



## Boletín mensual El desarrollo de la cooperación científica entre América Latina y los Institutos Max Planck Diciembre 2024

### Cooperación con América Latina

#### Estallan nanopartículas sobre la selva amazónica

Durante la temporada de lluvias en la selva amazónica, las fuertes lluvias ocurren con frecuencia durante la tarde. Para que se desarrollen las nubes y las precipitaciones, se requieren pequeñas partículas en el aire conocidas como núcleos de condensación de nubes para que el vapor de agua se condense y forme gotas de nubes. Pero, ¿cuáles son los orígenes de estos núcleos de condensación de nubes?

Un equipo de investigación internacional de Alemania, Brasil, Suecia y China demostró ahora que las lluvias inducen regularmente ráfagas de nanopartículas que pueden crecer para formar núcleos de condensación de nubes. Los científicos analizaron mediciones exhaustivas a largo plazo de partículas de aerosol, gases traza y datos meteorológicos del Observatorio de la Torre Alta del Amazonas, ATTO, que está equipado con instrumentación sofisticada y torres de medición de hasta 325 m de altura. El observatorio está ubicado en medio de la selva amazónica en el norte de Brasil, a unos 150 kilómetros al noreste de Manaus, y es operado conjuntamente por científicos de Alemania y Brasil.

Luiz Machado, primer autor del estudio explica: "La lluvia elimina las partículas de aerosol e introduce ozono de la atmósfera en el dosel del bosque. El ozono puede oxidar los compuestos orgánicos volátiles emitidos por las plantas, especialmente los terpenos, y los productos de oxidación pueden mejorar la formación de nuevas partículas, lo que lleva a explosiones temporales de nanopartículas".

Los investigadores descubrieron que las concentraciones de nanopartículas son más altas justo por encima del dosel del bosque y disminuyen con el aumento de la altitud. "Este gradiente persiste durante

toda la estación húmeda, lo que indica una formación continua de partículas en el dosel y un flujo ascendente de partículas recién formadas que pueden crecer mediante una mayor absorción de moléculas de baja volatilidad y servir como núcleos de condensación de nubes", agrega Christopher Pöhlker, coautor y líder del grupo de investigación en el Instituto Max Planck de Química. Entre las moléculas de baja volatilidad involucradas en la formación y crecimiento de nanopartículas naturales en la atmósfera se encuentran los compuestos orgánicos que contienen

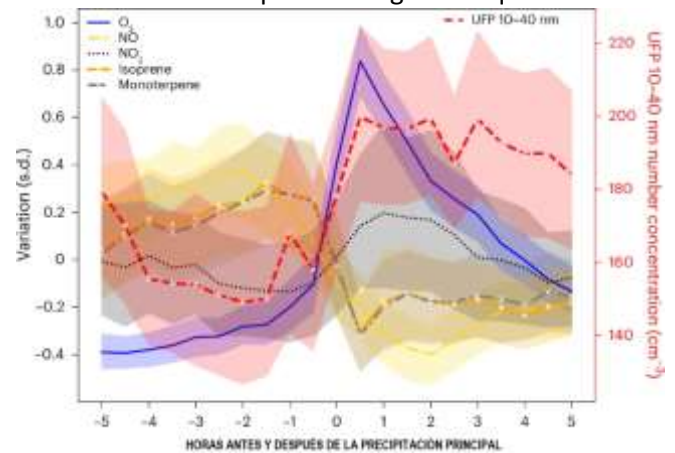


Gráfico compuesto de datos de gases traza y aerosoles de ATTO durante eventos de lluvia, utilizando una representación normalizada, que muestra datos desde 5 horas antes hasta 5 horas después del pico de precipitaciones para las estaciones húmedas 2018-2020 (febrero a mayo) © 10.1038/s41561-024-01585-0

oxígeno y nitrógeno que se forman tras la oxidación de isopreno, terpenos y otros compuestos orgánicos volátiles, que son emitidos naturalmente por las plantas y oxidados por el ozono y los radicales hidroxilo en el aire.

Estudios anteriores habían detectado la formación de nuevas partículas en el flujo de salida de las nubes convectivas en la troposfera superior y sugirieron un flujo descendente en lugar de un flujo ascendente de nanopartículas recién formadas.

"Nuestros hallazgos implican un cambio de paradigma en la comprensión científica de las interacciones entre la selva tropical, los aerosoles, las nubes y la

precipitación en la Amazonía, que son importantes para el clima regional y global", concluye Ulrich Pöschl, coautor y director del Instituto Max Planck de Química.

*Nature Geoscience*, 08 de noviembre de 2024; DOI: 10.1038/s41561-024-01585-0

### Astrofísicos de la Universidad Andrés Bello en Chile y del IMP de Astrofísica muestran la primera imagen ampliada de una estrella supergigante fuera de nuestra galaxia

"Por primera vez, hemos logrado tomar una imagen ampliada de una estrella moribunda en una galaxia fuera de nuestra propia Vía Láctea", afirma Keiichi Ohnaka, astrofísico de la Universidad Andrés Bello, en Chile. Ubicada a la impresionante distancia de 160.000 años luz de nosotros, la estrella WOH G64 fue fotografiada gracias a la impresionante nitidez ofrecida por el Interferómetro del Very Large Telescope Interferometer (VLTI de ESO). Las nuevas observaciones revelan una estrella expulsando gas y polvo, en las últimas etapas antes de convertirse en una supernova.

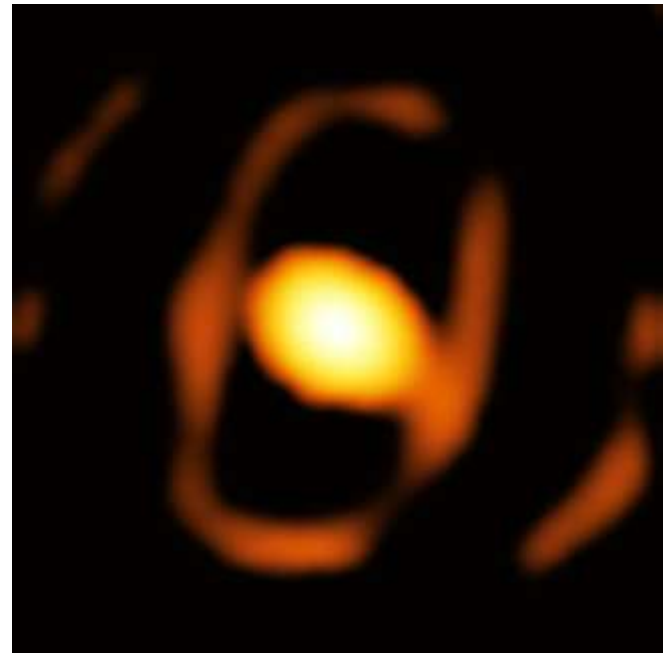
"Descubrimos una envoltura en forma de huevo que rodea muy de cerca a la estrella. Estamos emocionados porque esto puede estar relacionado con la drástica eyección de material de la estrella moribunda antes de una explosión de supernova", declara Ohnaka, autor principal del estudio.

La estrella recién fotografiada, WOH G64, se encuentra dentro de la Gran Nube de Magallanes, una de las pequeñas galaxias que orbita la Vía Láctea. La comunidad astronómica conoce esta estrella desde hace décadas y la han bautizado como la "estrella gigante". Con un tamaño aproximado de 2000 veces el de nuestro Sol, WOH G64 está clasificada como una supergigante roja.

El equipo de Ohnaka llevaba mucho tiempo interesado en esta estrella gigante. En 2005 y 2007, utilizaron el VLTI de ESO, situado en el desierto de Atacama, en Chile, para aprender más sobre las características de la estrella, y continuaron estudiándola en los años posteriores. Pero conseguir una imagen real de la estrella seguía siendo algo difícil de alcanzar.

Para obtener la imagen deseada, el equipo tuvo que esperar al desarrollo de uno de los instrumentos de segunda generación del VLT, GRAVITY. Después de comparar sus nuevos resultados con otras

observaciones anteriores de WOH G64, se sorprendieron al descubrir que la estrella se había vuelto más tenue durante la última década.



Primera imagen en primer plano de una estrella fuera de nuestra propia galaxia, la Vía Láctea. La estrella se encuentra en la Gran Nube de Magallanes, a más de 160.000 años luz de distancia. El óvalo brillante en el centro de esta imagen es un capullo polvoriento que envuelve a la estrella. Un anillo elíptico más débil a su alrededor podría ser el borde interior de un toroide polvoriento, pero se necesitan más observaciones para confirmar esta característica. ©ESO/K. Ohnaka et al.

"Hemos descubierto que la estrella ha experimentado un cambio significativo en los últimos 10 años, lo que nos brinda una oportunidad única de presenciar la vida de una estrella en tiempo real", afirma Gerd Weigelt, profesor de astronomía en el Instituto Max Planck de Radioastronomía en Bonn y coautor del estudio. En sus etapas finales de vida, las supergigantes rojas como WOH G64 se desprenden de sus capas externas de gas y polvo en un proceso que puede durar miles de años. "Esta estrella es una de las más extremas de su tipo, y cualquier cambio drástico puede acercarla a un final explosivo", añade el coautor Jacco van Loon, director del Observatorio Keele de la Universidad de Keele (Reino Unido) que ha estado observando WOH G64 desde la década de 1990.

El equipo cree que estos materiales lanzados por la estrella también pueden ser responsables del oscurecimiento y de la forma inesperada de la envoltura de polvo que rodea a la estrella. La nueva

imagen muestra que la envoltura está estirada, lo que sorprendió a la comunidad científica, que esperaba una forma diferente basada en observaciones anteriores y modelos informáticos. El equipo cree que la forma de huevo de la envoltura podría explicarse por la pérdida de material de la estrella o por la influencia de una estrella compañera aún no descubierta.

A medida que la estrella se vuelve más débil, obtener más imágenes de cerca de ella se vuelve cada vez más difícil, incluso para el VLTI. No obstante, las actualizaciones planificadas para la instrumentación del telescopio, como el futuro GRAVITY+, prometen cambiar esto en poco tiempo. "Para comprender lo que está sucediendo en la estrella, serán fundamentales las observaciones de seguimiento similares que se lleven a cabo con instrumentos de ESO", concluye Ohnaka.

[Astronomy and Astrophysics; 21 de noviembre de 2024; DOI: 10.1051/0004-6361/202451820](#)

---

### Oportunidades de investigación en Institutos Max Planck e IMPRS

---

Resumen de las vacantes doctorales y postdoctorales en Institutos Max Planck y Escuelas Internacionales de Investigación Doctoral Max Planck publicadas durante el mes de noviembre.

[Acceder al resumen](#)

---

### Noticias destacadas de Institutos Max Planck

---

#### En el cerebro reptiliano, las redes para controlar el movimiento determinan el ritmo del sueño

En mamíferos, aves y algunos reptiles, el sueño se puede dividir en dos estados principales: sueño de ondas lentas (SWS) y sueño de movimientos oculares rápidos (REMS). El SWS ocurre primero cuando nos quedamos dormidos, mientras que el REMS se caracteriza por una actividad cerebral similar a la que se observa cuando estamos despiertos, junto con movimientos oculares rápidos y contracciones

musculares ocasionales. La alternancia de SWS y REMS forma lo que se conoce como el ritmo ultradiano del sueño, cuyas características temporales varían significativamente entre las especies. En los seres humanos, por ejemplo, un ciclo de sueño de SWS seguido de REMS dura alrededor de 1 a 1,5 horas, lo que resulta en cinco a seis ciclos por noche típica.

Hace ocho años, un grupo de investigación dirigido por Gilles Laurent, director del IMP para la Investigación del Cerebro en Frankfurt, descubrió un estado similar a REM en un reptil, el dragón australiano (*Pogona vitticeps*), mucho después de que se descubriera REM primero en mamíferos y más tarde, en aves. Este hallazgo sugiere que el sueño REM puede ser un rasgo ancestral que comparten reptiles, aves y mamíferos (llamados colectivamente amniotas), y puede haber existido ya en su ancestro común hace 320 millones de años.

El sueño del lagarto tenía otra característica intrigante: su REMS es casi tan largo como su SWS, y ambas fases duran aproximadamente un minuto por ciclo. Este patrón da como resultado de 200 a 250 ciclos de sueño por noche, lo que permitió al equipo de investigación explorar los mecanismos detrás de los estados alternos del cerebro durante el sueño. En su estudio, los investigadores encontraron que las características del ritmo de sueño ultradiano del lagarto son consistentes con la salida de un generador de patrones central (GPC), circuitos neuronales especializados que generan salidas motoras rítmicas como caminar o respirar. Aunque las GPC son generalmente conocidas por su papel en el control motor, los investigadores razonaron que también eran adecuadas para controlar la alternancia de los estados de sueño REM/SW. "Esta idea de una GPC del sueño era completamente contraria a la intuición porque las GPC controlan la salida motora, mientras que el sueño se caracteriza por la casi ausencia de actividad motora", señala Laurent.

Aprovechando las características únicas del sueño de *Pogona*, los investigadores buscaron las características distintivas de las GPC, como el restablecimiento dependiente de la fase y el arrastre. "El reinicio dependiente de la fase significa que si el ritmo se ve afectado por una perturbación externa corta (similar a tropezar con una piedra al caminar, lo que interrumpe el ciclo de la marcha), el ritmo se ve afectado inmediatamente de una manera que depende del momento (o fase) en el que se produjo la perturbación", explica Riquelme.

El arrastre está relacionado de alguna manera, y describe los efectos de forzar el ritmo lejos de su frecuencia natural (un poco más rápido o un poco más lento) por una entrada rítmica. "Encontramos evidencia para ambos, basándonos en la observación clave de que breves pulsos de luz entregados a los ojos cerrados de los animales dormidos reinician de manera confiable el ciclo REM-SW", explica Fenk.

Los científicos también descubrieron que este ritmo podía verse afectado incluso cuando los animales estaban despiertos, lo que sugiere que los circuitos subyacentes podrían activarse en las condiciones adecuadas. "Esto es importante porque sugiere que el sueño y la alternancia entre SWS y REMS son, al menos parcialmente, independientes", añade Fenk. Además, los investigadores encontraron que si bien la alternancia entre SWS y REMS ocurre en ambos lados del cerebro, el ritmo puede restablecerse y verse afectado en un solo lado. Después de tal perturbación unilateral, los ritmos de sueño en ambos lados se

vuelven a sincronizar rápidamente, lo que indica la existencia de dos GPC, una para cada lado del cerebro, que deben estar interconectadas para sincronizarse.

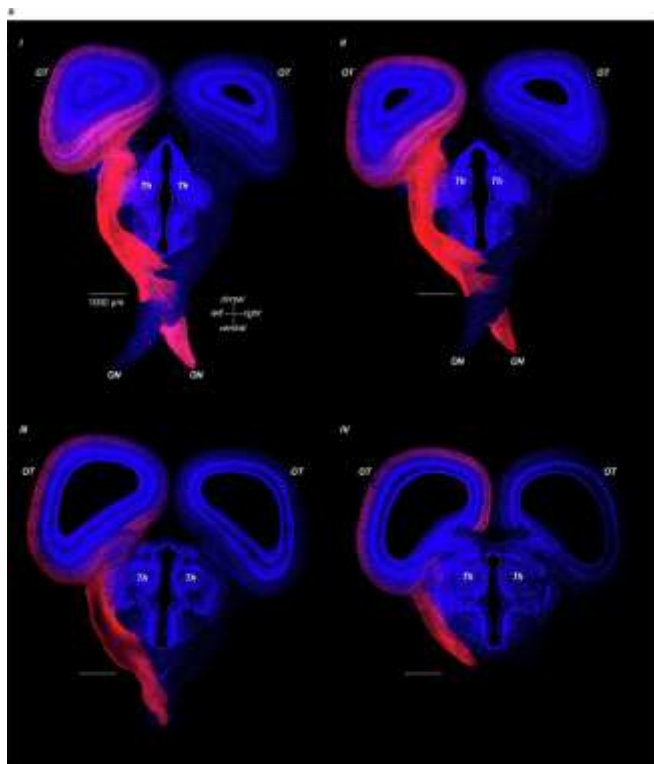
*Nature*, 06 de noviembre de 2024; DOI: [10.1038/s41586-024-08162-w](https://doi.org/10.1038/s41586-024-08162-w)

### Los murciélagos utilizan un mapa mental acústico para orientarse

Los murciélagos son conocidos desde hace mucho tiempo por su uso de la ecolocalización para evitar obstáculos y orientarse. Sin embargo, un equipo de investigación, dirigido por Aya Goldshtein, del grupo de Iain Couzin en el Instituto Max Planck de Comportamiento Animal y el Centro de Excelencia Cluster of Excellence para el Estudio Avanzado del Comportamiento Colectivo de la Universidad de Constanza, ha demostrado ahora que los murciélagos pueden identificar su ubicación incluso después de ser desplazados y utilizar la ecolocalización para realizar una navegación basada en mapas a largas distancias.

Para explorar esto, el equipo realizó experimentos con pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*), una especie de murciélago que pesa solo seis gramos, en el valle de Hula en Israel. Durante varias noches, los investigadores rastrearon a 76 murciélagos cerca de sus dormideros y los reubicaron en varios puntos dentro de un radio de tres kilómetros, pero aún dentro de su rango de origen. Cada murciélago fue marcado con un innovador sistema de rastreo GPS inverso liviano llamado ATLAS, que proporcionó un seguimiento en tiempo real de alta resolución.

Algunos murciélagos fueron equipados únicamente con el sistema ATLAS, mientras que otros fueron manipulados adicionalmente para evaluar cómo su visión, sentido del olfato, sentido magnético y ecolocalización influían en su capacidad para navegar de regreso a sus dormideros. Sorprendentemente el 95 por ciento de los murciélagos regresaron a sus dormideros en cuestión de minutos, lo que demuestra que los murciélagos pueden realizar una navegación a escala kilométrica utilizando solo este modo de detección altamente direccional y relativamente local. También se demostró que, cuando están disponibles, los murciélagos mejoran su navegación utilizando la visión. "Nos sorprendió descubrir que estos murciélagos también usan la visión", señala Aya Goldshtein. "No era lo que esperábamos. Fue increíble ver que, incluso con ojos tan pequeños, pueden confiar en la visión en estas condiciones".



Las proyecciones retinianas de *Pogona* decusan completamente en el quiasma óptico, lo que permite experimentos de reinicio monocular. © DOI: [10.1126/science.adn6269](https://doi.org/10.1126/science.adn6269)

Además de los experimentos de campo, el equipo creó un mapa detallado de todo el valle. "Queríamos visualizar lo que cada murciélago experimentaba durante el vuelo y entender cómo utilizaban la información acústica para navegar", explica Xing Chen, del laboratorio de Yossi Yovel en la Universidad de Tel Aviv, que desarrolló la reconstrucción del valle.

El modelo reveló que los murciélagos tienden a volar cerca de características ambientales con mayor "entropía ecoica", áreas que proporcionan información acústica más rica. "Durante la fase de localización, los murciélagos realizan un vuelo serpenteante que, en cierto punto, cambia a un vuelo direccional hacia su destino, lo que sugiere que ya saben dónde están", dice Goldshtein. "Los murciélagos vuelan cerca de las características ambientales con más información acústica y toman decisiones de navegación". Los murciélagos pueden usar esta información acústica para distinguir entre características ambientales como un árbol y una carretera, y por lo tanto usarlos como puntos de referencia acústicos.

*Science*; 31 de octubre de 2024; DOI: 10.1126/science.adn6269

### Logran rejuvenecer las neuronas cerebrales a través de la reprogramación celular

En 2012, el científico japonés Shinya Yamanaka y el científico británico John Gurdon fueron galardonados con el Premio Nobel de Medicina por su investigación sobre la reprogramación de células diferenciadas a un estado de célula pluripotente.

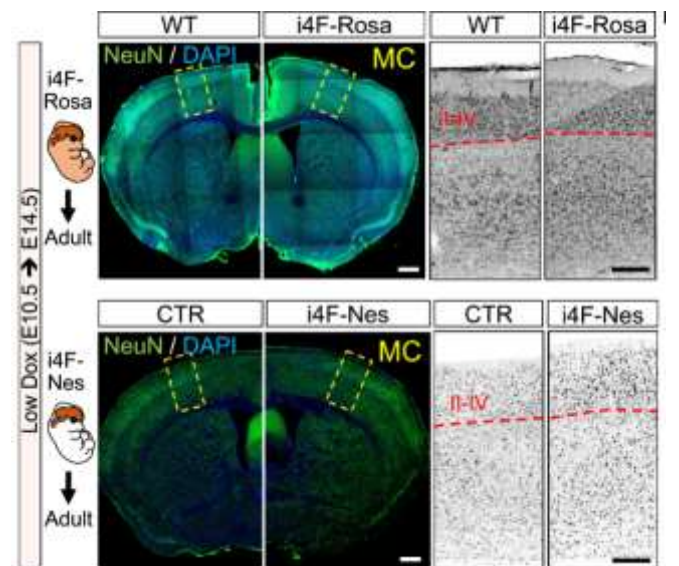
Ahora, un estudio llevado a cabo por investigadores de la Universidad de Barcelona y del Instituto Max Planck de Inteligencia Biológica analiza los efectos de la expresión controlada de factores Yamanaka en el cerebro de ratones en ciclos de reprogramación celular a lo largo de diferentes fases del desarrollo neuronal.

Daniel del Toro, investigador principal del programa Ramón y Cajal del Departamento de Biomedicina de la UB, destaca que "cuando se introducen los factores de Yamanaka durante la fase de desarrollo, se generan más neuronas y el cerebro es más voluminoso, hasta puede duplicar su tamaño. Esto se traduce en una mejor actividad motriz y social en la etapa adulta. Estos resultados se explican por el hecho de que hicimos posible que todas las células cerebrales expresaran estos factores, incluidas las células madre. Fue muy sorprendente descubrir que, si controlamos la

expresión de estos factores con mucha precisión, también podemos controlar el proceso de proliferación celular y obtener cerebros con una corteza cerebral más grande sin perder la estructura y las funciones correctas".

El investigador señala que también les sorprendió descubrir que, conductualmente, no había consecuencias negativas, e incluso los ratones mejoraron en los comportamientos motores y de interacción social.

En el caso de los ratones adultos, la expresión de los factores Yamanaka en las neuronas adultas hace que estas células rejuvenezcan y muestren protección frente a enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. "En este caso, inducimos la expresión de los factores de Yamanaka solo en neuronas maduras. Como estas células no se dividen, su número no aumenta, pero identificamos muchos marcadores que indican un proceso de rejuvenecimiento neuronal. En estas neuronas rejuvenecidas, detectamos que aumenta el número de conexiones sinápticas, se estabiliza el metabolismo alterado y también se normaliza el perfil epigenético de la célula", explica Albert Giralt, investigador de la UB. "Todos estos



Esquema de los ratones utilizados para los experimentos de comportamiento en adultos (4-5 meses de edad). Embriones mutantes i4F-Rosa e i4F-Nes y sus controles (WT y CTR) tratados durante 4 días con Dox bajo durante el desarrollo. Secciones coronales adultas teñidas con el marcador neuronal NeuN (verde) y DAPI (azul). Rectángulos punteados ampliados a la derecha. ©10.1016/j.stem.2024.09.013

cambios tienen un efecto muy positivo en su funcionalidad como neuronas", afirma el experto.

Entender el proceso de envejecimiento a nivel celular abre nuevos horizontes en la lucha contra la enfermedad a través de la reprogramación celular. Sin embargo, este proceso también conlleva el riesgo de generar el crecimiento de poblaciones aberrantes de células, es decir, tumores.

Los expertos explican que al controlar con precisión poblaciones neuronales específicas, se ha podido garantizar no solo que los factores no solo son seguros, sino que también mejoran la plasticidad sináptica neuronal, así como las funciones cognitivas de orden superior, como la capacidad de socializar y formar nuevos recuerdos.

Pero, ¿cómo actúan estos factores sobre el sistema nervioso? Todo indica que los factores de Yamanaka actúan en al menos tres escalas moleculares. En primer lugar, tienen efectos epigenéticos y esto influiría en la transcripción de genes (proceso de metilación del ADN, histonas, etc.). También comprometería las vías metabólicas y la función mitocondrial (producción y regulación de energía celular). Por último, podrían afectar a muchos genes y vías de señalización implicados en la plasticidad sináptica.

El estudio amplía la comprensión de las funciones de los factores Yamanaka descritos hasta la fecha. Se sabe que estos factores potencian la regeneración tras una lesión en las células ganglionares de la retina y también provocan cambios epigenéticos en las neuronas del giro dentado del hipocampo de ratones. Los investigadores concluyen que, a partir de los nuevos resultados, quieren "impulsar futuras investigaciones para determinar qué otras enfermedades del sistema nervioso podrían beneficiarse de la tecnología de reprogramación celular, investigar los mecanismos moleculares subyacentes para diseñar nuevas estrategias terapéuticas y, finalmente, acercar los resultados a la práctica clínica en el tratamiento de los pacientes".

*Stem Cell, 24 de octubre de 2024, DOI: 10.1016/j.stem.2024.09.013*

### **Pruebas de ADN reescriben la historia de las personas enterradas en la erupción de Pompeya**

En el año 79 d.C., el Monte Vesubio experimentó una de sus erupciones más significativas, enterrando la

ciudad romana de Pompeya y sus habitantes bajo una gruesa capa de pequeñas piedras y cenizas conocidas como lapilli. Muchos de los habitantes de Pompeya perdieron la vida cuando sus hogares se derrumbaron bajo el peso del lapilli que caía desde muchos kilómetros de altura. Los que sobrevivieron a la fase inicial de la erupción acabaron sucumbiendo a los peligrosos flujos piroclásticos. Esta corriente de gas caliente y materia volcánica envolvió instantáneamente sus cuerpos en una capa sólida de ceniza, preservando sus cuerpos y sus características de modo eficiente.

Desde la década de 1800, los moldes se habían hecho vertiendo yeso en los vacíos dejados por estos cuerpos después de su descomposición. Un equipo de investigación de la Universidad de Florencia, la Universidad de Harvard y el Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva en Leipzig extrajo ADN de los restos óseos muy fragmentados incrustados en 14 de los 86 moldes famosos que se están restaurando. Este proceso de extracción les permitió establecer con precisión las relaciones genéticas, determinar el sexo y rastrear la ascendencia. Curiosamente, sus hallazgos contradijeron en gran medida las suposiciones anteriores basadas únicamente en la apariencia física y la posición de las figuras.

"Esta investigación muestra cómo el análisis genético puede aumentar significativamente las historias construidas a partir de datos arqueológicos", dice el profesor David Caramelli, del Departamento de Antropología de la Universidad de Florencia. "Los hallazgos desafían nociones perdurables como la asociación de la joyería con la feminidad o la interpretación de la proximidad física como evidencia de relaciones familiares. Además, la evidencia genética añade una capa de complejidad a las simples narrativas de parentesco. Por ejemplo, en la Casa del Brazalete de Oro, el único sitio donde tenemos información genética de múltiples individuos, las cuatro personas que tradicionalmente se pensaba que eran los dos padres y sus hijos en realidad no tienen vínculos genéticos entre sí.

"Los datos científicos que proporcionamos no siempre se alinean con las suposiciones comunes", dice David Reich, de la Universidad de Harvard. "Por ejemplo, un ejemplo notable es el descubrimiento de que un adulto que llevaba un brazalete de oro y sostenía a un niño, tradicionalmente interpretado como una madre y un hijo, eran un hombre adulto y un niño no

emparentados. De manera similar, se encontró que un par de individuos que se pensaba que eran hermanas, o madre e hija, incluían al menos un hombre genético. Estos hallazgos desafían las suposiciones tradicionales de género y familiares".

Los datos genéticos también proporcionaron información sobre la ascendencia de los pompeyanos, que tenían diferentes antecedentes genómicos. El hallazgo de que descendían principalmente de inmigrantes recientes del Mediterráneo oriental pone de relieve la naturaleza cosmopolita del Imperio Romano.



Moldes n.º 21 y 22 de la Casa del Criptopórtico, fecha de creación 1914. © cortesía del Parque Arqueológico de Pompeya

"Nuestros hallazgos tienen implicaciones significativas para la interpretación de los datos arqueológicos y la comprensión de las sociedades antiguas", dice Alissa Mitnik, del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva. "Destacan la importancia de integrar los datos genéticos con la información arqueológica e histórica para evitar interpretaciones erróneas basadas en suposiciones modernas. Este estudio también subraya la naturaleza diversa y cosmopolita de la población de Pompeya, lo que refleja patrones más amplios de movilidad e intercambio cultural en el Imperio Romano".

También es probable que el uso de estos moldes con fines narrativos haya llevado a los restauradores del pasado a modificar sus posturas y colocaciones. El uso combinado de datos genéticos y otros métodos bioarqueológicos brinda la oportunidad de comprender mejor las vidas y los hábitos de las víctimas de la erupción del Vesubio.

Gabriel Zuchtriegel, director del Parque de Pompeya, dice: "El Parque de Pompeya ha estado incluyendo el análisis de ADN antiguo en sus protocolos de estudio durante años, no solo para víctimas humanas, sino también para víctimas animales". Explica que el Parque gestiona una variedad de proyectos de investigación a través de su propio laboratorio. Entre ellas se encuentran el análisis isotópico, el diagnóstico, la geología, la vulcanología y, en particular, la ingeniería inversa. Subraya que "todos estos elementos en su conjunto contribuyen a una interpretación integral y actualizada de los hallazgos arqueológicos. Estos esfuerzos están convirtiendo a Pompeya en una verdadera incubadora para el desarrollo de nuevos métodos, recursos y comparaciones científicas". Zuchtriegel concluye: "Desde este punto de vista, este estudio marca un verdadero cambio de perspectiva, en el que el propio yacimiento desempeña un papel central en el avance de la arqueología y la investigación".

*Current Biology, 07 de noviembre de 2024; DOI: 10.1016/j.cub.2024.10.007*

### **La navegación robótica en 3D podría permitir procedimientos médicos en múltiples sitios.**

Múltiples sitios de enfermedad son comunes en la práctica clínica. En el cerebro, por ejemplo, los vasos sanguíneos bloqueados pueden causar accidentes cerebrovasculares, en los que la falta de oxígeno daña rápidamente las células cerebrales. Si se bloquean varios vasos, las áreas críticas del cerebro pueden verse privadas de sangre, lo que provoca daños neurológicos graves o incluso la muerte si no se trata. Esto subraya la necesidad urgente de tecnologías avanzadas para tratar afecciones en múltiples sitios.

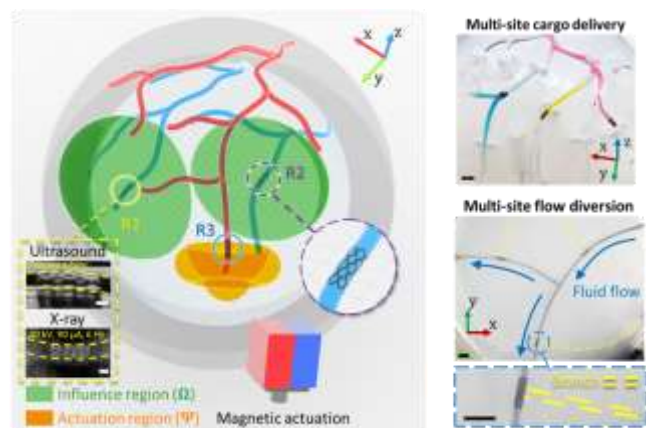
Los robots blandos accionados magnéticamente tienen un potencial significativo para alcanzar y tratar áreas del cuerpo de difícil acceso. Pueden facilitar la administración selectiva de fármacos y apoyar el desvío del flujo. El uso de múltiples robots podría permitir el tratamiento simultáneo de varias ubicaciones, ahorrando tiempo crítico y permitiendo una atención localizada.

Científicos del Instituto Max Planck de Sistemas Inteligentes (MPI-IS) en Stuttgart, han desarrollado un sistema robótico que despliega pequeños robots de cinco milímetros de tamaño que administran fármacos o redirigen el flujo de fluido en múltiples ubicaciones dentro de una red de lúmenes 3D, que se asemeja

mucho a una red de vasos sanguíneos reales. En un artículo publicado en Science Advances, el equipo del Departamento de Inteligencia Física muestra cómo múltiples robots son controlados de forma independiente para navegar por lúmenes tortuosos y realizar sus funciones simultáneamente.

El objeto controlado es un robot magnético en forma de stent, diseñado para adaptarse de forma flexible a los cambios en la luz. Para navegar a través de la red de lúmenes, el robot necesita una fuerte fuerza magnética para superar la fricción y el flujo de fluido. Si la fuerza es insuficiente, el robot no puede avanzar. Al reducir la fuerza magnética en los robots no deseados y aumentarla en el robot deseado, se puede permitir que un robot se mueva mientras los demás permanecen inmóviles.

"Hasta donde sabemos, este es el primer caso de control independiente de más de cinco robots en lúmenes 3D en condiciones fisiológicamente relevantes", dice Chunxiang Wang, estudiante de doctorado en el Departamento de Inteligencia Física del MPI-IS y primer autor del artículo "Heterogeneous Multiple Soft Millirobots in Three-dimensional Lumens". El 6 de noviembre de 2024, el estudio de investigación se publicó como artículo destacado en Science Advances.



El robot magnético tiene la forma de un stent, diseñado para adaptarse de forma flexible a los cambios en el lumen. © DOI: 10.1126/sciadv.adq1951

El robot está controlado por un imán permanente giratorio, con regiones de influencia y rotación propuestas para mejorar la usabilidad. Al colocar el imán fuera de la región de influencia se desactivan los robots no deseados, mientras que al colocarlo dentro de la región de actuación, se activa el robot objetivo, lo que proporciona un control intuitivo para el operador.

En la práctica, el usuario simplemente introduce los puntos objetivo y un brazo robótico utiliza un algoritmo de planificación de rutas para desplegar automáticamente los robots, lo que hace que el sistema sea fácil de usar y de implementar.

"Para nosotros fue todo un desafío controlar varios robots magnéticos a la vez, después de todo, todas las partes magnéticas se ven afectadas por el campo magnético de la misma manera", dice Tianlu Wang, ex investigador postdoctoral en el Departamento de Inteligencia Física del MPI-IS y actualmente profesor asistente en la Universidad de Hawái en Mānoa. "Nuestro trabajo proporciona una solución para la actuación de múltiples robots, mejorando las aplicaciones en varios diseños de dispositivos robóticos blandos en miniatura en entornos complejos".

"El sistema propuesto tiene el potencial de abrir vías para una amplia gama de aplicaciones biomédicas mediante el despliegue de un grupo de robots blandos equipados con diversos módulos funcionales para llegar a áreas de difícil acceso en el interior del cuerpo humano para la terapia dirigida", dice Metin Sitti, ex director del Departamento de Inteligencia Física de MPI-IS y presidente de la Universidad de Koç.

*Science Advances; 06 de noviembre de 2024; DOI: 10.1126/sciadv.adq1951*

### eROSITA desvela las asimetrías de temperatura y forma de nuestra Burbuja Caliente Local

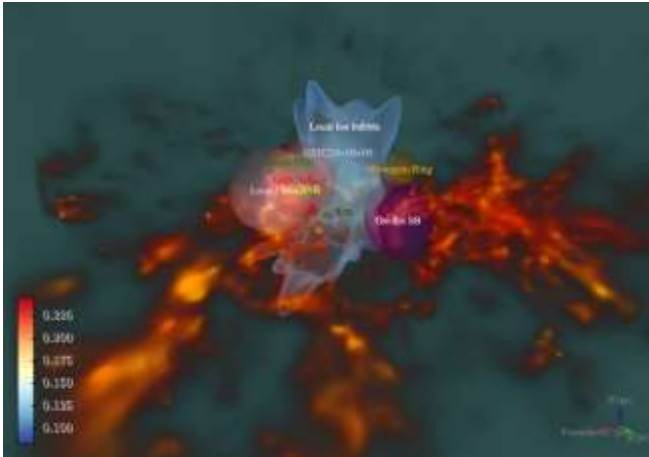
Nuestro Sistema Solar habita en un entorno de baja densidad llamado Burbuja Caliente Local (LHB), llena por un tenue gas caliente de un millón de grados que emite predominantemente en rayos X suaves

La idea de la burbuja caliente local ha existido durante aproximadamente medio siglo, desarrollada por primera vez para explicar el fondo de rayos X ubicuo por debajo de 0,2 keV. Los fotones de tales energías no pueden viajar muy lejos en el medio interestelar antes de ser absorbidos. Junto con la observación de que casi no hay polvo interestelar en nuestro entorno inmediato, se propuso el escenario en el que un plasma suave que emite rayos X desplaza a los materiales neutros en la vecindad solar, formando la 'Burbuja Caliente Local'.

El telescopio eROSITA es el primer observatorio de rayos X que observa el cielo desde una órbita completamente externa a la geocorona terrestre,



evitando la contaminación de esta última. Además, el momento del primer eROSITA All-Sky Survey (eRASS1) coincidió con el mínimo solar, reduciendo significativamente la contaminación del intercambio de carga del viento solar heliosférico. En otras palabras, los datos de eRASS1 publicados este año proporcionan la vista más limpia del cielo de rayos X hasta la fecha, lo que lo convierte en el instrumento perfecto para estudiar el LHB», afirma Michael Yeung de MPE, autor principal de este trabajo.



Modelo 3D del vecindario solar. La barra de color representa la temperatura del LHB coloreada en la superficie del LHB. La dirección del Centro Galáctico (GC) y del Norte Galáctico (N) se muestra en la parte inferior derecha. © Michael Yeung / MPE

Utilizando los datos del eROSITA All-Sky Survey, un equipo dirigido por científicos del Instituto Max Planck de Física Extraterrestre dividió el hemisferio galáctico occidental en unas 2.000 regiones, y extrajo y analizó los espectros de cada una de ellas. Además aprovecharon los datos de ROSAT, el predecesor de eROSITA construido también por MPE, que complementa los espectros de eROSITA a energías inferiores a 0,2 keV. Encontraron una clara dicotomía de temperatura en el LHB, con el Sur Galáctico (0,12 keV; 1,4 MK) ligeramente más caliente que el Norte Galáctico (0,10 keV; 1,2 MK). Esta característica podría explicarse por las últimas simulaciones numéricas del LHB causadas por explosiones de supernovas en los últimos millones de años.

Los espectros difusos de fondo de rayos X informan a los científicos no solo de la temperatura, sino también de la estructura 3D del gas caliente. Trabajos previos del mismo equipo han establecido que la densidad del LHB es relativamente uniforme, calibrando la densidad del gas caliente con líneas de visión a nubes

moleculares gigantes ubicadas en la superficie del LHB. Basándose en esta suposición, generaron un nuevo modelo 3D del LHB a partir de la intensidad medida de la emisión del LHB en cada línea de visión. Descubrieron que el LHB tiene una mayor extensión hacia los polos galácticos como se esperaba, ya que el gas caliente prefiere expandirse hacia las direcciones de menor resistencia, lejos del disco galáctico.

"Esto no es sorprendente, como ya se descubrió en la encuesta ROSAT", señaló Michael Freyberg, uno de los principales autores de este trabajo y que formó parte del trabajo pionero en la era ROSAT hace tres décadas. "Lo que no sabíamos era la existencia de un túnel interestelar hacia Centauro, que abre una brecha en el medio interestelar más frío (ISM). Esta región destaca gracias a la sensibilidad muy mejorada de eROSITA y a una estrategia topográfica muy diferente en comparación con ROSAT», añadió Freyberg. Los autores de este trabajo sugieren que el túnel de Centaurus puede ser solo un ejemplo local de una red ISM caliente más amplia sostenida por una retroalimentación estelar en toda la galaxia, una idea popular propuesta en los años 70 que sigue siendo difícil de probar.

[Link a la versión interactiva del mapa 3D](#)

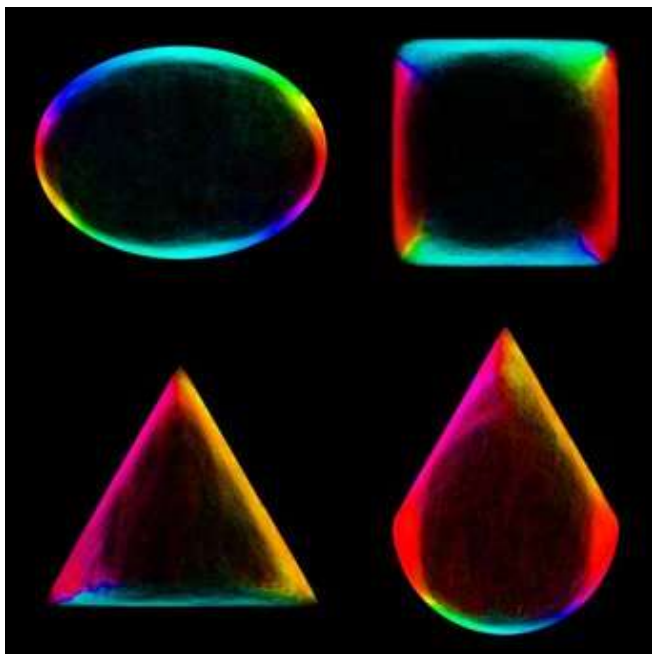
*Astronomy and Astrophysics; 29 de octubre de 2024; DOI: 10.1051/0004-6361/202451045*

### **Desarrollaron un modelo que puede utilizarse para simular la autoorganización de la materia viva en forma linear**

Las cianobacterias filamentosas se acumulan en áreas con condiciones de luz favorables y utilizan la energía luminosa para la fotosíntesis. Generalmente, estos microorganismos forman largos filamentos que contienen muchas células. Sin embargo, las estructuras en forma de hilos sólo pueden moverse hacia adelante o hacia atrás; al salir de la zona iluminada, invierten su movimiento y, por lo tanto, permanecen en la luz. Los científicos del MPI-DS han investigado la estructura organizativa resultante. Se descubrió que sólo la interacción de múltiples filamentos hace que las cianobacterias se alineen con el borde interior de la superficie iluminada, formando así estructuras estables.

Para ello, los investigadores cultivaron e iluminaron varios cultivos de cianobacterias en placas de Petri. Utilizando diapositivas, crearon diferentes patrones de

luz y luego observaron el autoensamblaje de las bacterias. Con un patrón de luz circular, las bacterias tienden a congregarse principalmente en el borde del área iluminada. De manera similar, cuando el área iluminada era triangular, trapezoidal u otra forma, emergían patrones de filamentos característicos cerca del borde de la luz.

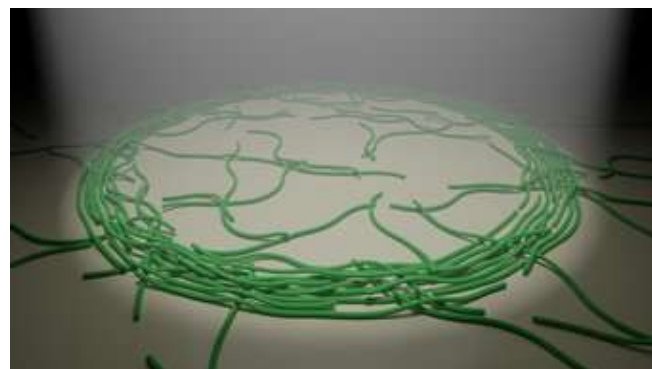


Las cianobacterias filamentosas forman patrones característicos en los bordes de una forma iluminada, aunque solo pueden moverse hacia adelante y hacia atrás por sí solas. © MPI-DS

“Curiosamente, las bacterias se organizan con estructuras y curvas complejas, aunque sólo pueden moverse hacia adelante y hacia atrás”, afirma Stefan Karpitska, líder del grupo MPI-DS y profesor de la Universidad de Constanza. “Éste es un ejemplo típico de emergencia: la estructura general de una característica surge independientemente del comportamiento individual de un único filamento en un nivel superior”, continúa.

Los conocimientos de los experimentos científicos y los modelos resultantes se pueden comparar con la morfología de la materia viva. “El modelo no incluye ningún detalle específico sobre la biología de la bacteria”, afirma Leila Abbaspour, primera autora del estudio junto con Maximilian Karjan. “Este efecto colectivo también se puede observar en sistemas similares y permite que los filamentos activos se autoorganicen según señales sensoriales de su entorno

a pesar de los movimientos unidireccionales”, continúa Kurjahn.



Visualización 3D de cianobacterias que se alinean a lo largo de los bordes de un área circular iluminada a través de la autoorganización. © MPI-DS, Karpitschka

Por lo tanto, los resultados de este estudio proporcionan información importante que se puede utilizar, por ejemplo, en el diseño de los llamados textiles o materiales inteligentes. Estas nuevas estructuras y tejidos también se basan en la disposición de fibras individuales y filamentos activos. Estos mecanismos de autoensamblaje pueden permitir el desarrollo de nuevos materiales innovadores.

*Science* 10 de octubre de 2024; DOI: 10.1126/ciencia.adp9061

### Las reducciones de emisiones de los proyectos de mitigación climática son significativamente más bajas de lo que se afirma

Los mercados de carbono desempeñan un papel fundamental en las estrategias climáticas de las empresas y los gobiernos, ya que permiten la compra y venta de créditos de carbono. Estos créditos representan una cantidad específica de emisiones de carbono (CO<sub>2</sub>) que se ha mitigado a través de proyectos, como evitar la deforestación o destruir los potentes gases de efecto invernadero. Estos créditos ayudan a las organizaciones y a los países a cumplir sus objetivos climáticos al compensar una parte de sus propias emisiones.

En un nuevo metaestudio, un equipo internacional de investigadores dirigido por Benedikt Probst, jefe del Laboratorio Net Zero en el Instituto Max Planck de Innovación y Competencia en Múnich muestra que, en muchos casos, las reducciones de emisiones de los

proyectos de compensación de carbono son significativamente más bajas de lo que se afirma.

El metaestudio analiza 14 estudios que cubren 2.346 proyectos climáticos y 51 estudios de proyectos comparables para los que no se emitieron créditos de carbono. Todos los estudios considerados se basaron en métodos experimentales u observacionales rigurosos. El análisis cubre una quinta parte del volumen total de crédito emitido hasta la fecha, que corresponde a casi mil millones de toneladas de Emisiones de CO<sub>2</sub>.

El análisis muestra que menos del 16% de los créditos de carbono emitidos a los proyectos evaluados representaron reducciones reales de emisiones. Ejemplos concretos de ello son:

En el caso de los proyectos de cocinas limpias, en los que las cocinas tradicionales se sustituyen por otras más limpias, las reducciones reales de las emisiones correspondieron sólo al 11% de los créditos de carbono emitidos.

En la disminución del potente gas de efecto invernadero SF<sub>6</sub>, las reducciones reales de las emisiones ascendieron solo al 16 % de los créditos de carbono emitidos.

La deforestación evitada mostró una reducción del 25%.

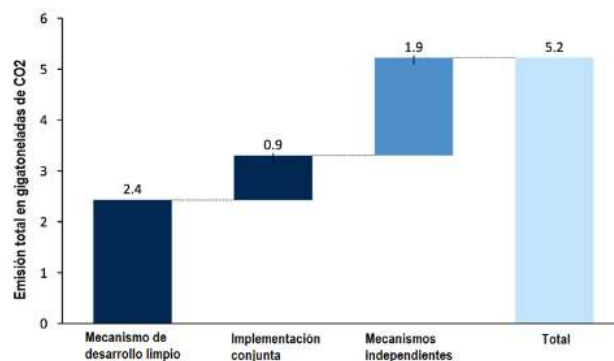
La reducción del potente gas de efecto invernadero HFC-23 funcionó comparativamente bien, con reducciones reales de emisiones que ascendieron al 68%.

Con respecto a la energía eólica, los datos muestran que los proyectos probablemente se habrían implementado incluso sin la venta de créditos de carbono y que la emisión de créditos de carbono no condujo a ninguna mitigación adicional. También se implementó una mejor ordenación forestal en las zonas de referencia sin acceso a créditos de carbono, beneficiaban de los créditos de carbono.

En proyectos de destrucción de los gases residuales hidrofluorocarbono (HFC)-23 y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) en la industria, sin embargo, los datos muestran que la generación de gases residuales aumentó cuando

los operadores de las centrales pudieron generar créditos de carbono.

El Dr. Benedict Probst, Jefe del Laboratorio Net Zero en el Instituto Max Planck para la Innovación y la Competencia, enfatizó: "Existe una necesidad urgente



Emisión total en gigatoneladas de CO<sub>2</sub> a través de los dos mecanismos basados en proyectos del Protocolo de Kyoto (Mecanismo de Desarrollo Limpio e Implementación Conjunta) y los cuatro principales mecanismos independientes cubiertos por la Base de Datos de Proyectos de Comercio de Carbono de Berkeley © DOI: 10.1038/s41467-024-53645-z

de establecer mejores reglas para la emisión de créditos de carbono. Todos los tipos de proyectos se enfrentan a problemas sistémicos de calidad, y la cuantificación de las reducciones de emisiones necesita mejoras sustanciales".

El coautor, el Dr. Lambert Schneider, del Oeko-Institut de Berlín, señala que hay demasiado margen de maniobra a la hora de calcular las reducciones de emisiones. "Las reglas de los programas de créditos de carbono a menudo dan demasiada flexibilidad a los desarrolladores de proyectos. Esto puede llevar a que se hagan suposiciones poco realistas o se utilicen datos inexactos, lo que resulta en una sobreestimación de las reducciones".

*Nature Communications*; 14 de noviembre de 2024; DOI: 10.1038/s41467-024-53645-z

### Las proteínas que regulan las células madre animales son mucho más antiguas que los propios animales

Mientras que la mayoría de las células animales están especializadas y tienen funciones fijas, como las células de la piel, las células nerviosas o las células sanguíneas, las células madre pluripotentes son capaces tanto de

autorrenovarse como de diferenciarse en células especializadas cuando es necesario. Ambos potenciales, la autorrenovación y la diferenciación, están estrechamente controlados por una combinación de factores reguladores internos y externos.

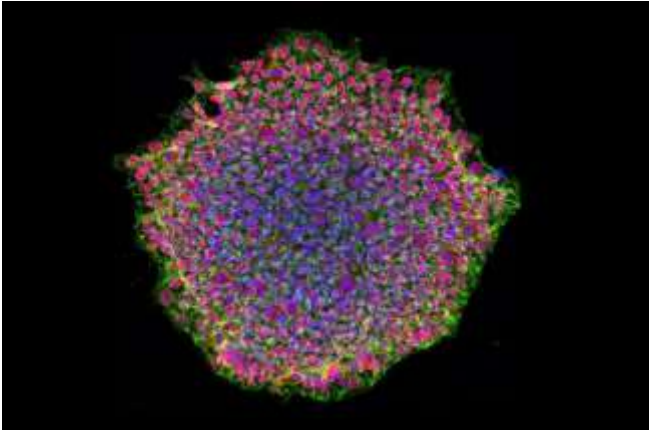


Imagen microscópica confocal de una colonia de células madre pluripotentes inducidas humanas. © National Eye Institute/NEI

Un equipo de investigación internacional liderado por el Instituto Max Planck de Microbiología Terrestre en Marburgo realizó un estudio que se centró en dos proteínas cruciales implicadas en la regulación de las células madre: los factores de transcripción SOX y POU. SOX y POU desempeñan un papel vital en el mantenimiento de la "madre" de las células y se creía que eran una innovación específica de los animales.

Utilizando filogenética molecular, el equipo de investigación identificó estas proteínas en los coanoflagelados, que se consideran los parientes unicelulares más cercanos a los animales y que se separaron del árbol genealógico de los animales hace más de 700 millones de años.

Sorprendentemente, cuando se probaron en cultivos de células madre de ratón, se descubrió que las proteínas SOX de coanoflagelados podrían reemplazar funcionalmente a sus contrapartes de ratón, lo que demuestra su capacidad para activar los complejos programas genéticos necesarios para la formación de células madre. "Imagina que tenemos un árbol genealógico de proteínas de varias especies, vivas y extintas. Usando sofisticados algoritmos informáticos, podemos rastrear a través de este árbol y predecir cómo eran las proteínas de nuestros antiguos

antepasados. A continuación, producimos estas proteínas antiguas para estudiar sus propiedades bioquímicas en el laboratorio", explica Mathias Girbig, primer autor del estudio e investigador del IMP de Microbiología Terrestre.. "En otras palabras, este método es como una máquina del tiempo molecular porque nos permite inferir y revivir secuencias de proteínas de ancestros extintos hace mucho tiempo".

Es importante destacar que estas proteínas antiguas reconstruidas, al igual que sus contrapartes existentes, también podrían inducir la reprogramación de células madre en células de ratón. Esto confirmó que los rasgos moleculares que permiten a las proteínas Sox inducir a la "madre" son verdaderamente ancestrales, anteriores a la evolución de los propios animales. "Nos sorprendió descubrir que las propiedades bioquímicas básicas de las proteínas SOX, que son esenciales para la función de las células madre en los animales, ya estaban presentes en organismos unicelulares que existían antes de que los animales evolucionaran. Esta conservación funcional a lo largo de más de 700 millones de años de evolución es realmente fascinante, especialmente teniendo en cuenta que no se sabe que los coanoflagelados tengan células madre", concluye Mathias Girbig.

Curiosamente, mientras que las proteínas SOX mostraron una notable conservación funcional, otros factores de transcripción (proteínas POU) de organismos unicelulares carecían de algunas propiedades clave de sus homólogos animales. Esto sugiere que la aparición de las células madre animales probablemente implicó tanto la cooptación de antiguas funciones moleculares como la evolución de nuevas interacciones proteína-proteína. "Este estudio pone de manifiesto el poder de combinar el análisis evolutivo con experimentos funcionales para comprender los orígenes de los sistemas biológicos complejos", comenta Ralf Jauch, de la Universidad de Hong Kong, que coordinó este proyecto de investigación y supervisó el trabajo de biología de las células madre.

*Nature Communications 15, 14 de noviembre de 2024; DOI: 10.1038/s41467-024-54152-x*

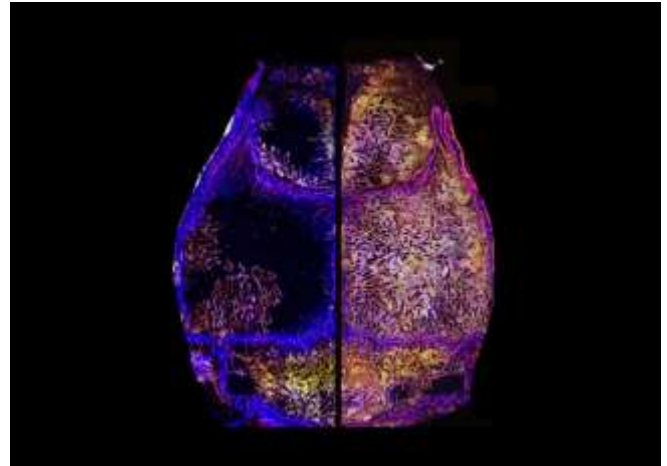
## La médula ósea del cráneo se expande a lo largo de la vida

El microambiente de la médula ósea gobierna la autorrenovación y el destino de las células madre hematopoyéticas, que producen todas las células sanguíneas de nuestro cuerpo. Esta sofisticada y finamente ajustada red de mantenimiento de células madre hematopoyéticas se interrumpe durante el envejecimiento, lo que conduce a una producción desproporcionada de células inmunitarias y a una disminución general de su función. Los vasos sanguíneos, un componente crítico de este nicho, disminuyen en número y pierden integridad funcional en la mayoría de los órganos durante el envejecimiento. La acumulación excesiva de grasa, la pérdida ósea, la inflamación severa y un fuerte sesgo hacia las células mieloides sobre los linfocitos también son características importantes del envejecimiento de la médula ósea.

La mayoría de los huesos de nuestro cuerpo contienen médula ósea, pero los huesos largos, como los brazos y las piernas, y los huesos planos, como el cráneo, se forman a través de diferentes procesos de desarrollo y osificación. El cráneo de ratón, debido a sus propiedades físicas delgadas y casi transparentes, se ha utilizado durante mucho tiempo como una plataforma de imágenes intravital para seguir la actividad de las células madre hematopoyéticas en la médula ósea de ratones vivos, asumiendo que todos los microambientes de la médula ósea en diferentes huesos son comparables.

Los científicos del Instituto Max Planck desafiaron esta suposición y han descubierto ahora que la médula ósea del cráneo tiene propiedades únicas que le permiten expandirse continuamente durante la edad adulta y permanecer sorprendentemente resistente a las características del envejecimiento a lo largo de la vida.

Esta sorprendente observación se realizó cuando un equipo de investigadores de Max Planck, dirigido por Ralf H. Adams, utilizó una técnica de imagen especial para visualizar toda la red vascular y todas las células de la médula ósea en todo el calvario, que es el techo del cráneo. Utilizando este método de inmunofluorescencia in vivo, los científicos pudieron comparar los cambios generales en la médula ósea del calvario durante el envejecimiento.



Vasos de la médula ósea del cráneo (rojos) de un adulto joven (izquierda) y un ratón geriátrico (derecha). © IMP de Biomedicina Molecular/ Bong-Ihn Koh

Bong-Ihn Koh, primer autor del estudio y becario postdoctoral en el laboratorio de Ralf H. Adams, se encontró con una transformación completamente inesperada al comparar cráneos de ratones geriátricos adultos jóvenes con ratones geriátricos de 95 semanas de edad: "Hay muy poca médula ósea en el cráneo de un adulto joven y no esperaba ver ningún cambio importante en la cantidad total de médula ósea durante el envejecimiento. Pero cuando miré los cráneos de ratones geriátricos por primera vez, me sorprendió ver que el cráneo ahora estaba completamente lleno de médula ósea y lleno de vasos sanguíneos". Este crecimiento continuo de la médula ósea del cráneo también se observó en tomografías computarizadas de adultos jóvenes en comparación con sujetos humanos mayores.

Utilizando varios tratamientos farmacológicos para modular los vasos sanguíneos, los científicos descubrieron que el crecimiento vascular continuo en la médula ósea del cráneo impulsa su expansión sustancial a lo largo de la vida. "La mayoría de los lechos vasculares en varios órganos de nuestro cuerpo disminuirían en número y función durante el envejecimiento. La expansión masiva de la médula ósea del cráneo y el aumento sustancial de los vasos sanguíneos dentro de ésta durante el envejecimiento fue definitivamente sorprendente. Creemos que este es un caso único de crecimiento vascular de por vida en nuestro cuerpo", dice Koh.

Además, observaron que el microambiente de las células madre hematopoyéticas permaneció resistente

a las características clave del envejecimiento y se mantuvo sorprendentemente saludable durante toda la vida. "Todas las principales características del envejecimiento observadas en el fémur de los ratones envejecidos, como la acumulación excesiva de grasa, la inflamación y el sesgo del tipo de células inmunitarias, estaban casi ausentes en la médula ósea del cráneo de los mismos ratones. De hecho, varios experimentos funcionales demostraron finalmente que el microambiente de la médula ósea del cráneo envejecido mantiene las células madre hematopoyéticas en mejor forma que en los huesos largos", dice Koh.

El estudio actual también mostró varias diferencias en las vías moleculares de las células madre hematopoyéticas y las células endoteliales, que forman los vasos sanguíneos de la médula ósea, entre el cráneo y la médula ósea femoral de ratones geriátricos. "Si bien ahora sabemos que la médula ósea del cráneo continúa creciendo y se mantiene sorprendentemente saludable durante el envejecimiento, todavía necesitamos descubrir cómo se crea y mantiene este microambiente nutritivo y resistente", dice Koh. "Esto es solo la punta del iceberg. Comprender cómo se regulan de manera única ciertos componentes del nicho nos permitiría aplicar este conocimiento para hacer que otros compartimentos de la médula ósea también sean resistentes al envejecimiento".

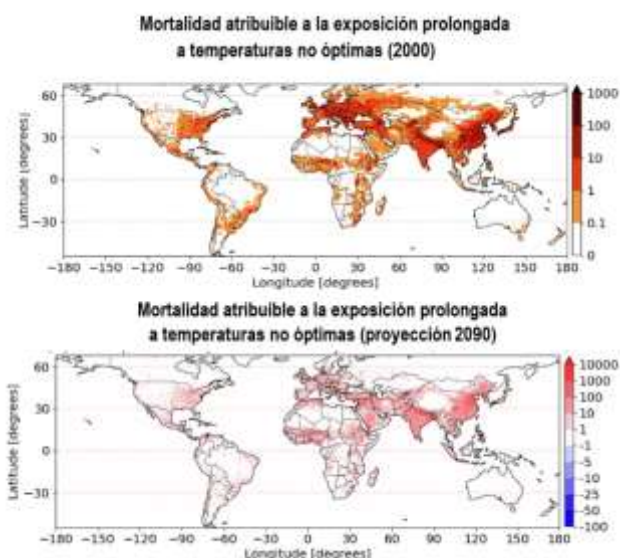
*Nature*, 13 de noviembre de 2024; DOI: [10.1038/s41586-024-08061-0](https://doi.org/10.1038/s41586-024-08061-0)

### El cambio climático y la contaminación del aire podrían poner en riesgo 30 millones de vidas al año para 2100

La mortalidad atribuible a la contaminación del aire y a las temperaturas extremas es una preocupación importante, y se espera que aumente en el futuro. En un nuevo estudio dirigido por el Instituto Max Planck de Química en Maguncia, un equipo de investigación internacional descubrió que, según la proyección más probable, las tasas anuales de mortalidad relacionadas con la contaminación del aire y las temperaturas extremas podrían alcanzar los 30 millones para finales de siglo. La investigación, basada en simulaciones numéricas avanzadas, sugiere una tendencia preocupante: se espera que las muertes relacionadas con la contaminación se quintupliquen, mientras que la mortalidad relacionada con la temperatura podría

multiplicarse por siete, lo que representa un riesgo para la salud más crítico que la contaminación del aire para al menos el 20% de la población mundial.

Los investigadores basaron sus cálculos en proyecciones de 2000 a 2090, analizadas en intervalos de diez años. "En el año 2000, alrededor de 1,6 millones de personas morían cada año debido a las temperaturas extremas, tanto de frío como de calor. A finales de siglo, en el escenario más probable, esta cifra ascenderá a 10,8 millones, lo que supone un aumento de siete veces. En cuanto a la contaminación del aire, las muertes anuales en 2000 fueron de unos 4,1 millones. A finales de siglo, este número se eleva a 19,5 millones, un aumento de cinco veces", explica el Dr. Andrea Pozzer, líder del grupo en el Instituto Max Planck de Química y profesor asociado adjunto en el Instituto de Chipre en Nicosia, Chipre.



Distribución espacial de la mortalidad anual.  
© 10.1038/s41467-024-53649-9

El estudio muestra diferencias regionales significativas en las tasas de mortalidad futuras. Se espera que el sur y el este de Asia experimenten los aumentos más fuertes, impulsados por el envejecimiento de la población, y la contaminación del aire sigue desempeñando un papel importante. Por el contrario, en las regiones de ingresos altos, como Europa Occidental, América del Norte, Australasia y Asia Pacífico, se espera que las muertes relacionadas con temperaturas extremas superen a las causadas por la contaminación del aire. En algunos países de estas regiones, como Estados Unidos, Inglaterra, Francia,

Japón y Nueva Zelanda, este cambio ya se está produciendo. Es probable que la disparidad aumente, y que las temperaturas extremas se conviertan en un riesgo para la salud más significativo que la contaminación del aire también en países de Europa Central y Oriental (por ejemplo, Polonia y Rumania) y partes de América del Sur (por ejemplo, Argentina y Chile).

Para finales de siglo, se espera que los riesgos para la salud relacionados con la temperatura superen a los relacionados con la contaminación del aire para una quinta parte de la población mundial, lo que subraya la necesidad urgente de adoptar medidas integrales para mitigar este creciente riesgo para la salud pública.

*Nature Communications volumen 15, artículo número 9379  
30 de octubre de 2024; DOI: 10.1038/s41467-024-53649-9)*

### **El cambio climático amenaza a grupos clave de plancton oceánico**

Los foraminíferos planctónicos son organismos unicelulares que viven en el agua de mar, muchos de los cuales llevan una cáscara de carbonato de calcio. En las regiones tropicales, las condiciones ambientales cambiantes podrían desencadenar nuevas extinciones, afectando a los ecosistemas marinos y a la capacidad de almacenamiento de carbono del océano.

Un equipo internacional en el que participaron científicos de Francia, Alemania, Países Bajos, Japón y España analizó casi 200.000 conjuntos de datos desde 1910 para examinar su respuesta de los foraminíferos planctónicos al cambio climático.

La investigación muestra que muchas especies están migrando hacia los polos, hacia aguas más frías, a tasas de hasta 10 kilómetros por año. Los datos también revelan que algunas especies han migrado a mayor profundidad en el océano para escapar del aumento de las temperaturas de la superficie. A pesar de estos cambios, las poblaciones de foraminíferos han disminuido en un 25 % en los últimos 80 años. Las especies tropicales experimentaron las mayores pérdidas porque el intenso calentamiento en estas regiones interrumpe sus ciclos reproductivos. El aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> y la acidificación de los océanos también reducen la formación de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) a partir del cual los foraminíferos construyen sus conchas. Dado que las conchas vacías

de plancton muerto se hunden en el lecho marino, se almacena menos carbono cuando la producción de conchas disminuye.

Sonia Chaabane, autora principal del estudio e investigadora del CEREGE y del Instituto Max Planck de Química, enfatizó las implicaciones de los hallazgos: "Nuestros datos muestran que los foraminíferos planctónicos, que juegan un papel crucial en el ciclo del carbono del océano, están luchando por sobrevivir en un clima que cambia rápidamente. Estos organismos



Los foraminíferos planctónicos son pequeños organismos marinos que son importantes para el ecosistema marino. © Sonia Chaabane y Julien Sulpis

son como centinelas, advirtiéndonos de los efectos drásticos que el calentamiento y la acidificación tienen en los ecosistemas marinos". Es probable que las interacciones complejas entre el clima y los ecosistemas se comprendan mejor en su conjunto a través de bioindicadores como los foraminíferos en lugar de a través de mediciones individuales. "En vista del avance del cambio climático, los investigadores se enfrentan a la cuestión de las estrategias de adaptación, las especies individuales de foraminíferos planctónicos se desarrollarán en un futuro próximo", dice Ralf Schiebel, del Instituto Max Planck de Química.

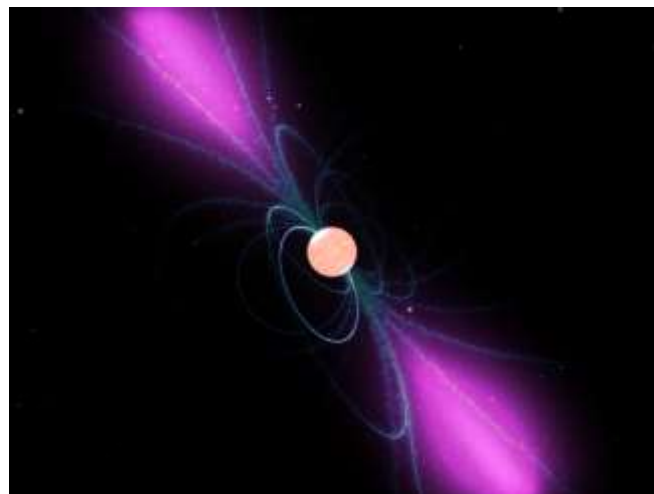
*Nature, 13 de noviembre de 2024; DOI: 10.1038/s41586-024-08191-5*

## La colaboración H.E.S.S. detecta los electrones y positrones de rayos cósmicos más energéticos jamás observados

El universo alberga ambientes extremos, desde las temperaturas más frías hasta las fuentes más energéticas. Objetos extremos como remanentes de supernovas, púlsares o núcleos galácticos activos producen partículas cargadas y rayos gamma con energías muy superiores a las que se logran en procesos térmicos como la fusión nuclear en las estrellas. Mientras que la luz de rayos gamma emitida cruza el espacio sin obstáculos, los campos magnéticos omnipresentes en el universo desvían las partículas de rayos cósmicos cargadas. Estas partículas no llegan a la tierra en línea recta, sino de manera uniforme desde todas las direcciones. Esto significa que los investigadores no pueden concluir directamente el origen de la radiación. Además, las partículas cargadas pierden energía a través de las interacciones con la luz y los campos magnéticos. Estas pérdidas son particularmente fuertes para los electrones y positrones más energéticos (antipartícula cargada positivamente del electrón) con energías por encima de la marca de teraelectronvoltios. Cuando los instrumentos en la Tierra miden partículas cósmicas cargadas de energías tan altas, significa que no pueden haber viajado muy lejos. Esto indica la existencia de fuertes aceleradores de partículas naturales cerca de nuestro sistema solar.

En un nuevo análisis, los científicos de la Colaboración Hess han reducido por primera vez de dónde provienen estas partículas cósmicas. El punto de partida del análisis es la medición del espectro de los rayos cósmicos, es decir, la distribución de energía de los electrones y positrones medidos. El análisis se basa en datos de diez años de observaciones, lo que garantiza una alta calidad de los datos. El espectro de electrones añadido alcanza hasta varias decenas de teraelectronvoltios. "Nuestro análisis de datos proporciona información en un rango de energía crucial y previamente inexplorado, y establecerá el punto de referencia en esta área en el futuro previsible", dice Werner Hofmann del Instituto Max Planck de Física Nuclear en Heidelberg. En el espectro, que se caracteriza por barras de error comparativamente pequeñas a energías TeV, se nota una curva llamativa a aproximadamente un teraelectronvoltio. Tanto por encima como por debajo de

esta fracción, el espectro sigue una ley de potencia sin más anomalías.



Impresión artística de un púlsar con su potente campo magnético girando a su alrededor. Las nubes de partículas cargadas que se mueven a lo largo de las líneas de campo emiten rayos gamma que son enfocados por los campos magnéticos, como los haces de luz de un faro. En estos campos magnéticos, se crean y aceleran pares de positrones y electrones, lo que convierte a los púlsares en fuentes potenciales de electrones y positrones cósmicos de alta energía.  
© NASA/Centro de Vuelo Espacial Goddard  
Laboratorio de Imágenes Conceptuales

Para averiguar qué proceso astrofísico aceleró los electrones a energías tan altas y de dónde proviene la torcedura, los investigadores comparan estos datos con las predicciones de los modelos. Los candidatos calientes son los púlsares, que son remanentes estelares con un fuerte campo magnético. Algunos púlsares soplan un viento de partículas cargadas a su alrededor, y el frente de choque magnético de ese viento podría ser donde las partículas experimentan un impulso. Lo mismo se aplica a los frentes de choque de los remanentes de supernovas. Los modelos informáticos muestran que los electrones acelerados de esta manera emprenden su viaje al espacio con una cierta distribución de energía. Estos modelos rastrean los electrones y positrones a medida que se mueven a través de la Vía Láctea y calculan cómo cambia su energía a medida que interactúan con los campos magnéticos y la luz en la Vía Láctea. En el proceso, las partículas pierden tanta energía que su espectro de energía original se deforma. En el paso final, los astrofísicos intentan adaptar su modelo informático a los datos de medición con el fin de aprender más sobre la naturaleza de la fuente astrofísica.



Pero, ¿qué objeto lanzó los electrones al espacio que midieron los telescopios? El espectro de partículas con energías inferiores a un teraelectronvoltio probablemente consiste en electrones y positrones de varios púlsares o restos de supernovas. A energías más altas, sin embargo, emerge una imagen diferente: el espectro de energía cae abruptamente desde aproximadamente un tera-electronvoltio. Esto también lo confirman los modelos que estudian las partículas aceleradas por fuentes astronómicas y su difusión por el campo magnético galáctico. Esta transición a un tera-electronvoltio es particularmente sorprendente y excepcionalmente brusca. "Esta es una observación importante, porque podemos concluir que los rayos cósmicos medidos probablemente provienen de solo unas pocas fuentes cerca de nuestro sistema solar que no están a más de unos pocos miles de años luz de distancia", dice Kathrin Egberts de la Universidad de Potsdam. Esta distancia es relativamente pequeña en comparación con el tamaño de la Vía Láctea. "Las fuentes a diferentes distancias difuminarían mucho más este problema", continúa Egberts. Según Werner Hofmann, incluso un solo púlsar podría ser responsable del espectro de electrones a altas energías. Sin embargo, no está claro cuál es. Dado que la fuente debe estar muy cerca, solo unos pocos púlsares entran en duda.

[ArXiv, 2024; DOI: 10.1103/PhysRevLett.133.221001](#)

### Pequeñas moléculas de ARN de la planta madre determinan el destino de las semillas híbridas

Si los fitomejoradores quieren producir cultivos resistentes y de alta calidad, a menudo cruzan plantas de diferentes especies para transferir rasgos deseables. Sin embargo, la muerte prematura de las semillas híbridas a menudo les presenta grandes obstáculos. La razón de esto es una barrera reproductiva que a menudo impide que especies estrechamente relacionadas produzcan semillas viables entre sí.

Cuando estas semillas no se desarrollan, a menudo se debe al endospermo, un tejido en las semillas de plantas que proporciona nutrientes al embrión en crecimiento, al igual que la placenta alimenta al embrión de los mamíferos. Sin un desarrollo adecuado del endospermo, las semillas no pueden sobrevivir.



Semillas viables de *Capsella orientalis* a la izquierda y semillas no viables producidas por cruzamiento de *Capsella orientalis* con su pariente cercano, *Capsella rubella*. © Katarzyna dziasek

Un nuevo estudio dirigido por el grupo de investigación de la Dra. Claudia Köhler, del Instituto Max Planck de Fisiología Molecular de Plantas em Potsdam, ha hecho un descubrimiento crucial en el estudio de la familia de las crucíferas, que incluye la mostaza, el brócoli, la colza y otros cultivos importantes. El estudio muestra una estrecha correlación entre la capacidad de supervivencia de las semillas híbridas y la falta de ARN materno pequeño. Estas pequeñas moléculas se transfieren de la planta madre al endospermo y controlan la actividad génica en el endospermo.

Cuando la actividad génica en una semilla es anormal, el desarrollo de la semilla se detiene, lo que finalmente conduce a su muerte. "Nuestros resultados sugieren que la dosis del pequeño ARN proporcionado por la madre puede determinar si una semilla híbrida crece o no", explica Katarzyna Dziasek, autora principal del estudio. "Al controlar la cantidad de estas moléculas de ARN, podemos mejorar las posibilidades de supervivencia de las semillas híbridas y superar las barreras que durante mucho tiempo han impedido el cruce exitoso entre dos especies de plantas diferentes".

Curiosamente, este mecanismo no solo se encuentra en las plantas. Un fenómeno similar, conocido como disgenesia híbrida, ocurre en las moscas de la fruta. En este caso, los pequeños ARN de la madre protegen contra los trastornos genéticos que pueden ocurrir si el material genético del padre difiere demasiado. Tanto

en plantas como en animales, los pequeños ARN maternos desempeñan un papel central en la determinación de la compatibilidad de las especies durante la hibridación. Cómo se forman y transfieren estos pequeños ARN de la planta madre al endospermo son preguntas clave que se están investigando actualmente en el laboratorio de Claudia Köhler.

Estos resultados abren nuevos enfoques para que los fitomejoradores mejoren las posibilidades de supervivencia de las semillas híbridas y, por lo tanto, también la transferencia de rasgos útiles entre especies. Al comprender los mecanismos moleculares que subyacen a la muerte de las semillas híbridas, los productores pueden ser capaces de desarrollar plantas más resistentes que puedan resistir mejor el estrés ambiental, aumentar los rendimientos y apoyar la conservación de la biodiversidad.

*Nature plants*, 11 de noviembre de 2024; DOI: 10.1038/s41477-024-01844-3

### **Nuevas terapias podrían prevenir los ajustes en las bacterias intestinales que les permiten sobrevivir en regiones inflamadas.**

Estudios recientes realizados por miembros del Clúster de Excelencia "Medicina de Precisión en Inflamación Crónica" del Instituto Max Planck de Biología Evolutiva en Plön y la Universidad de Kiel muestran que una perspectiva evolutiva tiene un potencial significativo para ampliar las opciones de tratamiento para las enfermedades inflamatorias intestinales crónicas.

En un estudio de 2023, el equipo de investigación demostró que las bacterias intestinales, como la *Escherichia coli*, pueden adaptarse rápidamente a los entornos inflamatorios, volviéndose más móviles y agresivas. Estas adaptaciones mejoran la supervivencia y la propagación de las bacterias en el intestino y podrían desempeñar un papel central en pacientes con enfermedades inflamatorias intestinales crónicas. En un reciente artículo de revisión, que compara este estudio con otros trabajos de grupos de investigación internacionales, los investigadores destacan aún más el potencial de la medicina evolutiva en el tratamiento de las enfermedades inflamatorias crónicas.

Hallazgos actuales demuestran la rapidez con la que las bacterias intestinales pueden adaptarse a los entornos inflamatorios. Cambian tanto su composición genética

como sus características externas, cambios observados en experimentos de laboratorio, así como en pacientes con enfermedades inflamatorias intestinales crónicas.

Además, las bacterias desarrollan propiedades resistentes al estrés en entornos inflamatorios, que se ven reforzadas por las adaptaciones genéticas. Esto sugiere que la inflamación favorece a las bacterias que son más resistentes a las condiciones adversas. "Curiosamente, los experimentos en ratones mostraron que ciertos nutrientes, como la vitamina B6, pueden prevenir adaptaciones bacterianas dañinas", dice John Baines, miembro de la junta del Clúster de Excelencia, jefe del grupo de investigación de "Medicina Evolutiva" en el Instituto Max Planck de Biología Evolutiva y profesor de la Universidad de Kiel. En ratones que albergaban bacterias intestinales promotoras de la inflamación, la administración de vitamina B6 condujo a la aparición de cepas bacterianas menos agresivas y resistentes al estrés. Estos hallazgos indican que la nutrición dirigida podría ofrecer una forma de controlar las bacterias no deseadas.

Otro enfoque prometedor consiste en explotar las vulnerabilidades que surgen de las adaptaciones genéticas de las bacterias. Los investigadores han descubierto que, si bien las bacterias adaptadas pueden prosperar mejor en un intestino inflamado, también se vuelven más susceptibles a ciertos antibióticos, un fenómeno conocido como "sensibilidad colateral". Esto abre nuevas perspectivas para tratamientos dirigidos que podrían aliviar los síntomas de las enfermedades inflamatorias intestinales crónicas.

A partir de los hallazgos de los estudios revisados, los investigadores de Plön y Kiel han derivado nuevos enfoques de tratamiento basados en una mejor comprensión de los mecanismos de adaptación bacteriana. A través de estrategias específicas, puede ser posible prevenir o incluso revertir cambios perjudiciales. Además del enfoque mencionado anteriormente, el uso de suplementos como la vitamina B6 para inhibir las adaptaciones bacterianas desfavorables, se están probando otros conceptos innovadores.

Un método prometedor se llama Terapia Restaurativa de Estado Ancestral. Este enfoque tiene como objetivo introducir cepas bacterianas originales y no adaptadas

en el intestino para desplazar a las variantes dañinas y adaptadas. Para los pacientes en fases de remisión, es decir, períodos durante los cuales los síntomas han disminuido, el enfoque podría ofrecer una opción de tratamiento natural y segura.

Además, los nuevos conocimientos sobre las adaptaciones bacterianas motivan una reevaluación de los antibióticos existentes. Las terapias dirigidas específicamente a las bacterias que se han adaptado a las afecciones inflamatorias podrían complementar los enfoques de tratamiento convencionales y reducir significativamente la gravedad de los brotes de enfermedades inflamatorias intestinales crónicas. "A pesar de los avances prometedores, todavía hay brechas significativas de conocimiento, particularmente en lo que respecta a la comprensión de la evolución bacteriana en el intestino. Los estudios anteriores se han centrado principalmente en muestras de heces, lo que no deja claro cómo se comportan y adaptan las bacterias en diferentes regiones del intestino. Sin embargo, estas diferencias son cruciales, especialmente para los diferentes subtipos de enfermedades inflamatorias intestinales crónicas, como la enfermedad de Crohn y la colitis ulcerosa", explica John Baines. "Por lo tanto, las investigaciones futuras deberían investigar específicamente cómo se desarrollan las bacterias en varias regiones del intestino y qué papel desempeñan estas adaptaciones en las diferentes formas de enfermedad", añade Baines. La influencia de otros microbios, como hongos y virus, tampoco se ha explorado completamente y ofrece nuevas y prometedoras vías de investigación.

*Gastroenterology, 15 de octubre de 2024; DOI: 10.1053/j.gastro.2024.10.016*

### **Funciones específicas de la ubicación y regulación de mTORC1 en células**

El complejo mTOR 1 (objetivo mecanicista del complejo 1 de rapamicina) es el componente central de una red de proteínas que detecta si una célula tiene acceso a suficientes nutrientes. Por lo tanto, asegura que una célula crezca solo cuando los nutrientes son abundantes y todas las demás condiciones son óptimas. Debido a que mTORC1 controla prácticamente todos los procesos celulares, su actividad se encuentra comúnmente desregulada en la

mayoría de las enfermedades humanas y en el envejecimiento.

Las células absorben nutrientes como los aminoácidos de su entorno (aminoácidos exógenos) o descomponen el material celular que está dañado o que ya no es necesario dentro de los orgánulos vacuolares llamados lisosomas. Estos nutrientes "reciclados" (aminoácidos endógenos) se liberan al resto de la célula y se reutilizan como bloques de construcción o fuentes de energía. A pesar de la intensa investigación durante más de 15 años, cómo y dónde los nutrientes activan mTORC1, y cómo este complejo controla las funciones celulares que tienen lugar en varios lugares dentro de una célula, sigue siendo enigmático. De hecho, el modelo ampliamente aceptado en el campo sugería que mTORC1 es activado por aminoácidos exógenos exclusivamente en los lisosomas, mientras que se vuelve inactivo cuando abandona la superficie de estos orgánulos.

Los investigadores del IMP para la Biología del Envejecimiento en Colonia demostraron que la mTORC1 activa está presente no solo en los lisosomas, sino también en muchos otros lugares de una célula, como el citoplasma y el aparato de Golgi. En cada uno de estos lugares, mTORC1 actúa sobre sus diferentes sustratos para controlar distintas funciones celulares. Además, mientras que el mTORC1 lisosomal se activa principalmente por aminoácidos endógenos que se generan dentro de estos orgánulos, el mTORC1 citoplasmático detecta los aminoácidos que provienen del exterior.

En el contexto de un estudio independiente, los investigadores descubrieron que no se trata de grupos independientes de mTORC1 que actúan en cada lugar dentro de las células. En cambio, es probable que sean los mismos complejos que se desplazan entre los lisosomas y el citoplasma. Más específicamente, los investigadores demostraron que los complejos mTORC1 que se activan en la superficie lisosomal regulan su propia liberación para cumplir con sus otros objetivos en otros lugares. Por lo tanto, la actividad intrínseca de mTORC1 es otro factor importante que determina dónde se localiza y dónde actúa dentro de las células.

"Nuestros estudios sugieren que, de manera similar a la red de proteínas que regula mTORC1 en los lisosomas y que se formó en los últimos 15 años, debe

existir una red de señalización adicional que permita a las células detectar la disponibilidad de aminoácidos exógenos en el citoplasma o en otros lugares. Por lo tanto, nuestro trabajo no solo proporciona respuestas a varias preguntas previamente sin respuesta en el campo, sino que también abre un mundo completamente nuevo por descubrir en la detección de nutrientes y la biología de mTORC1", explica Constantinos Demetriades, líder del grupo de investigación en el IMP.

*Molecular Cell; 31 de octubre de 2024; DOI: DOI: 10.1016/j.molcel.2024.10.008*

---

## Institutos Max Planck

---

Como cada mes, les acercamos una presentación de tres Institutos Max Planck.

### **Instituto Max Planck para la Investigación del Metabolismo, Colonia.**

La homeostasis energética, es decir, el equilibrio entre la ingesta calórica y el gasto energético, debe controlarse en un rango estricto para garantizar la homeostasis metabólica, la salud y la supervivencia de un organismo. A lo largo de la evolución, se ha desarrollado una sofisticada red neuronal que integra información de la periferia del organismo sobre la disponibilidad de energía del cuerpo. Esta red permite al cuerpo adaptar una amplia gama de respuestas conductuales y autonómicas para controlar con precisión la ingesta de alimentos, el gasto de energía y el flujo de sustrato a través de diferentes órganos periféricos.

Las desviaciones crónicas e incluso pequeñas en esta red reguladora homeostática pueden resultar en una pérdida o un aumento de peso masivos, así como en alteraciones metabólicas asociadas.

El objetivo general de la investigación del MPI para la Investigación del Metabolismo es definir los principios reguladores fisiológicos en la homeostasis de la energía y la glucosa, así como los factores genéticos y las señales ambientales que alteran la homeostasis de la energía y la glucosa en la enfermedad. Al lograr esto, el objetivo es identificar nuevas dianas terapéuticas

como primer paso para desarrollar nuevos tratamientos para la obesidad y las enfermedades asociadas a la obesidad. Con este fin, los investigadores del Instituto emplean metodologías y tecnologías de última generación para llevar a cabo enfoques de investigación traslacional que van desde estudios sobre el desentrañamiento de los mecanismos moleculares subyacentes en células cultivadas hasta la definición de mecanismos reguladores en organismos modelo. Finalmente, las hipótesis derivadas de estos enfoques se prueban y validan a través de imágenes funcionales en sujetos humanos de control, así como en pacientes que padecen obesidad y enfermedades asociadas a la obesidad.

Este instituto cuenta con una Escuela Internacional de Investigación Max Planck (IMPRS).

### IMPRS del Envejecimiento

#### **Max Planck de Fisiología Molecular Vegetal, Potsdam**

La misión científica central del instituto es comprender la evolución y la función de los procesos moleculares que controlan el desarrollo, la fisiología y la interacción de las plantas con su entorno. Para lograr este objetivo, el instituto investiga las interacciones biológicas de las plantas a varias escalas, con un enfoque particular en tres escalas: interacciones dentro de las células vegetales, interacciones de las células vegetales entre sí e interacciones entre organismos. Entre ellas se encuentran, por ejemplo:

las interacciones entre los orgánulos endosimbióticos y el núcleo (estudiado en el departamento de Bock)

las interacciones entre el embrión y el endospermo durante el desarrollo de la semilla (investigado en el departamento de Köhler)

las interacciones entre las raíces de las plantas y los hongos simbióticos (estudiados en el departamento de Gutjahr).

Otro tema de investigación son las interacciones entre las células vegetales y los virus.

Este Instituto cuenta con una Escuela Internacional de Investigación Max Planck (IMPRS):

### IMPRS de Ciencia Vegetal Molecular

## **Instituto Max Planck de Óptica Cuántica, Garching**

Los investigadores de este Instituto exploran la interacción de la luz y los sistemas cuánticos, explotando los dos regímenes extremos de la dualidad onda-partícula de luz y materia. Por un lado, manejan la luz a nivel de fotón único, donde los fenómenos de interferencia de onda difieren de los de los haces de luz intensos. Por otro lado, cuando se enfrían conjuntos de partículas masivas a temperaturas extremadamente bajas, se pueden observar fenómenos que vuelven a su naturaleza ondulatoria. Además, cuando se trata de pulsos de luz ultracortos y altamente intensos que comprenden billones de fotones, se pueden descuidar por completo las propiedades de las partículas de la luz.

El Instituto aborda las siguientes áreas de investigación:

Materia cuántica a temperaturas extremadamente bajas

Fundamentos de Teoría de la Óptica Cuántica

Física de Attosegundos y de Alto Campo: Experimentos a escalas de tiempo extremadamente cortas

Experimentos con fotones individuales y átomos individuales

Espectroscopía de alta precisión de hidrógeno y átomos similares al hidrógeno

Este Instituto cuenta con una Escuela Internacional de Investigación Max Planck (IMPRS):

[IMPRS de Ciencia Avanzada de Fotones](#)

[IMPRS de Ciencia Cuántica y Tecnología](#)