor de cannabis californiano Raw Garden, pueden «dabearse», un tipo de consumo que consiste en calentar un concentrado e inhalar sus vapores.

E

EN UN LABORATORIO de paredes blancas en la inmensa planta de fabricación de la productora californiana de cannabis Raw Garden, el aroma a marihuana es inconfundible, aunque no hay a la vista ni plantas ni cogollos. Técnicos ataviados con batas de laboratorio supervisan máquinas del tamaño de un armario que traquetean al refinar litros y más litros de un aceite de color ámbar y olor a cannabis. En una sala a la vuelta de la esquina, cerca de una fila de hornos de vacío, ese mismo aceite extraído se ha utilizado para elaborar una serie de brebajes colocados en bandejas, frascos y recipientes de Pyrex sobre mesas de acero.

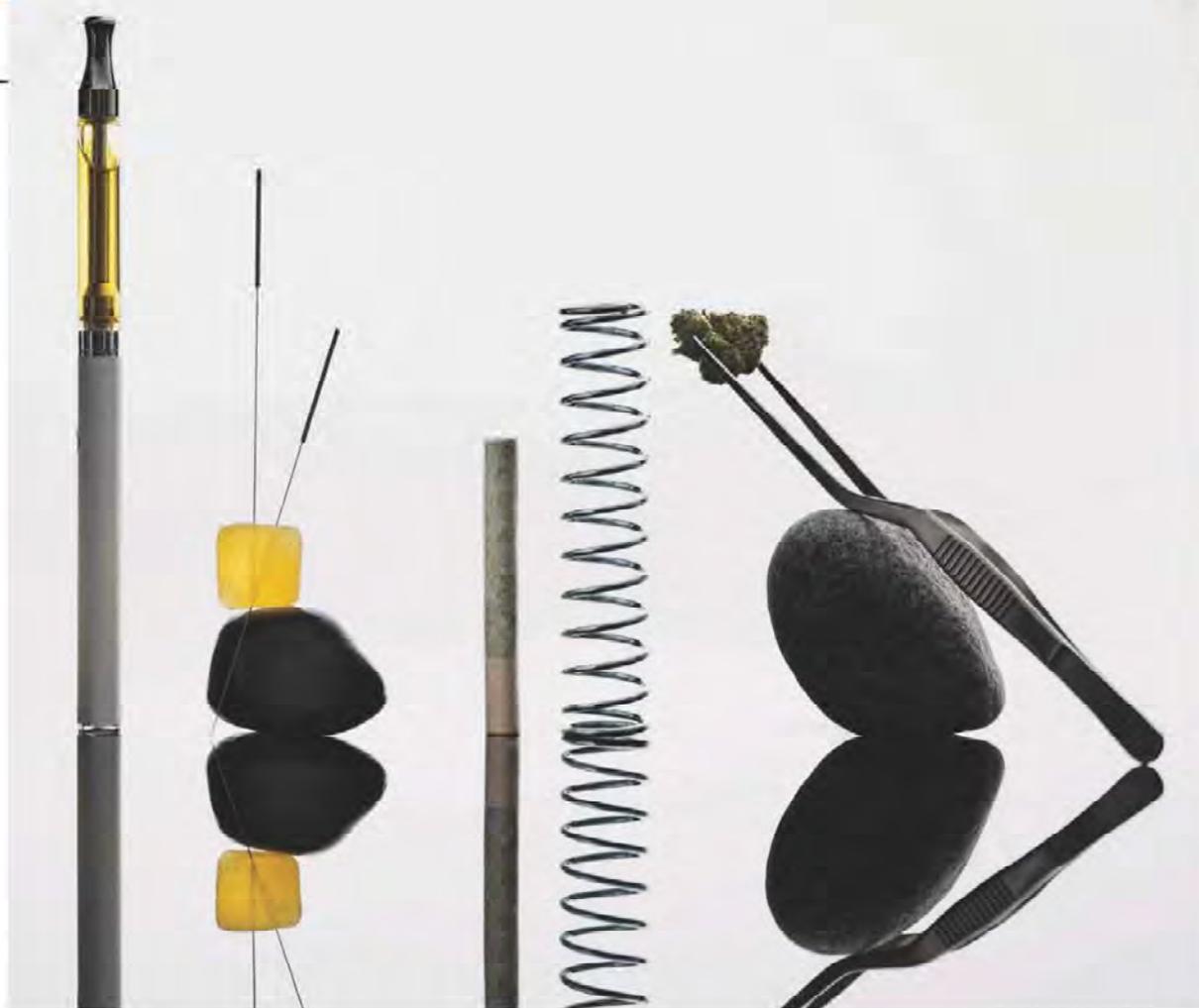
Van desde semilíquidos viscosos que rezuman como la savia de un árbol hasta pastas cremosas parecidas a la mantequilla de cacahuete. Unas cuantas bandejas contienen esquiras doradas que pasarían por ser vidrio, e incluso hay una sustancia cristalizada que perfectamente se confundiría con miel añeja. En conjunto, la gama de productos ilustra un cambio drástico en la manera en que los estadounidenses consumen cannabis: año tras año, fuman proporcionalmente menos, y en lugar de eso consumen más productos elaborados con sus extractos oleosos. Hablamos de formatos comestibles como gominolas y bebidas, pero también de nuevos tipos de concentrados muy potentes que no se fuman, sino que se vapean o se «dabean» (del inglés *dabbing*, que

consiste en vaporizar a gran velocidad gotas de extracto de cannabis muy concentrado). Y estos concentrados están alterando radicalmente la experiencia psicoactiva.

Al igual que otras empresas modernas de cannabis, Raw Garden sigue cultivando marihuana, pero básicamente como una materia prima destinada a procesarse y convertirse en una pasta que, en teoría, proporciona experiencias más intensas. Si al pensar en el núcleo de la industria del cannabis de Estados Unidos, valorada en unos 32.000 millones de dólares, uno visualiza un campo o una planta interior de cultivo, se equivoca de pleno: cada vez se parece más a estos laboratorios químicos industriales, ocupados por científicos que abanderan la vanguardia tecnológica con productos espectaculares.

El nombre de los diversos concentrados de cannabis suele aludir a su textura: salsas, ceras, caramelos, diamantes... Son infinitamente más potentes que aquel porro que quizá se fumó usted hace 20 o 40 años. Y hoy son legales en muchos estados de Estados Unidos, desde que los cambios legislativos han contribuido a poner en marcha una especie de carrera espacial en la industria del cannabis, con emprendedores que desarrollan técnicas cada vez más sofisticadas para transformar, cual alquimistas del siglo XXI, la materia vegetal en un caleidoscopio de formas y sabores.

El auge del mercado de los concentrados de alta potencia llega en un momento en el que la flor de marihuana, el cannabis tradicional fumable, no está precisamente falta de potencia. Gracias a los avances en las ciencias agrarias, la marihuana que se cultiva en Estados Unidos es bastante más potente que hace unas décadas. La potencia de los productos cannábicos suele expresarse como la concentración de delta-9-tetrahidrocannabinol (THC), el principal compuesto de la marihuana –si bien no el único– responsable de sus efectos psicoactivos. Los estudios sugieren que los niveles promedio de THC de la marihuana que se vendía en Estados Unidos hace 30 años se situaban en cifras de un solo dígito. Hoy, cuando muchos



Entre los muchos formatos del cannabis moderno está el cartucho de aceite, a menudo aromatizado, que se usa en vapeadores de tipo lápiz (extremo izquierda). California, Nueva York y algunos otros estados han prohibido los vapeadores de cannabis con aromas artificiales.

estados exigen que los productos legales lleven etiquetas de potencia verificadas en laboratorio, el promedio oscila entre el 15 y el 20%.

Sin embargo, los concentrados de cannabis son el resultado de procesos de extracción que solo aíslan los compuestos deseados –singularmente el THC– de la materia vegetal. Raw Garden anuncia un producto llamado salsa viva, una sustancia viscosa de tonos dorados cuya consistencia comparan con la compota de manzana, con una concentración de THC de alrededor del 70%, en función de la variedad de la que se obtenga. Y otro producto, los diamantes refinados de resina viva de Raw Garden, puede llegar a superar el 85%.

Para algunos, el contenido de THC –y, por ende, la rapidez y la intensidad del subidón– es lo más importante. Los vapeadores y dabeadores de alta potencia colocan al usuario con menos cantidad que otras vías de consumo de cannabis. Pero el atractivo también tiene que ver con los sabores y con la precisión de las dosis, afirma Dmitri Siegel, director de marca de Raw Garden. «Es una cuestión de pureza que obtengas un efecto realmente sublimado o un sabor muy destilado –dice–. Y te ahorras quemar una gran cantidad de materia orgánica».

Los vapeadores portátiles tienen la ventaja adicional de ser menos llamativos, apunta Tom Adams, analista y consultor de la industria del cannabis y presidente de Adams Research. A algunos usuarios de concentrados les atrae la discreción de dar una calada rápida a una pequeña cantidad de aceite o gel que recuerda a la compota de manzana. «A uno se le hace raro sacar hierba de una bolsa, triturarla y liarla –dice–. ¿Qué soy, un vaquero?».

Según Adams, quien desde 2015 analiza el mercado legal del cannabis, la demanda de concentrados legales se originó en los primeros dispensarios médicos de esta droga. Fumar puede resultar poco práctico para quien desea consumir cientos de miligramos de THC al día, una cantidad considerable, pero que a veces es lo único que alivia a pacientes que reciben quimioterapia o a quienes padecen dolores crónicos.

Y los concentrados, ya sean para uso médico o lúdico, facilitan sin duda la regulación de la dosis. Adams reconoce que los porros preliados, con cantidades estandarizadas de la flor, ofrecen cierta uniformidad. «Pero hasta esa opción es menos predecible que el concentrado depurado y producido científicamente, con efectos que se conocen al milímetro», dice. ¿Liar uno mismo el material? ¿Embutir trozos desiguales de materia vegetal en una pipa? No atrae demasiado, dice Adams: «Los consumidores no están habituados a ese primitivismo».

**EL EMPEÑO POR CONCENTRAR** los componentes psicoactivos del cannabis se remonta al menos al siglo XI, cuando el hachís se popularizó con fines recreativos en el mundo árabe. El hachís se elabora a partir de las estructuras glandulares vegetales denominadas tricomas, que los primeros productores frotaban o cribaban de la superficie de las hojas y de los cogollos del cannabis y luego prensaban en una especie de torta. Los tricomas son ricos en unos compuestos bioactivos llamados cannabinoides, los más conocidos de los cuales son el THC y el cannabidiol (o CBD). También contienen otros compuestos especializados, como los terpenos, los hidrocarburos responsables de los aromas y sabores de las plantas.

Los actuales procesadores de cannabis han perfeccionado aquellos métodos medievales y han hallado nuevas formas más eficaces de aislar los preciados compuestos. Entre las más comunes está la extracción con hidrocarburos, en la que un disolvente separa las sustancias químicas deseadas de la materia prima vegetal. Los disolventes estándar del sector son el

butano y el propano y, antes de la legalización generalizada, cuando la extracción era un pasatiempo clandestino, el uso de estos compuestos inflamables provocaba explosiones en habitaciones de hotel y apartamentos. Pero con la ola de legalización que desde entonces se ha ido propagando por todo el país, la extracción de cannabis se ha extendido, y ahora las empresas –como Raw Garden– están sujetas a autorizaciones, regulaciones e inspecciones.

Casi todos los productos de Raw Garden se basan en una sustancia oleosa conocida como resina viva, un extracto de cannabis que pretende capturar una amplia gama de cannabinoides y terpenos. Pero antes de convertirse en aceite, todos los productos de la empresa empiezan siendo plantas que crecen en un terreno de cultivo de 22 hectáreas en la región vitivinícola de Santa Bárbara. En el momento de la cosecha, las plantas se cortan y los cogollos se retiran y se someten a una congelación ultrarrápida con nitrógeno líquido en un túnel criogénico para preservar todos los compuestos orgánicos volátiles. Desde allí la marihuana se transporta en camiones hasta un almacén frigorífico en la cercana ciudad de Lompoc, donde se guarda en congeladores. Cuando llega el momento de trabajar con una variedad determinada, los cogollos congelados se trasladan a una planta de fabricación de la zona, donde se cargan en columnas de acero inoxidable de dos metros de altura –cada una de las cuales puede contener unos ocho kilos de marihuana– y se saturan con un disolvente a presión que arrastra los compuestos químicos deseados y deja atrás la biomasa desechable.

En fases posteriores, la elaboración de algunos productos requiere purificar el extracto en bruto, filtrando las grasas, las ceras, los lípidos y otros sólidos. Otros productos se procesan térmicamente entre 24 y 36 horas en un horno de vacío para eliminar los restos de disolvente, bajando la presión para que este –y no los compuestos deseados– se evapore.

El uso de disolventes no es la única forma de obtener un extracto. Raw Garden envía una pequeña parte de su cosecha a un centro

## «ESTAMOS **REVOLUCIONANDO** LA PERCEPCIÓN SOBRE LOS POSIBLES EFECTOS DE LOS COMPUESTOS DE LA PLANTA».

**TOM ADAMS, ANALISTA DEL MERCADO DEL CANNABIS**

asociado que la transforma en un producto similar al hachís llamado Rosin mediante un proceso más sencillo que solo usa agua helada, calor y presión. Pero la extracción con hidrocarburos es escalable y altamente eficiente.

Nada de lo anterior niega que haga falta cierta maña intuitiva. La consistencia de un concentrado –es decir, si la resina viva se convierte en un producto cremoso, crujiente u oleoso– depende de la variedad de la que se parta, pero también de pequeñas intervenciones inspiradas durante la extracción. ¿Qué pasaría si batiésemos el extracto antes de purificarlo? ¿Y si lo curásemos de modo que cristalice? El extracto destinado a cartuchos de vapeo a veces exige un paso adicional: primero, los terpenos se evaporan y se recogen en una columna de destilación; después se reintroducen selectivamente para lograr perfiles aromáticos y gustativos específicos. En el laboratorio de vapeadores de Raw Garden, una colorida rueda de aromas recoge más de cien fragancias que supuestamente pueden detectarse en el cannabis: albaricoque, salvia, alquitrán de pino, café expreso... «Extraemos compuestos aromáticos de las plantas –explica Casey Birthisel, vicepresidente de operaciones agrícolas–. Hay muchos paralelismos con la industria del perfume».

**ALGUNOS PROFESIONALES SANITARIOS**, sin embargo, ven paralelismos más alarmantes con drogas teóricamente más duras que el cannabis. La potencia estratosférica de los concentrados ha hecho saltar las alarmas: múltiples estudios epidemiológicos detectan correlaciones entre un consumo frecuente y el riesgo aumentado de psicosis y trastorno

por consumo de cannabis, una forma de dependencia. Y todo apunta a que esos riesgos revisten especial agudeza en la adolescencia. Colorado y Washington, los primeros estados en legalizar el cannabis recreativo, se encuentran entre los que han presentado proyectos de ley para limitar la potencia del THC, que luego han sido rechazados o retirados ante la presión de este sector industrial.

Según Adams, las ventas de flor de marihuana suponían alrededor del 70 % del mercado recreativo cuando en 2014 abrieron sus puertas los primeros minoristas legales en Colorado. Hoy, según los datos de puntos de venta que manejan este analista y la empresa de investigación de mercado BDSA, esa cifra ha caído al 40 %. En este ínterin, las ventas de productos para vapeo y dabeo han pasado de suponer alrededor del 15 % del mercado legal a ocupar un 32 %, si bien el ritmo de ese crecimiento parece estar ralentizándose.

Todo ello es consecuencia, dice Adams, de la «convergencia de tecnología y cannabis» propiciada por la legalización. Irónicamente, lo que más le entusiasma del futuro de la extracción no tiene nada que ver con el THC. Según él, la próxima gran novedad en el campo del cannabis podría cifrarse en la capacidad del sector para aislar con eficacia todos los demás compuestos. ¿Qué nuevos efectos podrían descubrirse en los terpenos? ¿O en los más de cien cannabinoides poco investigados al margen del THC y el CBD?

«Estamos revolucionando radicalmente la percepción sobre los posibles efectos de los compuestos de la planta a través del mercado de los concentrados –afirma–. Y eso abre las puertas a usos de todo tipo».

## EL CANNABIS MODERNO, EXPLICADO

**En su día, consumir marihuana era sinónimo de fumarla, ya fuese liando un porro o llenando una pipa. ¿Qué diferencia implica vapearla?**

Al igual que fumar, vapear cannabis consiste en calentar algún tipo de marihuana e inhalar el producto, solo que sin fuego de por medio. Algunos vapeadores pueden cargarse con hierba seca, o flor de cannabis, mientras que otros utilizan concentrados de alta potencia, como aceite o resina viva. Con solo pulsar un botón, un elemento alimentado por una

batería calienta el cogollo o el aceite para que libere compuestos –como el THC y otros cannabinoides– en forma de aerosol o vapor.

Al no quemarse la materia vegetal, la experiencia puede parecer menos agresiva que fumar. También podría aducirse que es más cómoda: los dispositivos portátiles como los de tipo lápiz son fáciles de transportar y

### CARTUCHO DE DESTILADO PARA VAPEO

Aceite; concentración de tetrahidrocannabinol (THC) de hasta el 95%



### PORROS ENRIQUECIDOS

Porros preliados con mezcla o revestimiento de concentrado; potencia variable



### ARENA DE THCA

Ácido tetrahidrocannabinólico (THCA) concentrado; alcanza un 75-90% de THC cuando se calienta

discretos, y dejan menos olor que fumar. Muchos son desechables, y quienes buscan reducir los residuos electrónicos tienen a su disposición otros modelos que pueden recargarse con cartuchos precargados de aceite de cannabis (los llamados cartuchos de vapeo). Los estudios sugieren que vapear flores, en lugar de fumarlas, puede reducir la exposición a toxinas y monóxido de carbono, lo cual no significa en absoluto que sea una práctica inocua. Vapear, sobre todo concentrados, también conlleva el riesgo de sufrir enfermedades pulmonares.

Para consumir dosis más potentes de THC existe una forma de vaporización conocida como dabao que consiste en calentar concentrados de cannabis más densos, como

la cera (una presentación viscosa de aceite de hachís) o el caramelo (una versión sólida con aspecto cristalino). Para ello se necesita una pipa de dabao, un tipo de pipa de agua más compleja y menos portátil que la mayoría de los vapeadores. Los usuarios suelen acercar un pequeño soplete manual a un elemento calefactor, llamado clavo, y luego utilizan un utensilio para aplicar una gota de concentrado. A continuación inhalan el vapor a través de una cámara de agua de efecto refrigerante. Los vaporizadores de mano son una alternativa más sencilla, pero algunos usuarios dicen que se pierde sabor. Hacer estos dispositivos más pequeños, sencillos y baratos es uno de los objetivos de este sector, que no deja de innovar.



**TÓPICOS CANNÁBICOS**

Bálsamos y cremas que se aplican sobre la piel; no psicotrópicos, con un contenido de THC normalmente bajo



**FLOR DE MARIHUANA**

La concentración de THC puede llegar a rondar el 35%; el promedio se acerca más al 15%

Los científicos llevan décadas buscando formas de aliviar el dolor crónico sin generar dependencia. Hoy el cannabis abre un camino más seguro.

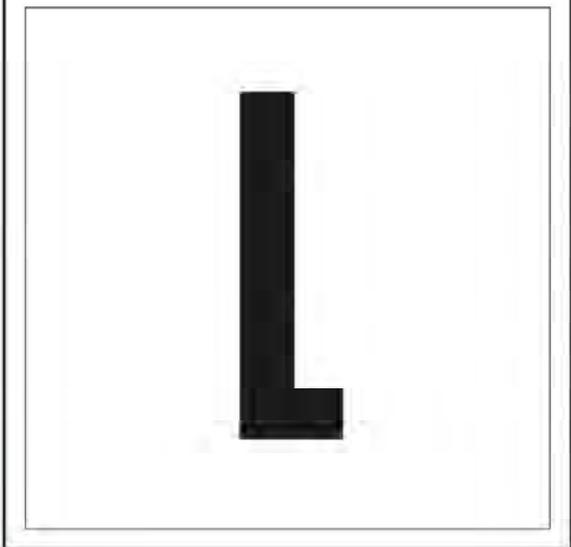
TEXTO DE  
DEVIN  
POWELL

# ¿UNA NUEVA HERRAMIENTA CONTRA EL DOLOR CRÓNICO?



Ya en la Edad Media los médicos árabes buscaban dosis de cannabis que «matasen el dolor sin intoxicar», escribe el historiador Martin Booth. Actualmente los investigadores de la marihuana medicinal buscan algo parecido.





**LO LLAMAN EL SANTO GRIAL** de la investigación sobre el alivio del dolor: un medicamento tan potente como los opioides más fuertes, pero sin sus efectos secundarios potencialmente devastadores. Cuando la biofísica y bióloga estructural Kaavya Krishna Kumar se propuso buscar una forma novedosa de desarrollarlo, sabía que debía empezar por una sustancia que ejerciese unos efectos fortísimos sobre el organismo. Y por ello se adentró en los rincones más sórdidos del foro de internet Reddit, donde leyó sobre una droga ilegal con fama de generar unos efectos psicoactivos, y también unos problemas físicos, extraordinarios.

«Tiene una potencia espectacular –rezaba el comentario de un consumidor recreativo–. Una cantidad ínfima, casi invisible, te catapulta a una euforia total».

La droga en cuestión se llama FUBINACA y es lo que se conoce como un cannabinoide sintético, una molécula diseñada en el laboratorio para que actúe sobre las mismas áreas del sistema nervioso que el tetrahidrocannabinol, o THC, el principal compuesto psicoactivo del cannabis. Químicos clandestinos llevan fabricando drogas parecidas desde principios de este siglo, cuando el consumo recreativo de marihuana todavía estaba perseguido en Estados Unidos y los cannabinoides sintéticos empezaron a popularizarse como alternativas baratas y cuasi legales. A partir de su presentación en polvo, suelen

disolverse en líquidos que luego se pulverizan sobre plantas desmenuzadas para venderse, con un guiño y entre comillas, con el nombre de incienso o popurrí. En la etiqueta puede leerse «No apto para el consumo humano», una forma de eludir la normativa.

Vendidos bajo denominaciones como spice o K2, estos sintéticos del mercado gris han despertado la alarma sanitaria tanto por su toxicidad como por el riesgo de adulteración. Las sustancias químicas exactas y sus concentraciones pueden variar de un producto a otro, con efectos secundarios que van desde brotes maníacos hasta ataques cardíacos.

Pero Krishna Kumar, por entonces en la facultad de Medicina de Stanford y hoy en la de Weill Cornell, vio en la FUBINACA una herramienta para comprender mejor cómo funciona nuestro sistema de gestión del dolor. Y detrás de un ingenioso modelado molecular, ella y un equipo dirigido por investigadores de Stanford y de la facultad de Medicina de la



Universidad Washington en Saint Louis idearon una forma innovadora de modificarlo. A principios de este año, el equipo publicó un estudio en el que se demuestra que un fármaco derivado de la FUBINACA proporciona un alivio sostenido del dolor en ratones, en apariencia sin efectos secundarios psicoactivos ni generación de tolerancia. Estos efectos secundarios son los que han frenado el progreso de otros posibles analgésicos cannabinoides, un jarro de agua fría sobre lo que en su día se perfiló como una alternativa prometedora a los opioides. Ahora, algunos científicos confían en que esta investigación pueda impulsar esa línea de trabajo y, tal vez, abrir fronteras terapéuticas de mayor calado.

**LA FUBINACA NO SIEMPRE** fue una droga ilegal. Fue desarrollada y patentada por Pfizer en 2009 en el marco de un programa que buscaba crear «una aspirina superpotente sin efectos secundarios», según el químico Darin Jones,

que trabajó en la farmacéutica. Al igual que el THC, los cannabinoides sintéticos activan un potente receptor químico conocido como CB1. En el ser humano y otros mamíferos, el CB1 se encuentra en las células nerviosas del cerebro y, lo que es más importante, del resto del cuerpo. Se sabe que influye no solo en la percepción del dolor, sino también en el sueño, el metabolismo y la memoria, lo que lo convierte en un objetivo prometedor para la investigación farmacéutica. (Un segundo receptor cannabinoide, el CB2, parece regular sobre todo las funciones de las células inmunitarias).

Huelga decir que el camino hacia la comercialización de cualquier nuevo fármaco debe tener en cuenta su rentabilidad futura. Y, aunque no está claro qué fue lo que frustró la investigación de Pfizer, Jones especula que tuvo que ver con la paulatina legalización de la marihuana medicinal, que de repente se vendía a «unos céntimos el kilo» en cada vez más dispensarios.

Pero cuando la empresa publicó su patente, puso a disposición de los llamados químicos de garaje la posibilidad de replicar la fórmula y crear compuestos análogos. La Administración para el Control de Drogas de Estados Unidos informa de que las fuerzas del orden han identificado cientos de cannabinoides sintéticos diferentes, la mayoría de ellos fabricados en Asia. Las variantes de la FUBINACA de Pfizer, la primera de las cuales se detectó en Japón en 2012, se cuentan entre las más tóxicas. En 2014 se vincularon decenas de muertes en Rusia con un análogo llamado MDMB-FUBINACA. Dos años después, otra variante causó en Brooklyn (Nueva York) una sobredosis masiva que los medios de comunicación llamaron un «apocalipsis zombi».

Krishna Kumar esperaba retomar la investigación donde Pfizer la había dejado y aprovechar esa potencia. Para empezar, examinó cómo la MDMB-FUBINACA se adhería a los receptores CB1 humanos en una placa de Petri. Descubrió que, en comparación con otros cannabinoides sintéticos, se acoplaba con más fuerza y activaba efectos con mayor intensidad.



A continuación, utilizando una tecnología ganadora del Nobel llamada criomicroscopía electrónica (crio-ME), ultracongeló la molécula de la FUBINACA mientras estaba unida al CB1 y estudió la unión de ambos con un microscopio electrónico. El resultado fue una imagen 3D a nivel atómico que ilustraba lo bien que encajaba la droga en un sitio de unión de la superficie del receptor, como una llave en su cerradura.

Aquella imagen sirvió de punto de partida para diseñar nuevas versiones de la FUBINACA que, al estimular el receptor de formas diferentes, pudiesen mantener la potencia del original, pero limitando los efectos secundarios. Para ello, Krishna Kumar recurrió a Susruta Majumdar, un químico y farmacólogo de la Universidad Washington, cuyo laboratorio ya había demostrado que la activación de una zona concreta de un receptor opioide podía inhibir las reacciones químicas que conducían a la tolerancia. ¿Sería posible con el CB1?

Los investigadores sabían que el CB1, un pariente de ese receptor opioide, tenía un posible sitio de unión de características similares, pero se encontraba en la profundidad del receptor y, en la imagen crio-ME de Krishna Kumar, aparecía bloqueado por grupos de átomos. Además, la forma no encajaba con la de la FUBINACA. Así que el equipo de Majumdar

empezó a diseñar uniones personalizadas para el cannabinoide, cadenas de átomos que podrían ayudar a la molécula a abrirse camino hacia el interior.

Mientras tanto, los científicos de Stanford adoptaron otro enfoque y animaron la imagen mediante simulaciones por ordenador que mostraban cómo se movían entre sí los átomos de la droga y del receptor. Las simulaciones revelaron algo sorprendente: los grupos de átomos que bloqueaban ese tentador punto se movían esporádicamente hacia un lado, abriendo lo que los bioquímicos llaman un sitio de unión críptico, permitiéndoles echar un vistazo a lo que se cocía dentro.

Tras ajustar sus diseños para adaptarlos, el equipo de Majumdar hizo otra modificación crucial con la esperanza de eliminar los efectos psicoactivos de la FUBINACA. Resultó que el sitio de unión recién accesible podía alojar un compuesto con carga eléctrica positiva, que impide que una molécula atraviese la barrera hematoencefálica. Al añadir un grupo de átomos cargados a la FUBINACA, los investigadores restringieron su actividad a los receptores CB1 extracerebrales, donde no puede provocar ningún efecto psicoactivo ni actuar sobre el circuito de recompensa del cerebro, lo que reduce el riesgo de uso indebido y abuso.

## EL CANNABIS MODERNO, EXPLICADO

### ¿Cuáles son las diferencias entre el cannabis natural y los productos sintéticos como el K2, el spice y el delta-8?

Algunos de estos sustitutos del cannabis fabricados en el laboratorio se venden con todas las de la ley en Estados Unidos, pero eso no significa que sean seguros. El panorama se vuelve confuso, y peligroso, desde el momento en que la llamada hierba falsa o marihuana sintética no es una sola droga, sino toda una clase de sustancias químicas.

Para crear cannabinoides sintéticos de uso recreativo, los laboratorios clandestinos formulan compuestos que son químicamente distintos del THC, pero que actúan sobre los receptores nerviosos de manera similar. Como en Estados Unidos algunas de esas sustancias, vendidas con nombres como K2 y spice, no son técnicamente ilegales, pueden comercializarse

Las nuevas versiones de la FUBINACA se inyectaron en roedores que sufrían diversos tipos de dolor. Y una variante que los investigadores llamaron VIP36 mostró indicios de aliviar el dolor crónico de tres orígenes distintos –inflamación, lesión nerviosa y cefalea– incluso después de varios días de inyecciones repetidas. Es cierto, dice Robert Gereau, que todos esos retoques moleculares reducen la potencia del fármaco y, por ende, sus efectos analgésicos. Aunque esto podría haber dejado sin efecto a otros cannabinoides, advierte este neurobiólogo de la Universidad Washington, el VIP36 siguió siendo «eficaz en el rango clínicamente útil», precisamente gracias a la superpotencia original de la FUBINACA.

**EL VIP36 AÚN ESTÁ EN MANTILLAS.** Todavía no se ha probado en seres humanos, dotados de menos receptores CB1 extracerebrales que los roedores. Pero incluso si nunca llegase a nuestro botiquín doméstico, la investigación podría abrir nuevos horizontes farmacéuticos.

Según Majumdar, podría haber más sitios de unión crípticos en otros receptores relacionados con el CB1, muchos de los cuales no tienen nada que ver con el dolor. Algunos se han relacionado con las cardiopatías, por ejemplo, o con trastornos por abuso de drogas.

en gasolineras, comercios de artículos del fumador y tiendas *online* como, por ejemplo, incienso de hierbas. Pero muchas se venden con marcas sugerentes que indican al consumidor un posible uso alternativo de estas mezclas impregnadas de sustancias químicas.

Los Centros Toxicológicos de Estados Unidos reciben cientos de llamadas al año por casos relacionados con los cannabinoides sintéticos. Una revisión de estudios reveló que estas drogas presentan una «toxicidad superior a la del THC y efectos más duraderos», incluido un riesgo aumentado de trastornos psiquiátricos. Se han relacionado varias muertes con el consumo de cannabinoides sintéticos mezclados con sustancias presentes



En comparación con lo que se incautaban las fuerzas del orden en la década de 1990, el cannabis que se cultiva hoy en Estados Unidos contiene, en promedio, mucho más THC, el principal compuesto psicoactivo de la planta.

Y esto plantea una posibilidad fascinante: lo que hoy se sabe sobre cambiar el comportamiento de un receptor podría traducirse en experimentos con toda una gama de fármacos. Majumdar ya está planeando revisar un estudio anterior que se centró, sin éxito, en un receptor opioide difícil de alcanzar. Se imagina rediseñando antidepresivos, tal vez fármacos oncológicos. «Prevemos que en un futuro próximo podamos tratar otras enfermedades además del dolor –advierte–. Esto no ha hecho más que empezar».

en los raticidas. Los intentos de prohibición han llevado a algunos estados y al Gobierno federal a criminalizar algunas sustancias químicas, pero esto solo ha servido para que los fabricantes de drogas creen nuevas variantes que aún no están prohibidas.

En Estados Unidos, un cannabinoide que aprovecha el vacío legal de los sintéticos es el delta-8-THC. Este compuesto psicoactivo puede sintetizarse a partir del CBD que se encuentra en el cáñamo, legal a nivel federal. La Administración de Alimentos y Fármacos de Estados Unidos advierte que el delta-8, todavía sin regular en muchos estados, está poco estudiado y ha provocado miles de llamadas a los centros toxicológicos.



Los afectados por el síndrome de hiperemesis cannabinoide (SHC), asociado al consumo frecuente de productos de cannabis de alta potencia, refieren efectos invalidantes derivados de este trastorno raro, pero cada vez con más casos diagnosticados.

# EL MISTERIO DEL NUEVO SÍNDROME DE LA MARIHUANA



Las nuevas variedades y presentaciones de cannabis, más potentes, están relacionadas con un conjunto de síntomas que desconciertan a los médicos. Y el diagnóstico de este extraño síndrome es cada vez más común.

TEXTO DE  
STACEY COLINO  
Y  
BRIAN KEVIN

Por muy extendida que esté la idea errónea de que la marihuana no es adictiva, la realidad es que los consumidores pueden experimentar dependencia y síndrome de abstinencia. Y la potencia es un factor que influye en su gravedad.



S

**SIERRA CALLAHAM** tenía 23 años cuando sufrió su primer episodio de dolor abdominal, náuseas y vómitos cíclicos. Todos los días durante un mes. No se lo explicaba, pero lo achacó al estrés: llevaba una temporada con mucho trabajo y estaba enfadada con su familia. La mayor parte de los días aguantaba a base de medicamentos para las náuseas y para la ansiedad, y por las noches, cuando no estaba vomitando, seguía con su rutina habitual de fumar un poco de marihuana. Según cuenta, la necesitaba desesperadamente para «relajarme y no estar tan presente en mi cuerpo».

Callaham vive en el estado de Washington, donde el cannabis recreativo es legal desde 2012, y llevaba mucho tiempo consumiéndolo a diario, aunque de forma moderada: un poquito cada noche para dormir mejor. Antes de su primera crisis gastrointestinal, ocurrida a finales de 2020, consumía aceite de cannabis concentrado con un vapeador de batería. Cuando los síntomas empezaron a aliviarse, se pasó durante unos años a los porros preliados. Al final volvió a los vapeadores.

Y entonces, a principios de 2024, sufrió otro ataque que se prolongó semanas, con intensos dolores estomacales y vómitos incontrolables a diario que la llevaron dos veces a urgencias. En una visita a un punto de atención continuada al paciente, un médico le preguntó si consumía cannabis. Todas las noches, respondió.

Se sorprendió cuando el médico emitió un diagnóstico provisional: síndrome de hiperemesis cannabinoide (SHC), a veces llamado simplemente enfermedad de la marihuana.

Los episodios recurrentes de náuseas, vómitos y dolor abdominal son los síntomas clásicos de esta desconcertante afección gastrointestinal que se asocia con el consumo frecuente y prolongado de marihuana, en particular de productos de alta potencia, descrita por primera vez por médicos australianos en 2004. Se desconoce la prevalencia del síndrome de hiperemesis cannabinoide, pero un estudio de 2018, extrapolado a partir de una encuesta realizada a pacientes de urgencias, situaba la cifra de afectados en 2,75 millones de personas al año en Estados Unidos. Un reciente resumen de investigación de la revista *Journal of the American Medical Association* sugiere que se diagnostica cada vez más: entre 2017 y 2021 se duplicaron en Estados Unidos y Canadá las visitas a urgencias por SHC.

¿Qué hay detrás de este aumento? Según Deepak Cyril D'Souza, profesor de psiquiatría y director del Centro para la Ciencia del Cannabis y los Cannabinoides de Yale, uno de los factores es la creciente potencia de los productos derivados del cannabis. Hace 30 años las muestras incautadas por la Administración para el Control de Drogas de Estados Unidos presentaban un contenido medio de THC del 4% en peso. En 2022 ese promedio era de alrededor del 16%; el aceite de los cartuchos de vapeo como los que utilizaba Callaham puede alcanzar hasta un 85%.

Las investigaciones también apuntan al papel de la creciente legalización del cannabis recreativo en ese país. En un estudio publicado en 2022 en la revista *American Journal of Gastroenterology*, los investigadores compararon los ingresos por SHC en un gran hospital de Massachusetts entre 2012 y 2020 y observaron un aumento significativo a partir de finales de 2016, coincidiendo con el momento en que se legalizó el cannabis en el estado.

Con todo, el SHC es un trastorno tan frustrante como asistemático. «¿Por qué algunas

personas parecen vulnerables a este síndrome y otras no? Es un misterio», dice D'Souza.

«La mayoría de los fumadores diarios de cannabis no lo padecen», reconoce Christopher N. Andrews, gastroenterólogo y docente clínico de la Universidad de Calgary, en Canadá. Entre las personas que sí lo sufren, los síntomas no son constantes. «Vienen y van: se presentan de manera cíclica», explica D'Souza. Andrews está convencido de que si los síntomas del SHC fueran más constantes, el riesgo podría motivar a más pacientes a dejar de consumir cannabis.

Una teoría sobre la causa del SHC apunta al eje hipotálamo-hipófiso-suprarrenal (HHS), que regula las respuestas del organismo al estrés ajustando los equilibrios hormonales. El consumo crónico de cannabis «hace que el péndulo se incline más hacia un lado que hacia el otro», explica Andrews, lo que quizá podría desencadenar los síntomas al estimular de forma anómala el eje HHS.

También puede existir una susceptibilidad genética; la depresión y la ansiedad son comunes en las personas que padecen el síndrome. «La paradoja es que no entendemos qué lo desencadena en un momento determinado», advierte David Levinthal, director del Centro de Neurogastroenterología y Motilidad del Centro Médico de la Universidad de Pittsburgh. Como principales sospechosos cita la falta de sueño y el estrés intenso.

Otro aspecto extraño del SHC es que quienes lo padecen tienden a pasarse horas y horas en la bañera. «Los pacientes con SHC suelen referir un alivio temporal de los síntomas al bañarse con agua muy caliente, lo que a veces conduce a baños compulsivos», explica María Isabel Angulo, profesora adjunta de medicina interna y pediatría de la Universidad de Illinois en Chicago. Este hecho sugiere que el área del cerebro que regula la temperatura corporal, el hipotálamo, podría estar implicada en el síndrome.

Cualesquiera que sean las causas, las consecuencias a largo plazo del SHC pueden ser mucho peores que el hecho de bregar con los

largos períodos de malestar intenso. Entre las posibles complicaciones figuran deshidrataciones graves y desequilibrios electrolíticos que a veces se saldan con daño renal, arritmias y convulsiones. En casos excepcionales, estas complicaciones han llegado a ser mortales.

Por aparatosos que sean los síntomas, lo cierto es que diagnosticar con precisión el SHC puede ser complicado, explican los médicos, en parte porque se asemejan a los de otras enfermedades gastrointestinales y porque los pacientes no siempre son sinceros sobre sus hábitos. «La forma de hacer el diagnóstico es conseguir que el paciente deje el cannabis y demostrar a toro pasado que esa era la causa de los síntomas», dice Andrews.

Dejarlo no sirve solamente para diagnosticar: también es la única cura conocida y permanente del SHC. Y, aunque persiste el mito de que el cannabis no es adictivo, cesar repentinamente un consumo habitual puede provocar síntomas como ansiedad, irritabilidad, trastornos del sueño y pérdida de apetito. Además, el alivio puede tardar semanas o meses en llegar. «Como la mejoría puede llevar tanto tiempo en aparecer –explica Andrews–, muchos pacientes creen que el cannabis no tenía nada que ver con sus síntomas». La perspectiva de la abstinencia incluso puede hacer que algunos consumidores crónicos se muestren reacios a aceptar el diagnóstico.

No fue el caso de Sierra Callaham. Cuando el médico de urgencias le puso en la mano documentación informativa sobre el SHC, no se lo creyó del todo. «Me dije: "Imposible, yo vigilo mucho el consumo" –recuerda–. Pero en cuanto leí la documentación, pensé: "Es tal cual lo que me pasa". Y ese mismo día lo dejé».

Desde entonces no ha vuelto a consumir marihuana. No ha sido un camino fácil: ha luchado contra el impulso de volver y ha tenido que reeducarse para reconocer la sensación de relajación sin estar colocada. Pero en los malos momentos recuerda lo mal que lo pasaba en los peores episodios de hiperemesis. «Estaba desesperada –reconoce–. Estaba desesperada por sentirme mejor». □

## EL CANNABIS MODERNO, EXPLICADO

### ¿Qué más está descubriendo la ciencia sobre los efectos del cannabis de alta potencia, en especial entre adolescentes?

El consumo de marihuana en cualquiera de sus formas conlleva riesgos, pero los investigadores han manifestado especial preocupación por los efectos sobre la salud mental de los productos con alto contenido en THC. En adultos, hay indicios de que los consumidores de cannabis de alta potencia, especialmente los habituales, presentan un mayor riesgo de desarrollar psicosis y trastorno por consumo de cannabis, es decir, la incapacidad de dejar de consumirlo aunque les esté generando problemas de salud o sociales. Algunos estudios han relacionado el cannabis de alta potencia con la depresión y la ansiedad, aunque no está del todo demostrado que eleve el riesgo.

Los profesionales de la salud se muestran aún más alarmados en lo que respecta a los adolescentes. Los consumidores tempranos y frecuentes de productos de cannabis de alta potencia, como los que suelen vapearse y dabearse, corren el riesgo de sufrir ansiedad, depresión e ideaciones suicidas, además de acusar efectos sobre la memoria, la función cognitiva y la motivación. Los adolescentes que consumen concentrados de cannabis tienen más riesgo de desarrollar problemas de consumo de sustancias que los que consumen formas no concentradas de cannabis. Y como el cerebro adolescente aún está en desarrollo, existe un riesgo real de que se produzcan daños permanentes.

El fenómeno relativamente nuevo de los concentrados ha cogido por sorpresa a algunos padres, tutores y profesores. Dado que el vapeo produce un olor más sutil y es tan sencillo de usar como pulsar un botón, los adolescentes lo ocultan con mayor facilidad. Un informe de los Institutos



Entre los consumidores de cannabis legal de la generación Z –los nacidos entre 1997 y 2009–, las ventas de productos de vapeo superan a las demás categorías, comestibles y flores incluidos, apunta Headset, empresa de datos del sector.

Nacionales de Salud de Estados Unidos de 2024 reveló que casi el 6% de los alumnos de entre 13 y 14 años había vapeado cannabis en los anteriores 12 meses. La cifra era del 12% en los de 15 a 16 años y del 18% en los de 17 a 18 años.

Aunque pueda parecer contradictorio, la preocupación por la alta potencia del cannabis ha llevado al Gobierno federal a pedir su eliminación de la categoría más restrictiva de drogas ilegales. Los límites legales del contenido de THC varían según los estados, y transferir el cannabis de la Lista I a la III de la Administración para el Control de Drogas permitiría regular su potencia a nivel federal. Esta reclasificación se lanzó en 2024, durante el Gobierno de Joe Biden, pero ahora está en un limbo, un recordatorio de que la prohibición del cannabis todavía no se ha derogado.



El dinero romano, como esta moneda con la efigie del emperador Claudio, solía contener plata, uno de los metales preciosos con los que funcionaba Roma.



EL  
**TESORO**  
**ENTERRADO**  
QUE PUDO HABER  
**CAMBIADO**  
LA  
**HISTORIA**  
DE ROMA

Hace dos mil años, el ejército romano emprendió una ingente búsqueda de filones de plata. Gracias a un obstinado arqueólogo aficionado, hoy sabemos que estuvieron a punto de encontrar una fortuna que habría cambiado el destino del Imperio.

TEXTO DE **JULIAN SANCTON** ● ILUSTRACIONES DE **ARIA SAFARZADEGAN**



**E**L PASAJE SUELE PASAR INADVERTIDO. Es una breve anécdota recogida en los *Anales* de Tácito, donde el historiador romano cuenta una historia que no aparece en ninguna otra fuente: un legado no demasiado querido por sus legionarios los obliga a adentrarse en una mina traicionera en la frontera del Imperio (el *limes*). El episodio tiene lugar bajo el reinado de Claudio (41-54 d.C.), una época de frenética expansión en la que Roma busca fagocitar las zonas fronterizas y sus recursos. La ubicación mencionada en el pasaje de Tácito es vaga: figura como «en territorio matíaco», justo en la periferia de la Germania Superior ocupada por los romanos. Pero el objetivo es claro: encontrar filones de un metal precioso que impulsaba al Imperio.

La plata caía como lluvia fina en la economía imperial en forma de monedas, lingotes y joyas desde las manos de patricios, dirigentes y militares. Las monedas no eran un mero medio de pago. Acuñadas con la efigie del emperador, funcionaban como símbolos de su poder al circular por todo el territorio. El grueso de la plata extraída por Roma procedía hasta ese momento de Hispania, pero los ingenieros romanos llevaban mucho tiempo buscando otros yacimientos a lo largo y ancho de sus dominios.

MAPA: ROSEMARY WARDLEY Y AMANDA HOBBS; NGM. FUENTES: ANDREW WILSON Y HANNAH FRIEDMAN. PROYECTO DE ECONOMÍA ROMANA, UNIVERSIDAD DE OXFORD; ALFRED HIRT, UNIVERSIDAD DE LIVERPOOL



# FINANCIAR UN IMPERIO

El Imperio romano alcanzó su máxima extensión en el siglo II d.C., espoleado en parte por la búsqueda de recursos más allá de lo que ofrecía la península itálica. Para fabricar su moneda, sus artículos de lujo y sus armas, Roma necesitaba hallar filones de plata, oro, plomo y hierro en otros lugares. En el transcurso de algo más de cuatro siglos los obtuvo conquistando y absorbiendo otros territorios.

## 1 PRIMEROS ÉXITOS

Roma ocupa zonas metalíferas de Hispania tras la segunda guerra púnica (218-201 a.C.). Durante siglos, la mayor parte de la plata romana sale de aquí.

## 2 RETROCESOS IMPERIALES

La aplastante derrota en la batalla del bosque de Teutoburgo en el año 9 d.C. frena las grandes empresas expansionistas al otro lado del Rin, pero continúan las pequeñas incursiones mineras.

## 3 EL PREMIO GORDO

Después de avanzar hacia Europa oriental, Roma conquista Dacia, famosa por sus yacimientos de oro y plata, y comienza a explotar sus riquezas a principios del siglo II d.C.

ENLACE AL CANAL

[x.com/byneontelegram](https://x.com/byneontelegram)

O escanea el código QR:



Según el texto de Tácito, los legionarios sufrían «fatigas y bajas» en la penosa, sucia y arriesgada actividad de la minería, obligados a «cavar canales y hacer bajo tierra trabajos que serían duros incluso a cielo abierto», ya no digamos en la oscuridad sofocante de las galerías, apenas atenuada por el débil resplandor de las lámparas de aceite. Para expresar su descontento, los legionarios escribieron una carta al emperador pidiéndole que concediese honores triunfales a su impopular comandante, Curcio Rufo. Confiaban en que tal reconocimiento permitiese a Rufo dejar aquella empresa prácticamente infructuosa. Al final se abandonó la búsqueda de plata y se levantó el campamento militar.

Esta anécdota recogida por Tácito siempre ha intrigado a los expertos en literatura

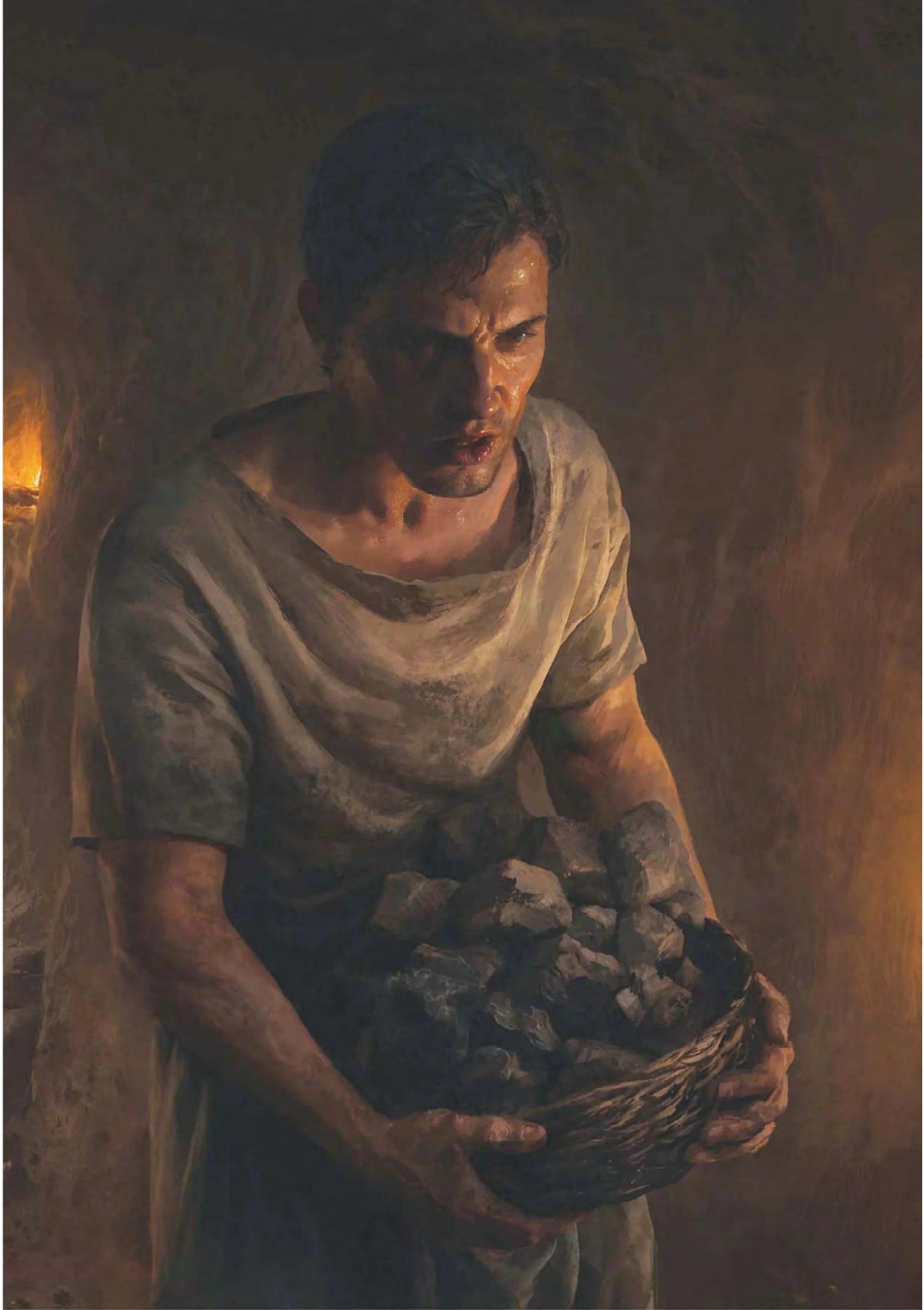
clásica, incapaces de localizar pruebas ni otras menciones de tal empresa. Algunos eruditos la consideraron una historieta tan atractiva como inverificable. El especialista en la economía y la minería de Roma Alfred Hirt, de la Universidad de Liverpool, la presenta como un ejemplo de la llamada «mirabilia», es decir, «historias maravillosas que se cuentan sin más objeto que entretener a los lectores».

Pero un reciente hallazgo que ha revolucionado el mundo de la arqueología sugiere que Tácito plasmó un episodio verídico. Al parecer, Rufo y sus hombres sí buscaron aquella plata, pero levantaron el campamento antes de dar con el filón. Hoy sabemos que en aquella región había plata suficiente como para haber cambiado la historia del Imperio.

## **PENOSAS CONDICIONES**

Soldados romanos, entre los cuales probablemente había legionarios, trabajaron en una oscura mina en los confines del Imperio. Según el historiador romano Tácito, escribieron al emperador para quejarse de tan agotador trabajo.





### YACIMIENTO DE BLÖSKOPF

Las variaciones en la vegetación o los indicios de una antigua minería a cielo abierto quizá sugirieron a los ingenieros romanos la posible presencia de plomo, que a menudo se encuentra asociado con la plata.

Barrera natural

Avanzada construida para proteger la mina

BLÖSKOPF

Pozo

Entrada de la mina

Túnel

Entrada de la mina

### CAMPAMENTO DE EHRLICH

Situado en una meseta cerca de la confluencia de dos ríos, ocupaba ocho hectáreas y podría haber alojado hasta 3.000 soldados en tiendas de campaña.

MESETA DE EHRLICH

VALLE DE LE EMSBACH

Eisenbach

LINZKOPF

Tiendas para alojar a los legionarios

Barrera exterior defensiva jalonada por torres

Campamento militar romano

### EL FILÓN DEL EMS

Los romanos pasaron por alto un inmenso yacimiento de mena de plata que se explotaría más de un milenio después.

# EXPLORANDO EL LIMES

Construidos en sendas colinas a unos dos kilómetros de distancia entre ambos y visibles uno desde el otro, el campamento militar de Ehrlich y el puesto defensivo de Blöskopf formaban parte del sistema de fortificaciones romanas que salpicaron el valle del Rin en el siglo I d.C. Es posible que los legionarios destacados en ellos trabajasen y protegiesen la vecina mina de exploración hasta que el ejército romano la abandonó, perdiendo al hacerlo un inmenso filón de plata.



ALEMANIA  
ÁREA DEL MAPA



2 km

Campamento Militar

Coblenza

Avanzada

Bad Ems

DIRECCIÓN DE LA VISTA

Lahn



Pero la magnitud de aquella oportunidad perdida no llegaría a perfilarse hasta milenios más tarde, cuando un cazador alemán de curiosidad obstinada unió todas las piezas.

**UN FRÍO ATARDECER** de abril de 2016, un exparacaidista de 72 años llamado Jürgen Eigenbrod acechaba jabalíes en las colinas que rodean la histórica ciudad termal de Bad Ems, en Renania-Palatinado, cuando advirtió algo inusual en un campo de cereales: dos franjas paralelas de color amarillento que atravesaban un manto verde. Pocas personas le habrían dado importancia. Eran muy anchas para ser rodadas de camiones o de tanques. Los teóricos de la conspiración podrían haber sugerido un origen extraterrestre, pero Eigenbrod no cayó en esa ingenuidad.

Como miembro de las Fuerzas Armadas alemanas, había estado con los cascos azules en Somalia y destinado como agregado militar en Tel Aviv, pero desde su jubilación en 2003 dedicaba su atención a la arqueología y la historia del entorno de Bad Ems, e incluso había impulsado pequeñas excavaciones en el valle del Lahn en calidad de voluntario.

Aun siendo un arqueólogo aficionado, reconoció al instante en aquellas marcas de los cultivos el signo inequívoco de una estructura artificial, guiándose por un principio básico de la arqueología: en la naturaleza no hay líneas rectas. Algo había bajo tierra que alteraba la densidad del suelo, provocando que la vegetación de la superficie madurase a un ritmo diferente. ¿Pero qué?

Para obtener una visión más clara, pidió a su amigo Hans-Joachim du Roi, capitán de fragata retirado y aficionado a la historia como él, que fotografiase el campo de cultivo con su dron. La foto aérea reveló que las líneas paralelas giraban de pronto en ángulo recto. El vértice estaba redondeado, como la esquina de un naipe. A Eigenbrod se le aceleró el pulso al observar la imagen. No era la primera vez que veía representaciones de

aquella configuración. No había duda. Las marcas eran los rastros inconfundibles de las dobles trincheras defensivas que las tropas romanas cavaban en torno a los campamentos militares del *limes* imperial.

La intervención de Eigenbrod no había hecho más que empezar. «Tuvo que ir a Coblenza para convencer a los arqueólogos de Renania-Palatinado de que emprendiesen excavaciones. Por suerte para todos, insistió hasta la saciedad –recuerda Du Roi–. Aquello fue un trabajo de Sísifo». Para sacárselo de encima, el departamento de arqueología del estado acabó por avenirse a llevar a cabo un estudio geomagnético de la zona circundante, conocida como la meseta de Ehrlich. Mediante la medición de variaciones infinitesimales en el campo magnético de la Tierra, el estudio reveló varios tramos más de doble trinchera, lo que confirmó que en su día delimitaba el perímetro de un campamento romano de unas ocho hectáreas, con fortificaciones de tierra y madera.

La excavación del campamento de Ehrlich comenzó en 2017, bajo la dirección del arqueólogo Thomas Maurer y la supervisión de Peter Henrich, del Museo Estatal de Renania, en Tréveris, y Markus Scholz, de la Universidad Goethe, en Frankfurt. En principio creían que el yacimiento databa de la época de Augusto (27 a.C.–14 d.C.), y suponían que sería uno de los incontables campamentos temporales que las legiones romanas montaban durante sus campañas. Se han localizado campamentos de este tipo en toda Europa, a menudo descubiertos gracias a marcas en los cultivos, pero Frederic Auth, un estudiante de doctorado supervisado por Scholz, lo expresó sin rodeos: aquellos campamentos efímeros «no eran tan espectaculares» en términos arqueológicos.

Eigenbrod se preguntaba si el de Ehrlich no habría sido un campamento de mayor enjundia. Conocía el pasaje de Tácito. La mención de los matiacos fue una primera pista, ya que se trataba de una tribu germánica asentada en las inmediaciones de Bad Ems.

# UNA NUEVA HISTORIA PARA UN LUGAR ANTIGUO

Durante más de cien años, los estudiosos pensaron que el pequeño fuerte romano del monte Blöskopf era una estructura de finales del siglo II, pero los nuevos descubrimientos lo descartan. Las últimas pruebas arqueológicas identifican el yacimiento como una avanzada defensiva de mediados del siglo I asociada a la mina y ocupada por entre 12 y 40 hombres.

## BARRERA NATURAL

Una muralla de al menos 400 metros de largo se extendía al norte y al sur de la avanzada para repeler los ataques desde el este.

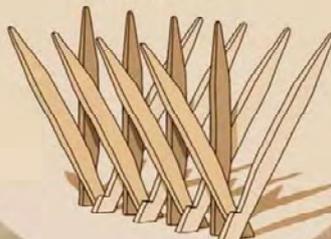
## ZANJAS Y ESTACAS

Dos trincheras defensivas en forma de V protegían la avanzada. La interior, más grande, de algo menos de cuatro metros de ancho y dos de hondo, estaba cuajada de afiladas estacas de madera que los arqueólogos denominaron *pila fossata*. Las de Blöskopf son las primeras aparecidas en su emplazamiento original.

Estaca de madera  
50-60 cm



*Pila fossata*



## AVANZADA

Construido en diferentes fases a lo largo de varios años, el fortín de Blöskopf presentaba robustos muros de piedra y una estructura de entramado de madera, un estilo muy extendido en el oeste del Imperio. Hoy los arqueólogos creen que tenía dos o tres niveles; la planta superior –y quizás un balcón– se usaba como atalaya de vigilancia.

Entramado de madera

Entrada

Muro de piedra

Fajinas

### PUERTA PRINCIPAL

Probablemente situada en el lado oeste del fuerte, esta puerta de madera habría proporcionado un acceso seguro a través de la muralla, con anchura suficiente para que entrase un carro.

### MURALLA

Un muro terrero de dos metros y medio de altura y coronado por una valla de palos entrelazados llamados fajinas rodeaba la estructura.

Zanja interior

Zanja exterior

Eigenbrod, sabedor de que en la zona había existido una larga tradición de extracción de plata, estaba cada vez más convencido de que el campamento que había descubierto estaba relacionado con la explotación minera mencionada por Tácito. Quizás era el cuartel donde habían estado destinados aquellos quejosos legionarios, pensó.



**PARA LOS ARQUEÓLOGOS** profesionales, la hipótesis de Eigenbrod ejemplificaba la tierna ingenuidad de un aficionado. Contestaron al *amateur* que su disciplina no funcionaba así. «Correlacionar la arqueología con la literatura histórica no es nada fácil –explica Auth–. Y nos cuidamos mucho de sobreinterpretar esa fuente escrita, porque lo cierto es que Tácito nunca vio la Germania romana».

El entusiasmo inquebrantable de aquel cazador alimentó la excavación, en sentido literal: Eigenbrod suministraba a los trabajadores embutido casero de jabalí. «Esas salchichas son una leyenda entre los estudiantes –recuerda Auth–. Fui a dar una charla a Bad Ems y mi remuneración acabó siendo una nueva remesa de embutido de jabalí».

En las excavaciones se encontraron, entre otras piezas, un aro de latón de una guarnición ecuestre, clavos de hierro y escoria, pero apenas nada que permitiese datar con precisión el yacimiento. La mejor pista de la que disponían los arqueólogos era una moneda de bronce muy corroída en la que a duras penas se apreciaba la efigie de Calígula, a todas luces acuñada en Roma en el año 37 o 38. Más tarde apareció una moneda de aleación de cobre del posterior período claudiano en el fondo de lo que había sido un pozo. Las monedas tenían una circulación prolongada, sobre todo en época de Claudio, cuando se acuñaban en pequeñas cantidades, lo que dificultaba precisar el marco temporal. Pero aquellas monedas más los cascotes de cerámica recuperados, entre ellos fragmentos de platos y jarras característicos de

mediados del siglo I, llevó al equipo a datar el campamento de Ehrlich entre los años cuarenta y principios de los cincuenta. Es decir, justo en la horquilla de tiempo en que Tácito escribió sus *Anales*.

Con todo, la teoría de Eigenbrod todavía no estaba confirmada. El marco cronológico de Ehrlich coincidía quizá con el de Tácito, pero a falta de pruebas de la existencia de una mina de plata romana coetánea podría tratarse simplemente de una intrigante coincidencia. Y hallar esas pruebas no sería sencillo. En las inmediaciones de Bad Ems se extrajeron diversos metales desde tiempos inmemoriales hasta la Segunda Guerra Mundial, por lo que la zona está cuajada de pozos, galerías y túneles, en algunos casos todavía accesibles. «Algunos de estos pozos pueden ser de origen romano –dice Scholz–, pero se remodelaron en la Edad Media o en los últimos siglos». Además, la región sufrió intensos bombardeos durante la guerra, lo que dificulta distinguir entre cráteres y antiguas minas. «Es una suerte que Jürgen Eigenbrod estuviera en las Fuerzas Armadas, porque sabe distinguirlos», se felicitaba Auth.

En vez de plantearse localizar una mina oculta en un paisaje lleno de agujeros, Eigenbrod insistió en que los arqueólogos pusiesen sus miras sobre un yacimiento romano próximo que se conocía desde hacía mucho tiempo: los restos de una pequeña fortificación erigida a dos kilómetros y medio de distancia en la cima de una colina pelada llamada Blöskopf («cabeza desnuda»). El yacimiento lo había estudiado en 1897 el teniente coronel retirado Otto Dahm, quien, al igual que Eigenbrod, al principio creyó haber dado con la esquiada mina de plata de Tácito. Dahm concluyó que Blöskopf había sido una fundición que dató de finales del siglo II, demasiado tarde para Tácito.

A instancias de Eigenbrod, Auth volvió a examinar Blöskopf. Descubrió que la publicación decimonónica de Dahm estaba «repleta de errores», mostraba pocos hallazgos y era metodológicamente descuidada.

**«CORTANDO TRONCOS [...] Y AGUZANDO BIEN LAS PUNTAS [...] SE ABRIAN FOSAS [...]. METIENDO EN ELLAS AQUELLOS TRONCOS [...], QUIENES ALLÍ ENTRABAN [...] SE CLAVABAN EN AQUELLAS AGUDÍSIMAS EMPALIZADAS».**

—JULIO CÉSAR,  
LA GUERRA  
DE LAS GALIAS

#### TÁCTICAS AGUDAS

Llamados *pila fossata* por los arqueólogos alemanes, estos peligrosos pinchos de madera similares a los descritos por Julio César se localizaron intactos por primera vez en el yacimiento de Blöskopf. Gracias al suelo húmedo y pobre en oxígeno, su estado de conservación es excepcional.



Con mucho más rigor arqueológico y una tecnología desconocida en la época de Dahm —como el lidar para cartografiar el subsuelo—, Auth dirigió una nueva excavación que desenterró un par de monedas de la época de Claudio o anteriores y ninguna del reinado posterior, el de su hijo adoptivo Nerón.

Las monedas lo confirmaron: el gran campamento de Ehrlich y la avanzada menor de Blöskopf eran contemporáneos y probablemente estaban relacionados. Es más, la estructura de Blöskopf estaba en una zona donde hoy sabemos que abundaba la plata. Los ingenieros romanos se habrían guiado por diversas pistas del paisaje para determinar que en Blöskopf valía la pena abrir una mina. El campamento de Ehrlich seguramente funcionaba como cuartel general de Roma en la zona, abasteciendo a los legionarios que trabajaban en la mina de Blöskopf y guarnecían la avanzada. Entonces Eigenbrod llevó a Auth y al especialista en minería romana Markus Helfert al túnel que horadaba la colina de Blöskopf. Helfert confirmó su origen romano con casi total seguridad. Aquella constatación bastó para que los arqueólogos reconociesen que Eigenbrod tenía razón desde el principio: era probable que Tácito se refiriese a aquellos lugares.

Cuando llevaban unas semanas excavando en Blöskopf, Auth y su equipo hicieron un descubrimiento que corroboraba otro pasaje de las crónicas históricas romanas. En una zanja, a casi dos metros de profundidad, hallaron lo que parecía la espinosa columna vertebral de un monstruo prehistórico. Retiraron la tierra rojiza que lo cubría y encontraron una serie de estacas afiladas que sobresalían en ángulos escalonados, clavadas en el fondo de una trinchera que en su día rodeó la avanzada. El obstáculo, diseñado para repeler a cualquier atacante, se parecía a una defensa que Julio César describe en sus textos sobre la guerra de las Galias, un siglo antes de construirse el fuerte de Blöskopf: «Quienes allí entraban, ellos mismos se clavaban en aquellas agudísimas empalizadas».

## El procesamiento de la plata en la época romana

### 1. EXTRACCIÓN

# UN TRABAJO DIFÍCIL Y PELIGROSO

La minería en Blöskopf estaba a cargo de soldados romanos, habituados a buscar materiales y construir fuertes, pero no al agotador trabajo de cavar bajo tierra. Con una larga lista de peligros, como inundaciones, gases nocivos, falta de aire y derrumbamientos, la actividad minera solía relegarse a mano de obra civil.



Los trabajadores usaban herramientas de hierro para extraer trozos de roca que luego trituraban, lavaban, clasificaban y tostaban antes de fundirlos. Si las paredes de las galerías eran muy duras, encendían fuegos para debilitarlas.



La altura del pozo no está a escala

El túnel tiene entre 0,8-1 m de ancho



Pico

#### DESCUBRIMIENTO

Mediante un escáner lidar, los arqueólogos han identificado un sistema de túneles al oeste de la avanzada de Blöskopf.

#### EXCAVACIÓN

Para encontrar y acceder a los yacimientos, primero se excavaban pozos estrechos y verticales, que también aportaban ventilación al túnel.

#### HERRAMIENTAS

Los mineros se valían de diversas herramientas de hierro, como picos y martillos, para excavar y extraer el mineral en espacios reducidos.

No se han encontrado evidencias de fundición y copelación en Blöskopf, pero los arqueólogos sospechan que podrían haber tenido lugar en los cercanos valles del Emsbach o del Lahn.

## 2. FUNDICIÓN



A continuación, la mena se metía en un horno con carbón vegetal. La temperatura se elevaba avivando el fuego con fuelles, y el plomo fundido fluía hacia un molde.

## 3. COPELACIÓN



El plomo se pasaba a copelas y se calentaba a más de 1.000°C. Al oxidarse el plomo se separaban los metales, se absorbían las impurezas y se recogía la plata.



### VISIBILIDAD

Los trabajadores pasaban largos períodos en el túnel, mal iluminado por lámparas de aceite hechas de terracota.

### EXTRACCIÓN

El mineral y la roca estéril se sacaban de la mina en cestas que posiblemente se izaban por los pozos.

### TRANSPORTE

Tras el procesamiento inicial, el mineral se transportaba a un lugar de fundición en carros de bueyes, burros o mulas.



### BRILLO Y ESPLENDOR

Los romanos usaban la plata para crear piezas muy diversas y de gran belleza. Este puñal, de la época del nacimiento de Cristo, presenta un intrincado trabajo de orfebrería en el mango y la vaina. Con oro y gemas se adornó un broche de plata (abajo, a la izquierda) que se estilaba en el siglo II. La «pátera de Minerva» (página siguiente), hallada en la Baja Sajonia en 1868, data del siglo I.

Las tropas de César daban a las estacas el nombre de *cippi* (cepos). Auth y sus colegas llamarían a la versión que encontraron *pila fossata*, o «estacas de trinchera». Se cree que estos peligrosos dispositivos rodeaban los campamentos de todo el mundo romano, pero nunca se habían encontrado ni han vuelto a encontrarse *in situ*.

Tan emocionante como el hallazgo de las estacas fue el milagro de su conservación. Durante dos milenios, aquel suelo denso y pobre en oxígeno había conservado un grado de humedad suficiente para que las estacas se mantuviesen empapadas y estructuralmente estables. Las *pila fossata* se extrajeron en 2019. Según Auth, justo a tiempo. La creciente sequedad del suelo, explica, habría provocado que la madera empezase a descomponerse, y este valiosísimo testimonio del ingenio y la fiereza de Roma se habría perdido para siempre. Es fácil imaginar las puntas asesinas protegiendo el campamento *sine die* si el Imperio no hubiese abandonado sus esfuerzos mineros.

**LA PROBABLE CONFIRMACIÓN** del relato de Tácito planteó un interrogante: ¿cuánta plata tuvieron al alcance de la mano sin saberlo los hombres de Rufo? El estudio de Auth sobre Blöskopf reveló que los romanos estuvieron a punto de localizar un filón de mena de plata que podría haber rivalizado con las minas más ricas de Hispania: el llamado Emser Gangzug, o filón del Ems, que se extiende 16 kilómetros desde el norte de Bad Ems hasta el Rin. Se calcula que en la era moderna se extrajeron más de 200 toneladas de plata hasta que la actividad extractiva se clausuró definitivamente en las últimas semanas de la Segunda Guerra Mundial.

«Si hubiesen sabido que existía aquella plata, si hubiesen dado con el lugar adecuado —señala Auth—, [los romanos] habrían tenido la oportunidad de explotar el filón de Bad Ems durante unos 200 años, hasta que



abandonaron por completo sus posesiones a este lado del Rin».

Las fuerzas romanas tenían un control firme sobre la Germania Superior, pero no sobre el propio Blöskopf. Se retiraron hacia el oeste cruzando el Rin hacia el año 260, dos siglos antes de la caída del Imperio occidental. Es tentador imaginar cómo aquella plata podría haber ampliado el territorio de Roma, prolongado su duración o incluso acelerado su decadencia. Este tipo de hipótesis, las llamadas contrafactualidades, son el eterno juego de salón de la historiografía, pese a su naturaleza especulativa. Si los legionarios hubiesen extraído toda la plata que yacía bajo sus sandalias, «no habría bastado para financiar todo el Imperio romano» durante siglos, «pero sin duda habría marcado la diferencia», afirma Auth, no sin antes advertir

que la mena de plata probablemente se hallaba de todos modos a demasiada profundidad para la tecnología romana de la época. Las autoridades romanas no habrían tenido motivos para prolongar su presencia en una zona cuando no existía un recurso fácilmente explotable. «Si no arañamos nada –resume Scholz, pensando como un romano–, levantamos el campamento y nos vamos».

Jürgen Eigenbrod falleció de un infarto en 2023, una semana después de que numerosos medios destacasen la ironía del tesoro romano que pudo haber sido y no fue. Vivió para ver, aunque fuese por unos días, el fruto de sus aportaciones a la arqueología y a la historia. Al igual que los romanos de hace dos milenios, contempló la tierra pensando en la riqueza que yacía bajo ella. Pero a diferencia de ellos, él sí encontró lo que buscaba. □

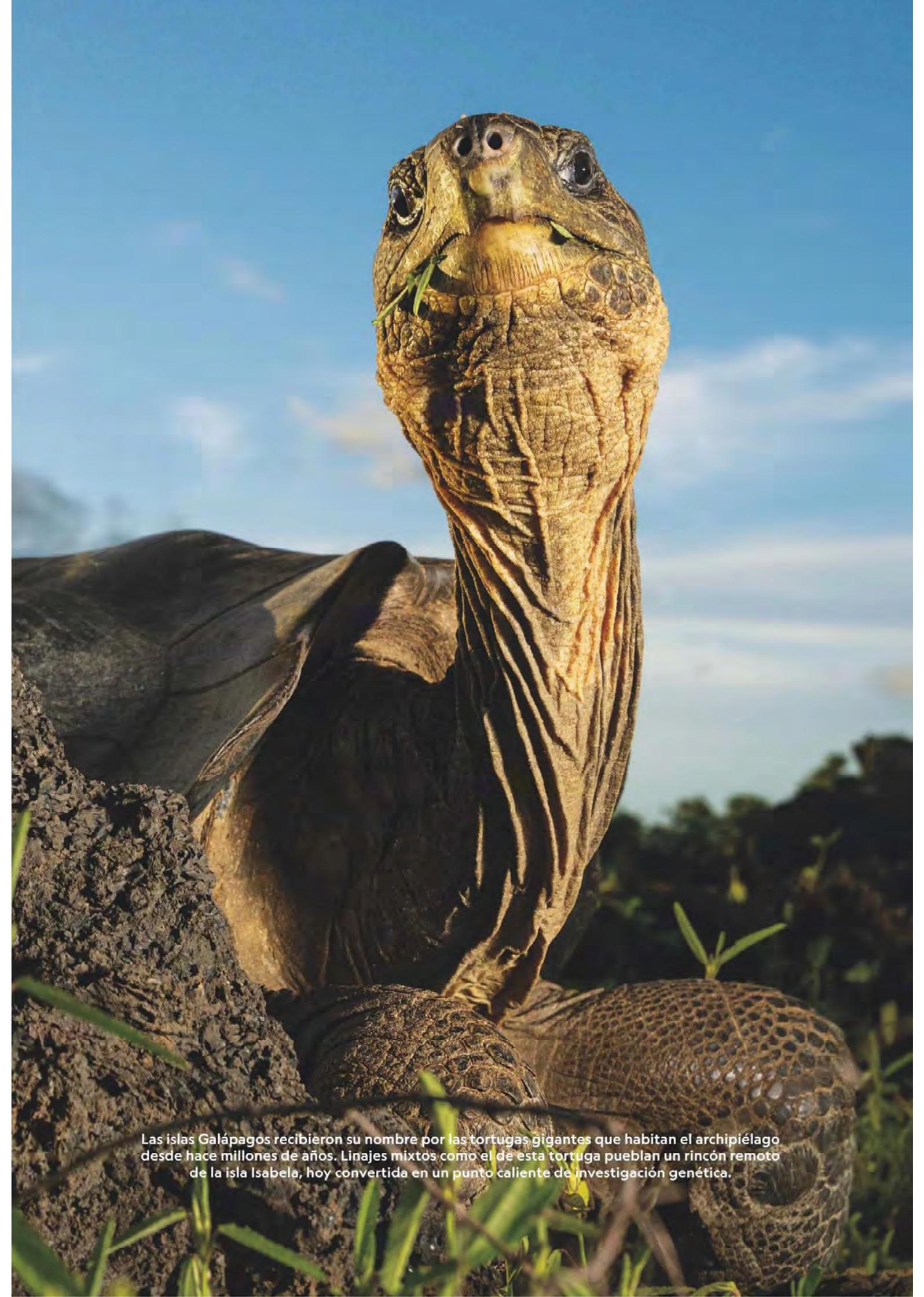
---

# RESUCITANDO A LAS TORTUGAS PERDIDAS DE LAS GALÁPAGOS

---

Cautivaron a los marineros. Inspiraron a Darwin.  
Después, a mediados del siglo XIX, las emblemáticas  
tortugas gigantes de Floreana desaparecieron.  
Pero un grupo de científicos obstinados han  
desvelado los secretos para recuperarlas.

TEXTO DE HANNAH NORDHAUS  
FOTOGRAFÍAS DE LUCAS BUSTAMANTE



Las islas Galápagos recibieron su nombre por las tortugas gigantes que habitan el archipiélago desde hace millones de años. Linajes mixtos como el de esta tortuga pueblan un rincón remoto de la isla Isabela, hoy convertida en un punto caliente de investigación genética.



octubre de 1820, el ballenero *Essex*, con base en Nantucket, fondeó en un puerto verdeazulado de la isla Floreana, en el archipiélago de las Galápagos, a más de 1.000 kilómetros de Ecuador.

Los marineros arribaron a la orilla en sus botes y recorrieron los senderos abiertos por reptiles antediluvianos, atravesando terrenos de basalto quebrado y enmarañados matorrales de cactus y de monte salado, «sin dejar de vigilar –escribió el grumete Thomas Nickerson– por si apareciese el objeto de sus afanes».

Buscaban tortugas gigantes de las Galápagos. Las tortugas variaban de una isla a otra –unas tenían el caparazón redondo, en forma de domo, mientras que el de otras se curvaba hacia arriba en la parte delantera, como si fuese una silla de montar–, pero en todos los casos un solo ejemplar podía alimentar a varios marineros. Cuando los balleneros encontraban una de pequeño tamaño, la volteaban, le ataban a cada pata una cinta de lona y se la echaban a la espalda a modo de mochila. Las más grandes, algunas superaban los 225 kilos, las ataban por las patas a unas largas pértigas y dos o tres hombres por cada lado las acarreaban de vuelta al barco a través de terrenos de rocas volcánicas irregulares y afiladas.

Allí estaban a sus presas boca arriba en la bodega, como si apilasen cuencos. Las tortugas podían vivir hasta un año sin alimento. «No comen ni beben, y no se les presta el más mínimo cuidado –escribió Owen Chase, primer oficial del barco–. Están colocadas sobre la cubierta, por donde se anda, o estibadas en la bodega, según convenga». El *Essex* se llevó consigo más de 60 tortugas de Floreana, las que tenían el caparazón en forma de silla de montar y, en palabras de Nickerson, «la carne más sabrosa y deliciosa que he probado jamás». Luego el barco zarpó hacia los caladeros balleneros del Pacífico, donde un mes después fue embestido por una ballena, una catástrofe que inspiró el *Moby Dick* de Herman Melville. Los marineros rescataron del barco que se iba a pique tantas tortugas como lograron alojar en sus pequeños botes, y se las comieron –hasta que empezaron a comerse unos a otros– durante su infausto viaje de regreso al continente sudamericano. Las demás tortugas se hundieron con el barco o se alejaron flotando.

El *Essex* no era ni mucho menos el único barco que saqueaba tortugas de las Galápagos. Cuando Charles Darwin llegó a Floreana en 1835, en el viaje que daría lugar a su teoría de la evolución, le hablaron de barcos balleneros que capturaban hasta 700 ejemplares en una sola incursión. «Huelga decir que su número se ha reducido considerablemente en esta isla», dejó escrito. Los historiadores estiman que entre 1774 y 1860 los barcos que pasaban por la zona capturaron unas 100.000 de las casi 300.000 tortugas que

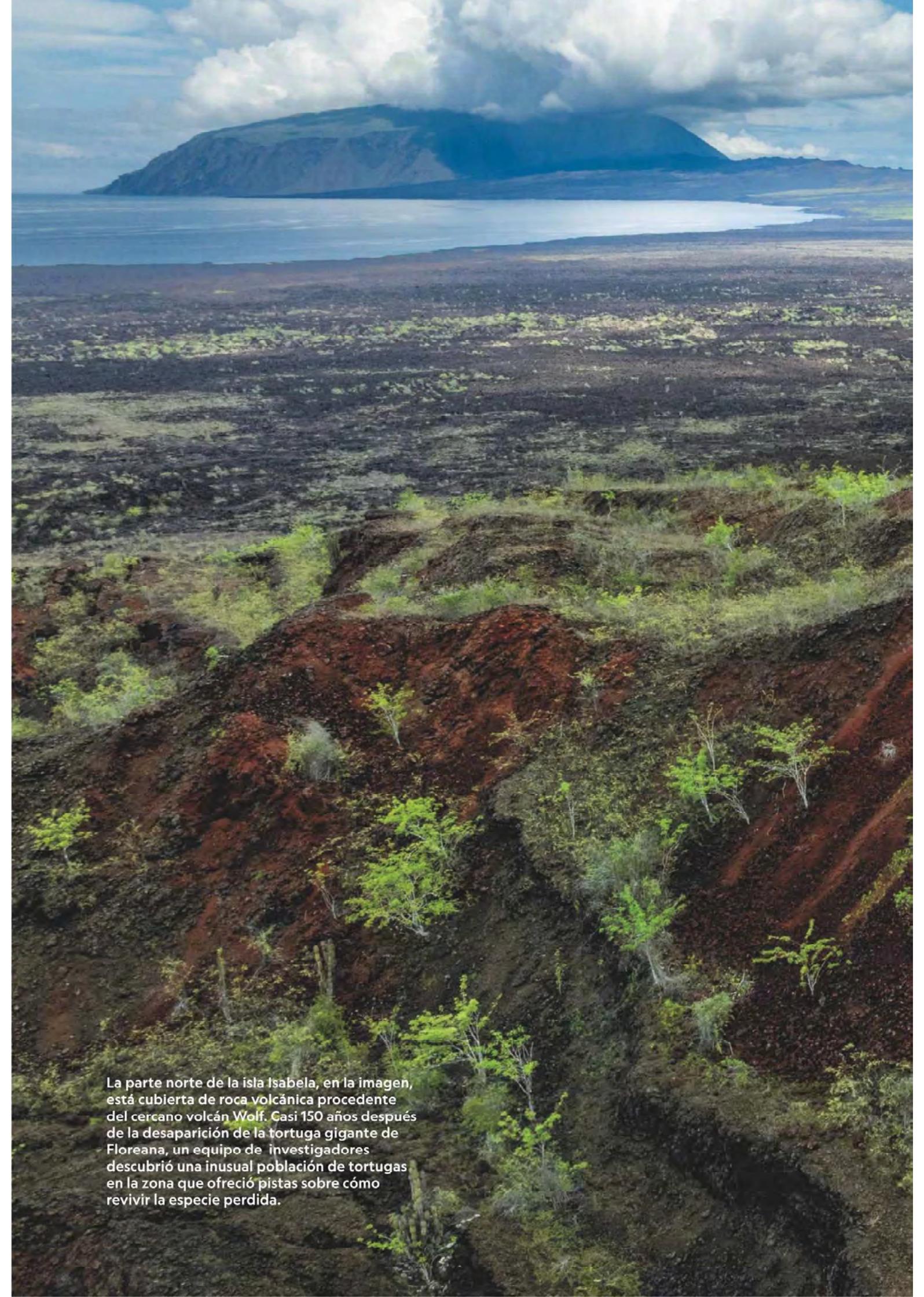
 National Geographic Society, organización sin ánimo de lucro comprometida con la divulgación y protección de las maravillas de nuestro planeta, ha financiado el trabajo de las Exploradoras de National Geographic Hannah Nordhaus y Adalgisa Caccone.

---

habitaban las islas a la llegada de los españoles en 1535, lo que provocó el desplome de las poblaciones de las 15 especies de tortugas gigantes de las Galápagos y la extinción de tres de ellas. La de Floreana, avistada por última vez en la década de 1850, fue la primera en desaparecer.

Casi dos siglos después, sin embargo, esta tortuga está a punto de convertirse en la primera especie extinta de las Galápagos que vuelve a su hogar ancestral. El regreso de estas gigantescas criaturas llega en un momento en el que la «resurrección» de los lobos gigantes acapara titulares y la ciencia trabaja para recuperar los genes de otros animales desaparecidos hace tiempo, como el mamut lanudo. Estas especies prehistóricas volverían a un mundo que lleva milenios viviendo sin ellas. Las descendientes de las tortugas de Floreana, en cambio, se reintroducirán en el mismo entorno que antaño habitaron, donde desempeñarán un papel fundamental en un ecosistema que todavía las necesita desesperadamente. Para lograrlo, un equipo científico no solo ha llevado más allá los límites de la secuenciación genética para identificar una especie oculta, sino que también ha viajado a los confines más remotos del archipiélago y examinado huesos y caparazones en archivos polvorientos para rectificar uno de los grandes errores de la historia de las Galápagos.

Este singular viaje científico empezó en el año 2000, cuando un grupo de investigadores especializados en conservación que recorría las frondosas gargantas sobre las que descuella el remoto volcán Wolf, en la isla noroccidental de Isabela, confirmó observaciones anteriores que indicaban que algunas tortugas del lugar presentaban un aspecto diferente. Tenían el caparazón en forma de silla de montar, lo que indicaba que no se trataba de las tortugas de



La parte norte de la isla Isabela, en la imagen, está cubierta de roca volcánica procedente del cercano volcán Wolf. Casi 150 años después de la desaparición de la tortuga gigante de Floreana, un equipo de investigadores descubrió una inusual población de tortugas en la zona que ofreció pistas sobre cómo revivir la especie perdida.

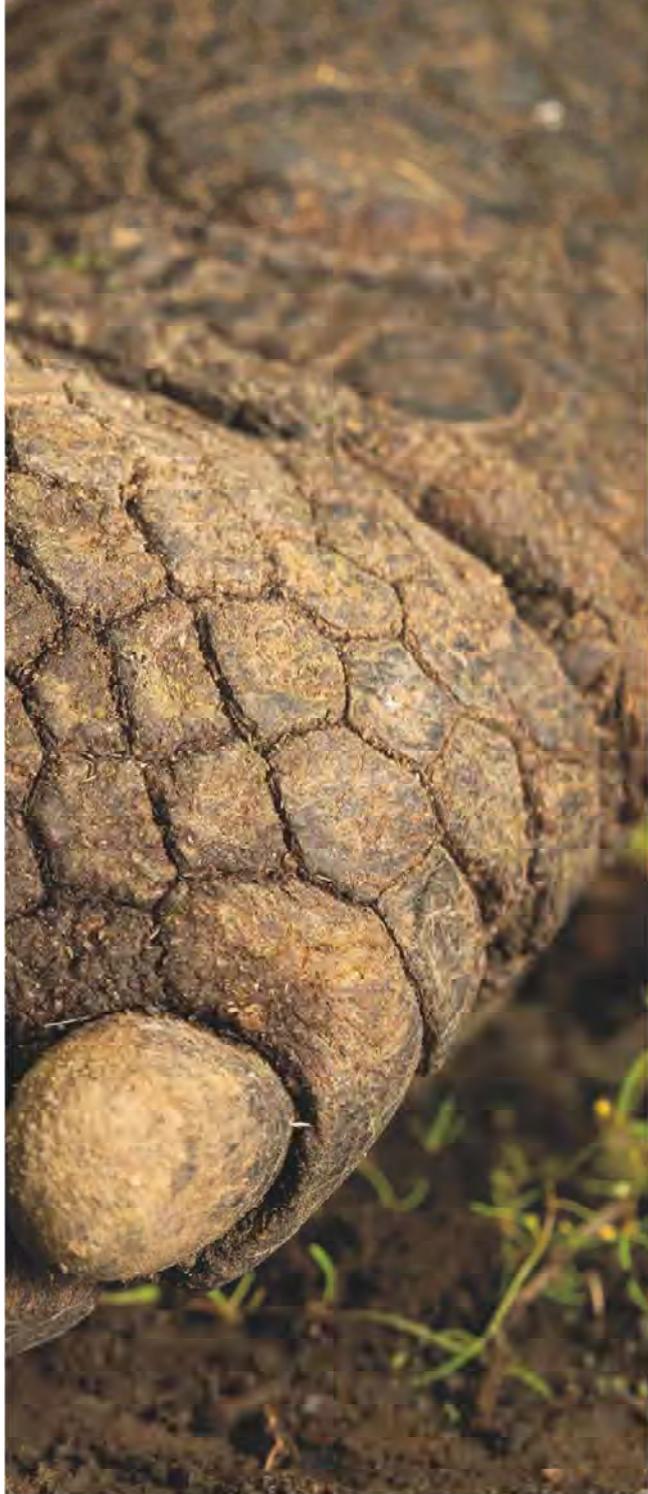




caparazón en forma de domo, más conocidas, que habitaban en las laderas más altas y húmedas del volcán. «Había grupos de tortugas que parecían fuera de lugar», recuerda el biólogo James Gibbs, Explorador de National Geographic al frente de Galápagos Conservancy, que vela por la protección y restauración de los ecosistemas naturales del archipiélago.

Para obtener más información, Gibbs y su equipo tomaron muestras de sangre «de toda tortuga de aspecto inusual» que se encontraron

en el camino, colocaron marcas de identificación en tantas como pudieron y enviaron las muestras a su colega Adalgisa «Gisella» Caccone, bióloga evolutiva de la Universidad Yale y también Exploradora de National Geographic. Cuando analizó su ADN, la científica no consiguió identificar sus secuencias genéticas. No coincidían con las de ninguna especie de tortuga viva recogida en su base de datos de ADN. Caccone no se lo explicaba. «Las llamé "alienígenas" –dice–, porque no sabíamos de dónde venían».



Los investigadores se plantearon la posibilidad de que algunos de aquellos animales pudiesen haber llegado a la costa flotando desde barcos balleneros como el *Essex*. La bahía de Banks, en el flanco occidental del volcán, era el último fondeadero de las Galápagos para muchos buques que se dirigían a los caladeros de ballenas, y era bien sabido que a veces los marineros arrojaban por la borda el excedente antes de zarpar. Era posible que algunas de aquellas tortugas desechadas hubiesen llegado a la costa y ascendido

A la llegada de los españoles en 1535, cientos de miles de tortugas vivían en las islas. En los siglos siguientes, la carne de estos reptiles pasó a ser un alimento básico para los marineros hambrientos, lo que amenazó la supervivencia de las especies. Pero en los últimos 50 años las poblaciones de tortugas han empezado a recuperarse gracias a la protección que les brindan el Parque Nacional de las Galápagos, los científicos y los grupos conservacionistas.

por la escarpada ladera del volcán, donde habrían convivido con las tortugas autóctonas y, con el tiempo, se habrían cruzado con ellas.

Los balleneros causaron la pérdida de cantidades ingentes de tortugas gigantes: mataron y se comieron a la mayoría y se llevaron algunas a sus países como trofeos o mascotas. Pero tal vez, especularon los científicos, también habían asegurado casualmente la supervivencia de sus genes. Tras muchos avances en el ámbito de la secuenciación genética, saltaba a la vista que aquellos marineros habían sembrado pistas importantes para volver a la vida a una especie.

---

**L**os científicos llevan trabajando para salvar a las tortugas gigantes de las Galápagos desde mediados del siglo XX, cuando solo quedaban unos pocos miles de ejemplares en todo el archipiélago. Ya no había balleneros, pero las tortugas continuaban siendo presa de los animales que aquellos buques habían llevado a las islas: ratas, cerdos, perros y hormigas que se comían sus huevos y sus crías, y cabras y burros que alteraban y devoraban sus fuentes de alimento. Las autoridades del Parque Nacional de las Galápagos sabían que tenían que hacer algo si no querían arriesgarse a perder especies enteras. A partir de la década de 1960, los equipos de conservación se valieron de las limitadas herramientas disponibles por entonces para intentar salvarlas.

Empezaron en la isla Española, al este de Floreana, donde la población se había reducido a tan solo 14 ejemplares. Entre 1964 y 1974, las

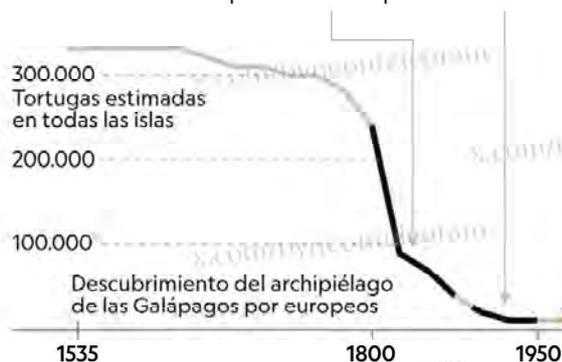
## TRAS SIGLOS DE DECLIVE, EN LAS ISLAS BRILLA HOY LA ESPERANZA

La explotación humana de las tortugas gigantes de las Galápagos provocó el desplome de todas las especies, tres de las cuales se extinguieron. Décadas de esfuerzos de conservación, con medidas como la cría en cautividad y el control de animales invasores, han revertido la caída de la población.

### Período de explotación (1800-1950)

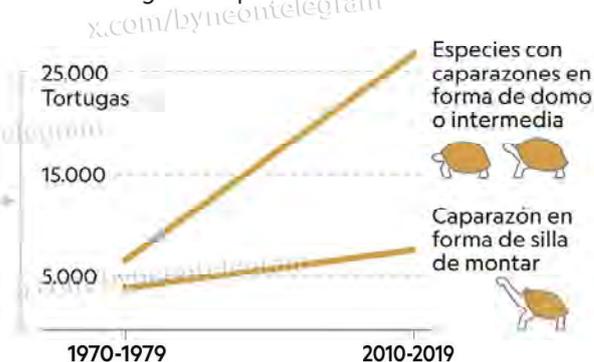
**Captura de ballenas**  
Los marineros se alimentaban de tortugas y se las llevaban a sus barcos a modo de provisiones.

**Colonización**  
El sobreconsumo y la introducción de perros y ratas redujeron las poblaciones.



### Período de conservación (a partir de 1970)

Las especies con caparazón en forma de silla de montar ocupan islas más accesibles para los marineros y, por ende, eran fáciles de capturar. Su número no se ha recuperado tanto como el de las tortugas de caparazón en forma de domo.



ENLACE AL CANAL

x.com/byneontelegram

Ó escanea el código QR:



### Tortugas y balleneros

En los siglos XVIII y XIX, cuando los balleneros visitaban las Galápagos, las tripulaciones capturaban estos enormes animales, de los que sacaban aceite y alimento a bordo de sus barcos. Esta práctica habitual provocó la extinción de la especie de Floreana en la década de 1850.



GRÁFICO: DIANA MARQUÉS Y SEAN MCNAUGHTON, NGM. FUENTE: JAMES GIBBS, GALÁPAGOS CONSERVANCY. FOTOS: MUSEO DE HISTORIA NATURAL, LONDRES/SCIENCE PHOTO LIBRARY (TORTUGA); ALPHA STOCK/ALAMY STOCK PHOTO (HOMBRES)

autoridades del parque trasladaron a todas las tortugas de la isla a la Estación Científica Charles Darwin, sita en la sede del parque, en la isla Santa Cruz. Con ayuda de un macho robusto procedente del zoológico de San Diego –que según los registros había llegado de la Española en los años treinta–, criaron miles de tortuguitas. Tras una denodada campaña de erradicación de las cabras de la isla, reintrodujeron las crías, y hoy viven en ella más de 3.000 tortugas.

Los equipos del parque repitieron ese éxito en otras islas. Pero todos esos triunfos no bastaron para compensar una inmensa decepción: la de no encontrar pareja para la última tortuga de la isla Pinta, al norte de Floreana. Los científicos habían rescatado a aquel animal –al que llamaron *George el solitario*– de su isla natal a principios de los años setenta y lo habían trasladado a un recinto de la estación de investigación del parque; pretendían evitar la extinción de una cuarta especie. En los años siguientes le buscaron pareja sin cesar. Primero registraron Pinta, pero fue en balde. Luego colocaron hembras de otras especies con caparazón en forma de silla de montar en el recinto de *George*. Cuando él no mostró el menor interés en reproducirse, recurrieron a la inseminación artificial; las hembras por fin anidaron en el recinto de *George*, pero ningún huevo fructificó. A principios de este siglo, el emblemático macho tenía casi 100 años y su especie estaba a punto de desaparecer.

En paralelo, los avances en la tecnología de secuenciación del genoma ampliaron la batería de herramientas a disposición de Caccone para identificar a las «alienígenas» del volcán Wolf. En 2006 volvió a analizar el ADN de las muestras con un método nuevo y descubrió algo asombroso:

la sangre recogida pertenecía a un ejemplar con un 50 por ciento de genética de tortuga gigante de Pinta. Quizá no era demasiado tarde para *George el solitario* y podían encontrar parientes de las tortugas de Pinta en la isla Isabela y salvar la especie. Entusiasmada, Caccone propuso al parque enviar otra expedición al volcán.

Mientras trataba de identificar los otros genes extraños del volcán Wolf, Caccone también empezó a examinar más de cerca las tres especies que entonces se creían extintas: las tortugas gigantes de Santa Fe, de Fernandina y de Floreana. Sin el ADN de animales vivos con el que comparar los genes sin identificar, las únicas células que podía secuenciar eran las de viejos especímenes sacados del archipiélago por balleneros o coleccionistas científicos. «Recorrimos los museos para hacer acopio de muestras de huesos y piel», relata Caccone. En el Museo Americano de Historia Natural encontraron huesos que un naturalista neoyorquino había desenterrado en 1928 en cuevas volcánicas de Floreana; en el Museo de Zoología Com-

parada de la Universidad Harvard localizaron huesos y caparazones recogidos en 1834 y 1872. «Eran muy porosos –recuerda Caccone–, quebradizos y deshidratados», pero aun así logró raspar suficiente material genético como para secuenciar su ADN. Y «¡Bingo! –dice–. Las tortugas "alienígenas" pertenecían al mismo clado [grupo ancestral] que las de Floreana». Las que tienen caparazón de silla de montar eran un híbrido de la especie nativa del volcán Wolf, con el caparazón en forma de domo, y la especie de Floreana, con el caparazón en forma de silla de montar y extinguida hacía mucho tiempo.

---

## Un equipo científico viajó a los confines más remotos del archipiélago y examinó huesos y caparazones en archivos polvorientos para rectificar uno de los grandes errores de la historia de las Galápagos.



Las especulaciones de los científicos habían sido correctas. Las tortugas abandonadas por los balleneros habían sobrevivido y se habían cruzado.

En 2008, una gran expedición regresó al volcán Wolf para recoger más muestras; el equipo buscaba hacerse una idea más precisa del número de tortugas de Floreana y de Pinta que había en la isla y localizar posibles parejas para *George*. Personal del parque y de Galápagos Conservancy instalaron campamentos alrededor del volcán y recogieron muestras de sangre de 1.667 ejemplares, a los que también colocaron marcas de identificación. En su laboratorio de Yale, Caccone cotejó esas muestras con su base de datos ampliada y encontró 17 tortugas con genes de Pinta y 84 con ascendencia de Floreana. Con la esperanza de dar con más tortugas de Pinta,

el equipo del parque se embarcó en un complejo proceso de planificación, autorización y financiación de otra expedición al volcán con un helicóptero y redes para recuperar esos híbridos. Pero en junio de 2012 *George el Solitario* apareció muerto en su recinto. Era el fin de su linaje, el fin de su especie. (La necropsia revelaría que *George* presentaba un problema anatómico en el conducto deferente y que seguramente era estéril).

Abandonado el plan de salvar la especie de Pinta, los científicos se centraron en los híbridos de Floreana. «Habíamos perdido la esperanza hacía tanto tiempo», explica Gibbs, que los investigadores tardaron en comprender la oportunidad que suponían aquellas reliquias vivientes. Al hacerlo, se dieron cuenta de que aquello era «tan importante» como encontrar tortugas de

Los huesos y caparazones preservados de especies extintas han sido cruciales para la labor de la bióloga evolutiva Adalgisa Caccone (abajo). Su equipo y ella trabajaron con piezas halladas en Floreana en 1928, como este caparazón (izquierda). Gracias a ellas pudieron determinar que las misteriosas tortugas de Isabela descenden de la tortuga de Floreana, una especie que lleva mucho tiempo extinta.



Pinta en el volcán Wolf. Fue entonces cuando el equipo de conservación se planteó un plan radical: capturar y criar a descendientes de la especie y repoblar Floreana, donde hacía más de 150 años que no vivían aquellas tortugas.

La trascendencia de devolver tortugas a Floreana no estribaba solo en que la ciencia hubiese encontrado una especie perdida; además era crucial desde el punto de vista ecológico. Ya Darwin había observado en las Galápagos que las especies estaban extraordinariamente adaptadas a su hábitat. Pero hasta hace muy poco los ecólogos

no eran conscientes de que los hábitats estaban a su vez sumamente adaptados a sus habitantes.

Cuando la última tortuga desapareció de Floreana, las especies de la isla acusaron la pérdida. Empezaron a morir importantes plantas autóctonas, al tiempo que se multiplicaban las poblaciones invasoras de plagas, plantas y ganado, que devoraban o desplazaban a la fauniflora nativa. A finales del siglo XIX, el sinsonte de Floreana, la culebra del este de Galápagos occidental, la polluela de Galápagos y el busardo de Galápagos habían desaparecido de la isla. En años subsiguientes siguieron el mismo camino el pinzón, la lechuza de Galápagos, la gaviota fuliginosa y el mosquero de Galápagos.

Las autoridades del parque esperan remendar el roto que la desaparición de las tortugas dejó





### Selección natural

El caparazón en forma de silla de montar se curva hacia arriba para que las tortugas alcancen las plantas más altas en hábitats áridos; en contraste, las especies con el caparazón en forma de domo se alimentan de la vegetación del suelo en entornos húmedos. Los científicos llaman «intermedias» a las variedades que combinan ambos rasgos físicos.

### Cobertura terrestre



### Forma del caparazón



10 km

## O C E A N O P A C Í F I C O



### Ingenieras del ecosistema

La reintroducción de tortugas criadas en cautividad en la isla Española ha contribuido a la recuperación de cactus, pastos, aves y reptiles autóctonos.



en el tejido del ecosistema. «Sin herbívoros gigantes, el equilibrio de un ecosistema insular puede venirse abajo», afirma Washington «Wacho» Tapia, biólogo dedicado a la conservación de las Galápagos desde los años noventa. Las tortugas son «ingenieras del ecosistema», modelan la vegetación mientras se desplazan por el paisaje como si fuesen excavadoras vivientes. «Aplanan el suelo y abren el terreno a los pequeños reptiles, las aves marinas que anidan en el suelo y las plantas nativas», explica Tapia, al tiempo que mantienen a raya las malas hierbas, ayudan a que se regeneren los cactus nativos, esparcen semillas con sus excrementos y crean charcas que también albergan otras especies.

Los investigadores sabían que las tortugas habían ayudado a restablecer el equilibrio ecológico en otras islas. En la isla Española, sin ir más lejos, los científicos documentaron la recuperación de gramíneas y cactus autóctonos, así como de las lagartijas de lava de la Española y los albatros de Galápagos, que habían declinado en ausencia de las tortugas. Allí donde han regresado los reptiles gigantes, los ecosistemas han prosperado. «En cierto modo, estamos ante un cambio de mentalidad en el ámbito de la restauración», señala Arturo Izurieta Valery, hasta hace poco director del parque. Los actuales equipos de conservación devuelven especies desaparecidas a sus hábitats con la mirada puesta en «una restauración ampliada del ecosistema».

Los nuevos conocimientos científicos sobre la genética de las especies garantizan que se críen animales realmente aptos para sobrevivir en cada lugar. «El objetivo de toda esa labor nunca ha sido desextinguir o recrear la tortuga gigante de Floreana, porque esa es una meta imposible», afirma Evelyn Jensen, bióloga de la conservación de la Universidad de Newcastle y ex investigadora postdoctoral de Caccone. Las tortugas son demasiado longevas y se reproducen muy tarde; perseguir una supuesta pureza «implicaría un proyecto a 500 años vista». El verdadero objetivo es que las descendientes de las especies extintas regresen, sobrevivan y cumplan el papel ecológico de sus antepasadas en su hábitat natural.

Pero Floreana ha cambiado mucho desde la última vez que una tortuga nativa pisó su suelo.

Hace unas pocas décadas, una expedición científica al volcán Wolf localizó estas tortugas de cuello largo y caparazón curvado. Al no parecerse a las tortugas autóctonas de la zona, el equipo se propuso investigar su origen.

Hoy alberga una población de 150 personas, junto con sus mascotas y su ganado... y miles de ratas y gatos asilvestrados que de buen grado se comerían los huevos y las crías, comprometiendo la capacidad de reproducción de la especie. Poco después de poner sus miras en la especie de Floreana, los responsables del parque empezaron a concertar reuniones con los isleños para que aprobasen un plan destinado a envenenar y atrapar a las ratas y los gatos. Había que erradicar o mantener a raya aquellos invasores si querían que las tortugas volviesen a poblar la isla.

A medida que avanzaban las negociaciones, el parque puso en marcha los preparativos para enviar al volcán una expedición de captura de tortugas híbridas. En 2015 los científicos llegaron justo antes de iniciarse la temporada de lluvias y se dispersaron por todo el volcán, abriéndose paso a machete por la espesa maleza. «No hay ni sombra ni agua –recuerda Tapia–. Las garrapatas te comen vivo». Era un paisaje infernal, lo que hacía todavía más notable la supervivencia de aquellas criaturas trasplantadas. Cuando llegaron las lluvias, las encañadas, barrancos que se inundan durante los aguaceros, empezaron a anegarse. «Oíamos a las tortugas reptando desde todas partes en dirección al agua», recuerda. Los investigadores capturaban dos o tres cada vez; luego, mientras el helicóptero sobrevolaba la zona, las cargaban en una gran red y las dejaban caer sobre la cubierta del barco, previamente acolchada con neumáticos de automóvil, y las apilaban boca arriba en el casco como hacían los balleneros dos siglos antes.

El equipo encontró «miles y miles» de tortugas en aquel volcán aislado, cuenta Caccone, y recogió 30 híbridos de Floreana. Pero todavía no podían llevarlas a la isla que les daba nombre. Antes tuvieron que transportarlas al centro de cría del parque nacional de la isla Santa Cruz para crear una población sana.





En la isla Santa Fe, cuyas tortugas gigantes autóctonas se han extinguido, los trabajadores del parque han soltado en la naturaleza una especie parecida que criaron en cautividad y trasladaron en helicóptero.





Los programas de cría en cautividad del archipiélago exigen un seguimiento minucioso de las crías que los científicos protegen y alimentan (abajo). La voluntaria Erika Kubisch y el conservacionista Walter Chimborazo (derecha) trasladan huevos de tortuga gigante de sus nidos a incubadoras del centro de reproducción de la isla Santa Cruz.



Los conocimientos científicos de Caccone siguieron guiando al equipo después de la expedición. Una vez que los ejemplares adultos llegaron a la estación científica, analizó sus genes para crear un «pedigrí», una lista de los individuos con altas proporciones de genes de Floreana. El objetivo era emparejar a las tortugas híbridas tanto para aumentar los genes de Floreana en su descendencia como para proteger su diversidad genética. «Si liberamos a todos los individuos idénticos y llega un virus, este podría llevárselos por delante», afirma.

Cuando llegó el momento de aparearlas, el equipo de cría colocó a tres hembras con dos machos. Si hubiesen sido más, los machos habrían empezado a pelearse. Los huevos fruto

de esos apareamientos –hasta 15 por puesta, del tamaño de una pelota de tenis– eclosionaron en incubadoras. Las crías, cada una del tamaño de la palma de la mano, pasaron a recintos separados por edades para madurar hasta que alcanzasen un tamaño suficiente para sobrevivir a la reintroducción, alrededor de los cinco años. Todas las crías de las tortugas de Wolf han demostrado ser «increíblemente sanas y robustas», afirma Gibbs. Actualmente 600 híbridas de Floreana viven en el centro de cría y 300 ya tienen edad para ser reintroducidas.

Por un camino arenoso en los confines de la estación científica, el director de cría del parque, Freddy Villalba, arroja un montón de ramas de porotillo, un árbol foráneo con hojas grandes en



forma de escudo, en el sombreado recinto que alberga 141 de las crías de Floreana de mayor edad y tamaño: cada una de ellas supera el medio metro de largo y están todas listas para regresar a la isla. Se reúnen en torno a su alimento, extendiendo el largo cuello y trepando las unas sobre las otras para llegar a las ramas, que en minutos reducen a grises palos deshojados. Villalba llama a este recinto «el corral de las locas».

Lo que hoy sabe Caccone sobre estas jóvenes tortugas era inconcebible hace tan solo una década. Ya ha secuenciado múltiples genomas de todas las especies de tortugas vivas de las Galápagos utilizando ADN nuclear, el manual genético individual «que nos hace ser quien somos», en palabras de su colega Evelyn Jensen.

Ese análisis en profundidad del genoma nuclear ha deparado algunas sorpresas de propina. Los primeros trabajos de Caccone habían demostrado que las «alienígenas» del volcán Wolf tenían una mezcla de ascendencia de Floreana, Isabela y Pinta. Pero después de examinar más especímenes de museo, Caccone y Jensen se dieron cuenta de que los híbridos de Wolf tenían menos ascendencia de Pinta de lo que creían. En cambio, el equipo encontró genes de tortugas de Española. «No hablamos del cruce de dos especies; pueden ser híbridos de tres o incluso cuatro especies», afirma Jensen. Y los científicos creen que es algo positivo. Con una «ascendencia compleja –añade–, lo cierto es que son bastante diversas genéticamente».



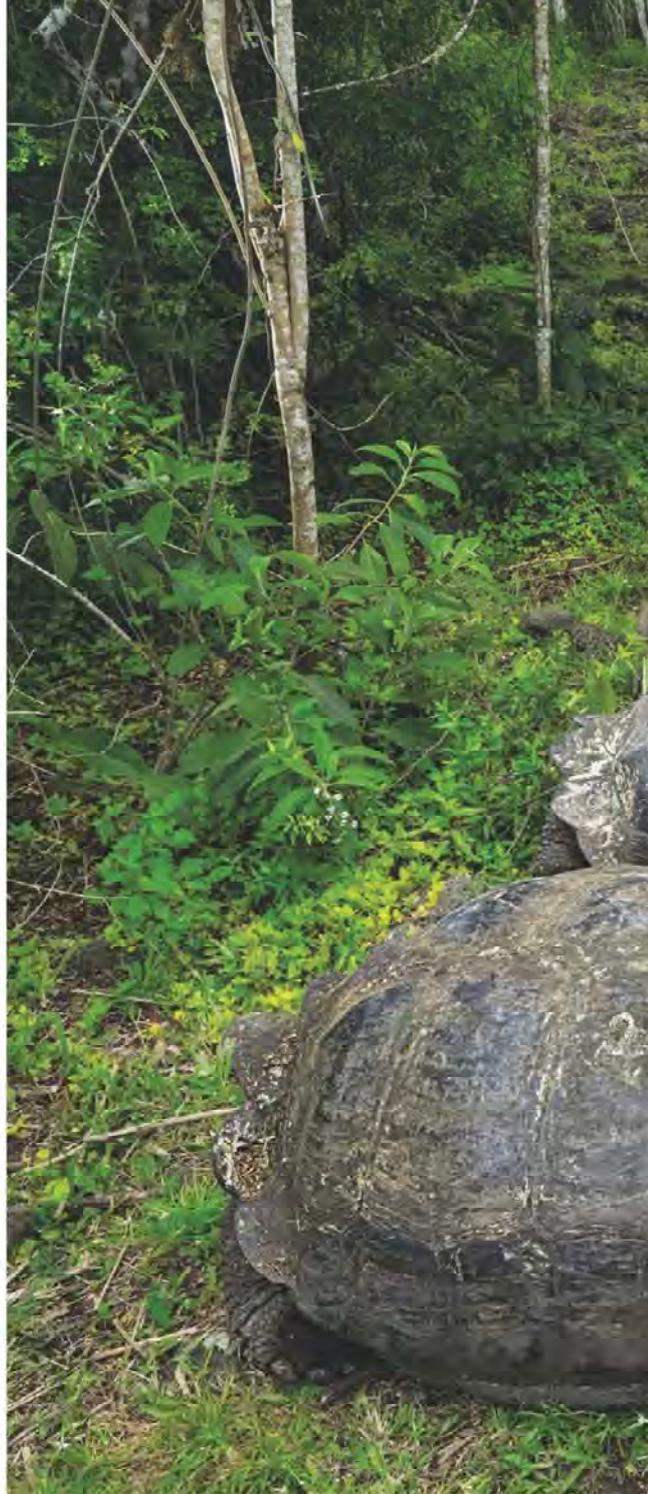
En el centro de reproducción de Santa Cruz se crían tortugas como esta para reintroducirlas en Floreana, donde llevan años extintas. Ahora unas 300 tortugas de las llamadas híbridas de Floreana están listas para la suelta después de una larga campaña de erradicación de ratas y gatos asilvestrados, especies foráneas que podían depredar a las frágiles crías.



Erradicar a los animales invasores que amenazan a las tortugas –como ratas, perros y hormigas– ha sido una batalla de años. La tortuga gigante del oeste de Santa Cruz, en la imagen, estaba amenazada por los cerdos asilvestrados que a menudo desentierran los nidos. Las iniciativas de erradicación han dado a las tortugas la oportunidad de aumentar sus poblaciones.

Qué sucederá en el próximo capítulo de esta historia sigue siendo un misterio para la ciencia. Quizá los híbridos con más genes nativos prosperen en Floreana. Pero la isla es actualmente un lugar distinto, un «ecosistema novel», como dicen los ecólogos, donde se mezclan especies nativas e introducidas. «Las locas» tendrán que lidiar con las zarzamoras, los limoneros y los guayabos invasores que trajeron los primeros colonos, dispondrán de menos cactus, que tanto les gusta comer, y habrán de lidiar con un clima cambiante. Los ecosistemas no son inmóviles, como tampoco lo son las especies o sus genes. El equipo pondrá a las tortugas en la isla, dice Caccone, y luego dejará que la selección natural siga su curso. «Las que sobrevivan probablemente serán las más aptas para vivir en ella –afirma–. Las que sobrevivan tendrán algunos genes de tortuga gigante de Floreana».

Para ayudar a las recién llegadas, el parque y un grupo conservacionista local llevan varios años implementando una serie de medidas para acabar con los gatos y las ratas invasores que suponen un riesgo para las tortugas. A finales de 2023, como colofón de ese esfuerzo, dos helicópteros ultraligeros sobrevolaron Floreana y arrojaron *pellets* de raticida sobre zonas deshabitadas, mientras varios equipos esparcían el veneno a mano cerca de las casas y granjas y colocaban trampas y salchichas envenenadas para matar a los gatos. Las autoridades del parque habían previsto la suelta de las tortugas el siguiente diciembre, cuando el inicio de la temporada húmeda garantizaría más alimento para los jóvenes reptiles. Pero las cámaras trampa revelaron que entre 40 y 50 ratas habían sobrevivido al veneno, por lo que se pospuso la reintroducción. En este momento la suelta está prevista para cuando empiecen las lluvias a finales de este año.



Sin embargo, incluso sin haber logrado la erradicación total el ecosistema ha comenzado a recuperarse. Con menos gatos y ratas, han regresado los cuclillos canela, los sinsontes y las palomas. A principios de este año, los trabajadores del parque oyeron el canto de una polluela de Galápagos, un ave que no se avistaba en la isla desde 1835, un melodioso *chi-chic-chi-chirré* que no se oía desde la época de los balleneros.

Cuando «las locas» regresen por fin a casa, viajarán primero en barco hasta un muelle del



pueblito de Puerto Velasco Ibarra y luego en camiones hasta el lado este de la isla. A medida que se acerquen a las tierras altas, los guardas del parque las ayudarán a completar el viaje echándose a la espalda sus 15 kilos de peso, igual que los balleneros se llevaban a sus antepasadas. Para las crías, acostumbradas a sus cómodos recintos, la vida será dura en el paisaje agreste e implacable de la isla: el sol castigador, la lava retorcida, la tierra negra y abrasadora, los peligrosos torrentes de la estación húmeda, los

largos períodos de sequía. La isla no es tanto una cuna de la vida como un testimonio de su dificultad y de su urgencia... y de su obstinación.

«¡Qué diferencia tan insignificante determina a menudo quién sobrevive y quién perece!», escribió Darwin. Estas criaturas híbridas sobrevivirán, o perecerán, en un mundo híbrido. □

---

La labor del fotógrafo Lucas Bustamante para este reportaje ha contado con el apoyo de Focused on Nature y Savia Fund.

Los científicos esperan que las híbridas de Floreana restauren el ecosistema. En otras islas donde las tortugas se han recuperado, el beneficio se ha hecho extensivo a gramíneas y cactus autóctonos, así como a los albatros de Galápagos y las lagartijas de lava. Llamadas ingenieras del ecosistema, estas herbívoras gigantes dan forma a la vegetación, dispersan semillas y actúan como excavadoras para abrir la tierra a otros animales.

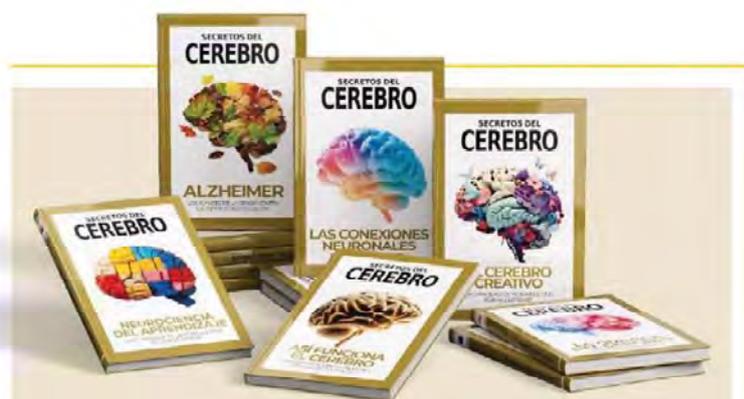




# Secretos del cerebro: la estructura más compleja del universo

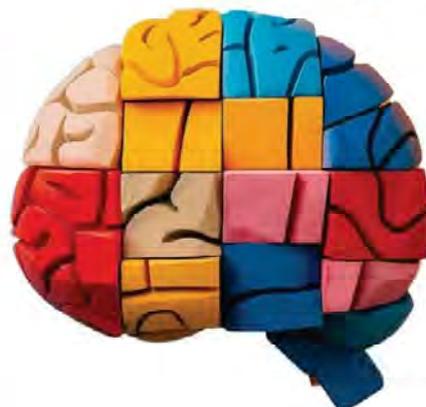
**EL CEREBRO ES LA ÚLTIMA** y más grandiosa frontera biológica, dijo en su día el físico británico y premio nobel de medicina Francis Crick. Pero aunque todavía nos falta mucho para comprender su extraordinaria complejidad, en las últimas décadas el conocimiento científico ha dado grandes pasos que, gracias a la neurociencia y la inteligencia artificial, han permitido revelar datos muy relevantes.

Descúbrelos en *Secretos del cerebro*, una colección que bajo el sello de RBA ha dirigido el experto en neurociencia celular Javier DeFelipe, una eminencia en la investigación de la microanatomía del cerebro y uno de los líderes del proyecto Human Brain Project, en colaboración con un equipo de especialistas en neurobiología, psicología cognitiva, medicina neurológica y computación y neuroingeniería. En los distintos volúmenes hallarás respuestas a las grandes preguntas: ¿cómo es y cómo funciona el cerebro? ¿Cómo evoluciona y envejece? ¿Cuáles son sus capacidades? La colección *Secretos del cerebro* pone a tu alcance los últimos avances y desafíos científicos explicados con un lenguaje tan ameno como riguroso.

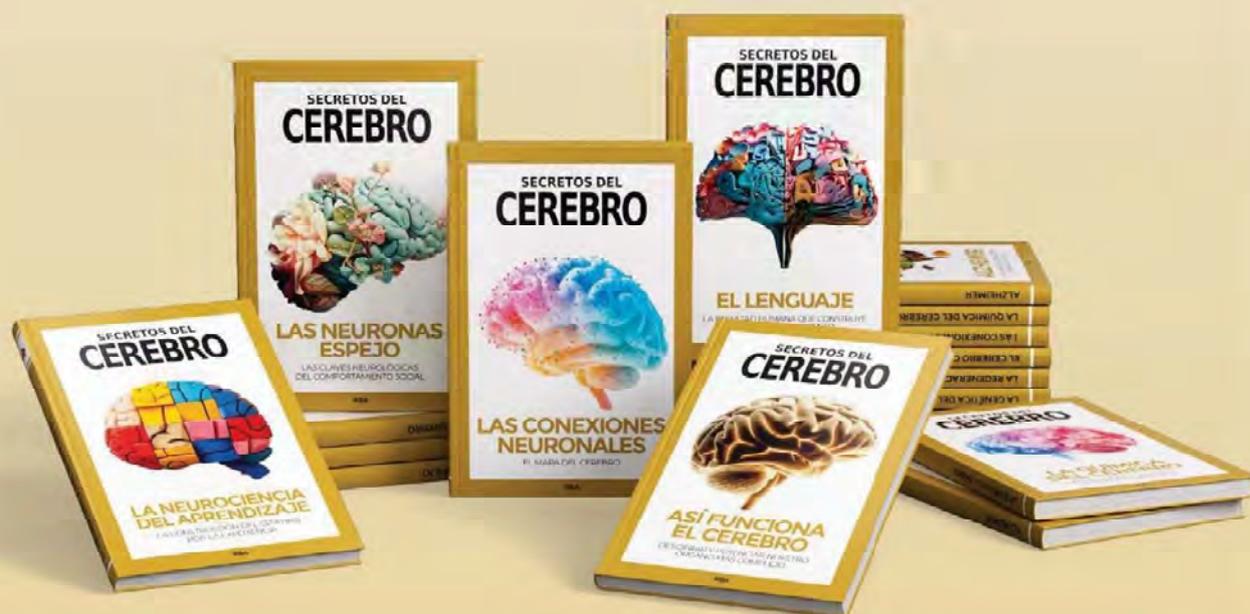


## UNA OBRA DE GRAN VALOR AL ACANCE DE TODOS

La colección está organizada en cuatro bloques temáticos: neuronas, moléculas y genética; desarrollo y envejecimiento; aprendizaje y cognición, y la salud del cerebro. La obra ofrece una mirada global a uno de los grandes retos científicos de nuestro tiempo. Un reto que encierra la que quizá sea la mayor y más fascinante aventura intelectual de la humanidad: comprender el cerebro y, en última instancia, lo que significa ser humano.



# SECRETOS DEL **CEREBRO**

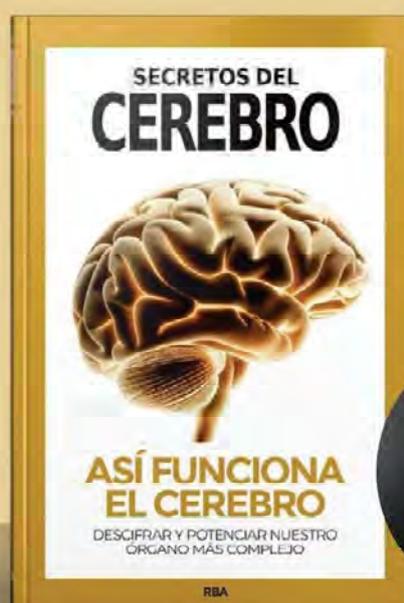


La memoria, el lenguaje, las emociones...

## **DESCUBRE EL ÓRGANO QUE NOS HACE HUMANOS**

Una visión clara, actualizada y científicamente rigurosa.

**ASÍ FUNCIONA EL CEREBRO  
YA A LA VENTA**



**TODOS LOS  
LIBROS DE  
LA COLECCIÓN**

**11,99€/ud.**

# RITMO GLOBAL

EVENTOS | MARCAS | PUBLICIDAD



## BIOPARC VALENCIA APUESTA POR REFUGIOS CLIMÁTICOS VEGETALES

Los sensores instalados en los cuatro hábitats del recorrido del parque de conservación de animales BIOPARC Valencia indican que la vegetación ha reducido hasta 7°C el promedio de la temperatura del lugar, lo que prueba científicamente los beneficios del impacto de los árboles y las plantas en las ciudades. El experimento demuestra la importancia de la instalación de islas de naturaleza en entornos urbanos.

[BIOPARCVALENCIA.ES](http://BIOPARCVALENCIA.ES)



## TINTOREMUS, TINTES NATURALES PARA UNA MODA SOSTENIBLE

Uno de los efectos adversos de la industria de la moda es la contaminación que provoca. Por eso, algunas firmas han sustituido los tintes sintéticos por compuestos naturales que carecen de productos químicos derivados del petróleo. Una de estas marcas sostenibles es Tintoremus, empresa pionera en la producción y comercialización de este tipo de prendas que acaba de abrir su primera tienda en Madrid.

[TINTOREMUS.COM](http://TINTOREMUS.COM)



## SHISEIDO ISSEY MIYAKE, EL DESPERTAR DE LOS SENTIDOS

Hace ya más de 30 años que Issey Miyake se inspiró en la naturaleza para recrear en un perfume la fuerza de una cascada emblemática. La historia de aquella fragancia exclusiva se reedita hoy en un nuevo capítulo olfativo que concentra el diálogo entre dos elementos: el mar y la tierra. En esta ocasión, presentado en un inconfundible frasco minimalista, obra del premiado diseñador Tokujin Yoshioka.

[SHISEIDO.ES](http://SHISEIDO.ES)



## INSTITUTO DE RADIOCIRUGÍA AVANZADA, MEDICINA DEL FUTURO

Uno de los principales logros de la medicina de precisión es su potencial para realizar tratamientos extraordinariamente personalizados. Entre las tecnologías de vanguardia de este campo destaca el sistema de radiocirugía estereotáctica cerebral, ZAP-X®, como el que ha incorporado el Instituto de Radiocirugía Avanzada (IRCA) para el tratamiento eficaz y no invasivo de lesiones de cabeza y cuello.

[IRCA-RADIOCIRUGIA.COM](http://IRCA-RADIOCIRUGIA.COM)



ENLACE AL CANAL

[x.com/byneontelegram](https://www.byneontelegram.com)

Ó escanea el código QR:



# GENGIS KAN, EL IMPERIO MONGOL

ESTRENO LUNES 8 DE SEPTIEMBRE  
A LAS 22:50 HORAS

El rápido ascenso al poder de Gengis Kan y la imparable expansión de sus dominios convirtieron al emperador mongol en el arquetipo del conquistador implacable. Sin embargo, el primer Gran Kan fue algo más que un feroz combatiente. También demostró ser un hábil estratega cuyo liderazgo dio lugar a uno de los imperios más extensos de la historia. Esta serie de National Geographic basada en la nueva traducción de la obra *Historia secreta de los mongoles* analiza el legado del hombre que forjó este vasto imperio.



## SAFARI LETAL, 2

DOMINGO 7 DE SEPTIEMBRE  
A LAS 18 HORAS

En la sabana africana mantenerse alerta en todo momento es imperativo, pues el peligro puede surgir de improviso detrás de cualquier arbusto. La segunda entrega de esta serie de National Geographic Wild ofrece impactantes secuencias tomadas por turistas que grabaron escenas escalofriantes de enfrentamientos entre depredadores. Por ejemplo, la lucha a muerte entre unos guepardos y unos cocodrilos por hacerse con una presa o la embestida de un león a un elefante desprevenido.



**NATIONAL  
GEOGRAPHIC**

**NATIONAL GEOGRAPHIC**

Emite 24 horas al día en:  
Movistar+ (Dial 70) Vodafone  
(104) Telecable (52) R Cable (50)  
Euskaltel (33) y Orange (30)



**WILD**

**NATIONAL GEOGRAPHIC WILD**

Emite 24 horas al día en:  
Movistar+ (Dial 71) Vodafone  
(105) Telecable (53) R Cable (55)  
Euskaltel (37) y Orange (31)

**EL ESPLENDOR DE LA CÓRDOBA CALIFAL**

Capital de las artes y las ciencias, la Córdoba de los omeyas andalusíes deslumbró al mundo en el siglo x. Recorrer su Mezquita-Catedral es descifrar su pasado, su auge y su caída.

**EL IGUANODONTE DE TERUEL**

El primer iguanodonte fue descubierto hace 200 años en Gran Bretaña. En la última década ha emergido otra especie, *Iguanodon galvensis*, gracias a las excavaciones en Teruel.

**DEL CAMPO A LA PERCHA**

Una firma de moda indonesia adopta técnicas tradicionales arraigadas en el país para constituir un nuevo modelo de fabricación y venta de ropa sostenible.

**UNA RAPAZ EN PELIGRO**

Un grupo conservacionista de Arizona idea soluciones imaginativas para salvar a un mochuelo que anida bajo tierra, hoy amenazado por el desarrollo urbanístico.



VUELVE JOHN REBUS

# IAN RANKIN

## AZUL MEDIANOCHE

EL INSPECTOR JOHN REBUS ESTÁ DE VUELTA

RBA

¡28/08/25 EN LIBRERÍAS!

DESCUBRE NUESTRO  
CANAL DE WHATSAPP





Los momentos,  
tal y como los ven tus ojos.

DESCUBRE LA NUEVA LEICA Q3 43.