

Mercurio Volante



44

SUPLEMENTO ESPECIAL

hipócritalector

Año III, Octubre 2025



PREMIOS NOBEL 2025

JANE GOODALL: LA DAMA DE LOS CHIMPANCÉS
COLISIONES CUÁNTICAS
MENSAJE DEL MAESTRO RONCADOR

DE LA DEPRESIÓN AL CÁNCER: LA LUZ
COMO ALTERNATIVA TERAPÉUTICA

MACHINA DIXIT

CIENCIA CHICANA: LA BIOMÍMESIS DE ELOY



PREMIOS NOBEL

EFECTO
TÚNEL

EL PREMIO NOBEL DE FÍSICA 2025

GERARDO HERRERA CORRAL

Este año se reconoce a la observación experimental del efecto túnel de la mecánica cuántica y se enfatiza que se trata de un fenómeno macroscópico de la teoría que describe al mundo microscópico.

Para los que nos dedicamos al estudio de la Mecánica Cuántica resulta difícil no recordar a George Gamow. Fue él quien en 1928 puso de relieve esta cualidad de la recién nacida teoría. Explicó el decaimiento alfa de los núcleos inestables y describió sus características confrontando con datos.

En la presentación oficial del comité Nobel se mencionó al decaimiento alfa pero no se

mencionó al inmigrante ruso en los Estados Unidos: George Gamow, que siempre estuvo al margen del galardón.

Ya antes se reconoció a la propuesta teórica en la que Brian Josephson ideó la posibilidad de observar tunelamiento cuántico y, por esa propuesta teórica recibió el Nobel en 1973 - el planteamiento había sido confirmado por Philip Anderson y John Rowell -. La observación experimental fue realizada en los años ochenta por los que serán galardonados en diciembre de este año -.

John Clarke, Michel H. Devoret y John M. Martinis recibirán el Premio Nobel por sus experimentos con un circuito eléctrico, en el que mostraron como los electrones atraviesan una barrera y muestran los niveles de energía cuantizados. Todo esto se puede observar en "un sistema que es suficientemente grande como para sostenerlo en la mano", dice el comunicado.

En el frontón la pelota rebota y nunca vemos que atravesase la pared para no regresar al terreno de juego. Que la pelota cruce la pared es imposible en el mundo en que vivimos.

Lo curioso es que en el dominio de lo pequeño eso pasa de vez en cuando. Los electrones cruzan la barrera al otro lado y es posible medir la corriente eléctrica que eso ocasiona. Esto es el efecto túnel.





En 1984 y 1985, John Clarke, Michel H. Devoret y John M. Martinis realizaron una serie de experimentos con un circuito electrónico construido con materiales superconductores, - estos son materiales que al ser enfriados conducen electricidad sin resistencia -. En el circuito, los componentes superconductores fueron separados por una fina capa de material no conductor, una configuración conocida como unión Josephson en memoria de su proponente.

En términos clásicos el montaje no debería conducir electricidad toda vez que el circuito ha sido interrumpido por una aislante que impide el paso de los electrones. Es como colocar una pared. En el frontón la pelota rebota y nunca vemos que atraviese la pared para no regresar al terreno de juego. Que la pelota cruce la pared es imposible en el mundo en que vivimos.

Lo curioso es que en el dominio de lo pequeño eso pasa de vez en cuando. Los electrones cruzan la barrera al otro lado y es posible medir la corriente eléctrica que eso ocasiona. Esto es el efecto túnel.

Al refinar y medir las diversas propiedades del circuito, los investigadores pudieron controlar y explorar los fenómenos que surgen al pasar la corriente eléctrica a través de él. En conjunto, las partículas cargadas que se mueven a través del superconductor forman un sistema que se comporta como si fueran una sola partícula que ocupa todo el circuito y eso confirma los modelos que explican toda la fenomenología.

El Nobel de Física 2025 representa una gran elección del comité. Nos lleva a recordar a uno de los olvidados por los reconocimientos Nobel en Física: George Gamow. Él fue quien primero señaló la consecuencia espectacular de la nueva teoría con datos reales. Tuvo la agudeza de explicar el fenómeno radiactivo y mostró que el efecto túnel ocurre en la naturaleza.

Los laureados Nobel de este año lo fabricaron en el laboratorio, George Gamow lo vio en las partículas alfa que escapan de los núcleos atómicos inestables.

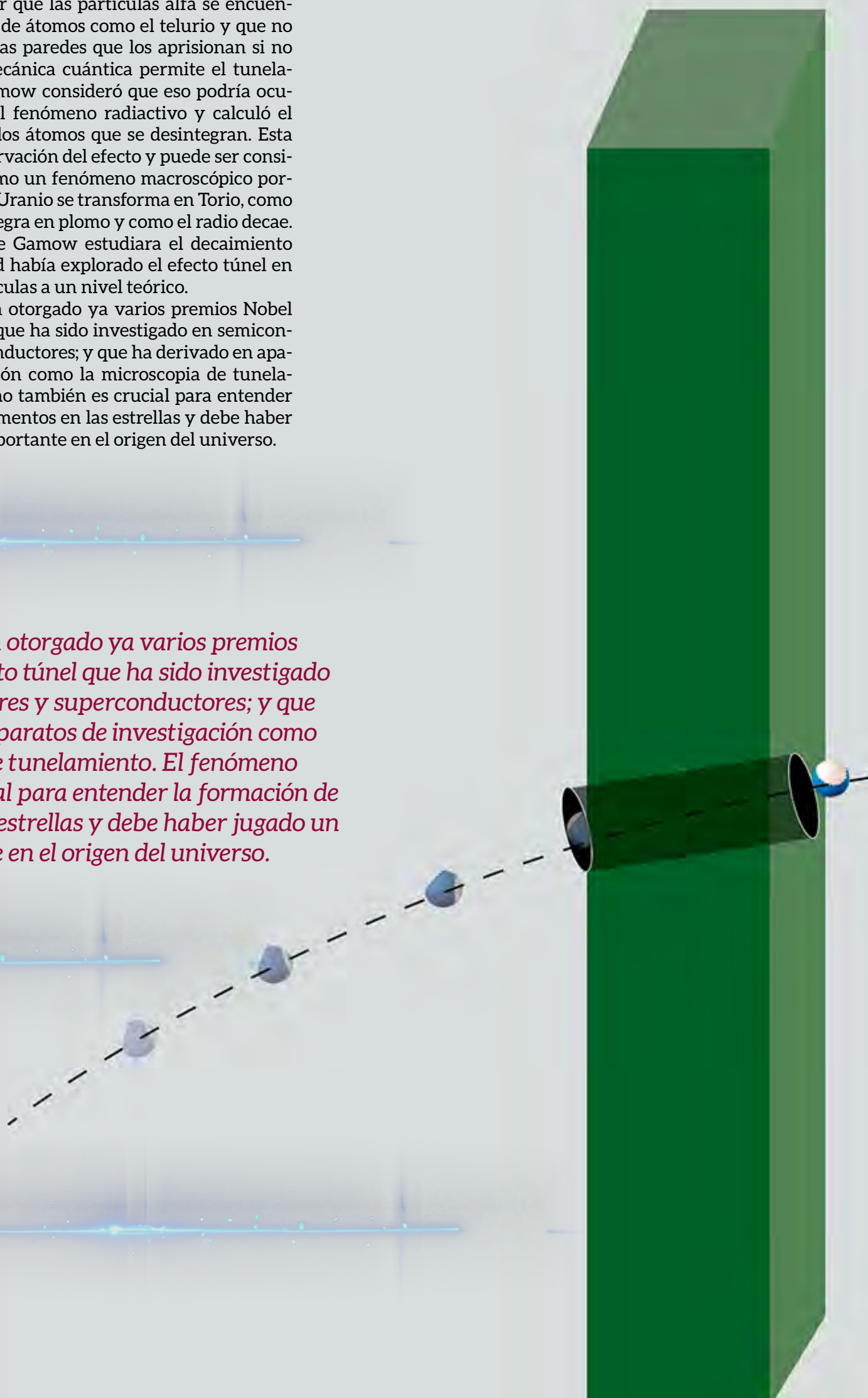
Hay átomos como el telurio 106 que son radiactivos, es decir, se desintegran emitiendo partículas alfa - las partículas alfa son agregados de dos protones y dos neutrones, i.e. núcleos de helio -

Uno puede pensar que las partículas alfa se encuentran en los núcleos de átomos como el telurio y que no podrían atravesar las paredes que los aprisionan si no fuera porque la mecánica cuántica permite el tunelamiento. George Gamow consideró que eso podría ocurrir y explicó así el fenómeno radiactivo y calculó el tiempo de vida de los átomos que se desintegran. Esta fue la primera observación del efecto y puede ser considerado también como un fenómeno macroscópico porque vemos como el Uranio se transforma en Torio, como el polonio se desintegra en plomo y como el radio decae.

Un año antes que Gamow estudiara el decaimiento alfa Friedrich Hund había explorado el efecto túnel en el espectro de moléculas a un nivel teórico.

A la fecha se han otorgado ya varios premios Nobel por el efecto túnel que ha sido investigado en semiconductores y superconductores; y que ha derivado en aparatos de investigación como la microscopia de tunelamiento. El fenómeno también es crucial para entender la formación de elementos en las estrellas y debe haber jugado un papel importante en el origen del universo.

A la fecha se han otorgado ya varios premios Nobel por el efecto túnel que ha sido investigado en semiconductores y superconductores; y que ha derivado en aparatos de investigación como la microscopia de tunelamiento. El fenómeno también es crucial para entender la formación de elementos en las estrellas y debe haber jugado un papel importante en el origen del universo.



LA CRONOLOGÍA INCOMPLETA DEL PREMIO NOBEL DE FÍSICA 2025

1927

Primeras ideas del físico alemán **Friedrich Hund**, quien postuló la posibilidad teórica del efecto túnel mientras estudiaba la interacción entre moléculas y la luz.

1928

George Gamow hace uso del efecto túnel para explicar el decaimiento alfa de núcleos inestables.

1932

Aplicación en el amoníaco. El físico **George Uhlenbeck** investigó el efecto túnel en moléculas de amoníaco, lo cual llevó a la observación de la primera transición de microondas en espectroscopia y al desarrollo de los máseres.

1957

Leo Esaki inventó el diodo túnel, que utiliza la tunelización cuántica para permitir que los electrones pasen a través de una unión semiconductor muy delgada.

1960

Ivar Giaever proporcionó evidencia experimental de la brecha energética en los superconductores al observar tunelamiento de electrones.

1962

Brian Josephson predijo el que se llamaría efecto Josephson, según el cual una corriente eléctrica puede fluir entre dos elementos de material superconductor separados por una delgada capa de materia aislante sin sufrir resistencia eléctrica alguna, pese a estar atravesando una capa de material no-superconductor.

1981

El microscopio de efecto túnel, desarrollado por **Gerd Binnig** y **Heinrich Rohrer**, que permite obtener imágenes de resolución atómica al aprovechar la corriente de túnel entre una punta conductora extremadamente afilada y la superficie de la muestra.

1985

Gran avance cuando **John R. F. Clarke** con su estudiante **John M. Martinis** y **Michel J. Devoret** (su posdoc) demostraron el fenómeno previsto por Josephson en un circuito eléctrico superconductor de un centímetro de tamaño, con miles de millones de pares de Cooper.

La mecánica cuántica es famosa por lo extraño de los fenómenos que predice. Es una teoría contraintuitiva y de difícil comprensión. Entre otros muchos, los dos fenómenos más extremos de la teoría son: el entrelazamiento cuántico y el efecto túnel; de estos dos, el tunelamiento cuántico es, sin duda, el más común y el más útil en los dispositivos de la electrónica moderna.

De manera tal que, el premio Nobel de este año, tiene una conexión indudable y abundante con nuestro bienestar.



*GERARDO HERRERA CORRAL

Físico de la Universidad de Dortmund y del Cinvestav, es líder de los latinoamericanos en el CERN. Ha escrito diversos libros, entre ellos *Dimensión desconocida. El hiperespacio y la física moderna* (Taurus, 2023) y *Antimateria. Los misterios que encierra y la promesa de sus aplicaciones* (Sexto piso, 2024).



PREMIOS NOBEL

INHIBICIONES INMUNOLÓGICAS

ELÍAS MANJARREZ

*El sistema inmune usa la inhibición
para moldear nuestra identidad,
porque conoce lo propio y lo extraño.*

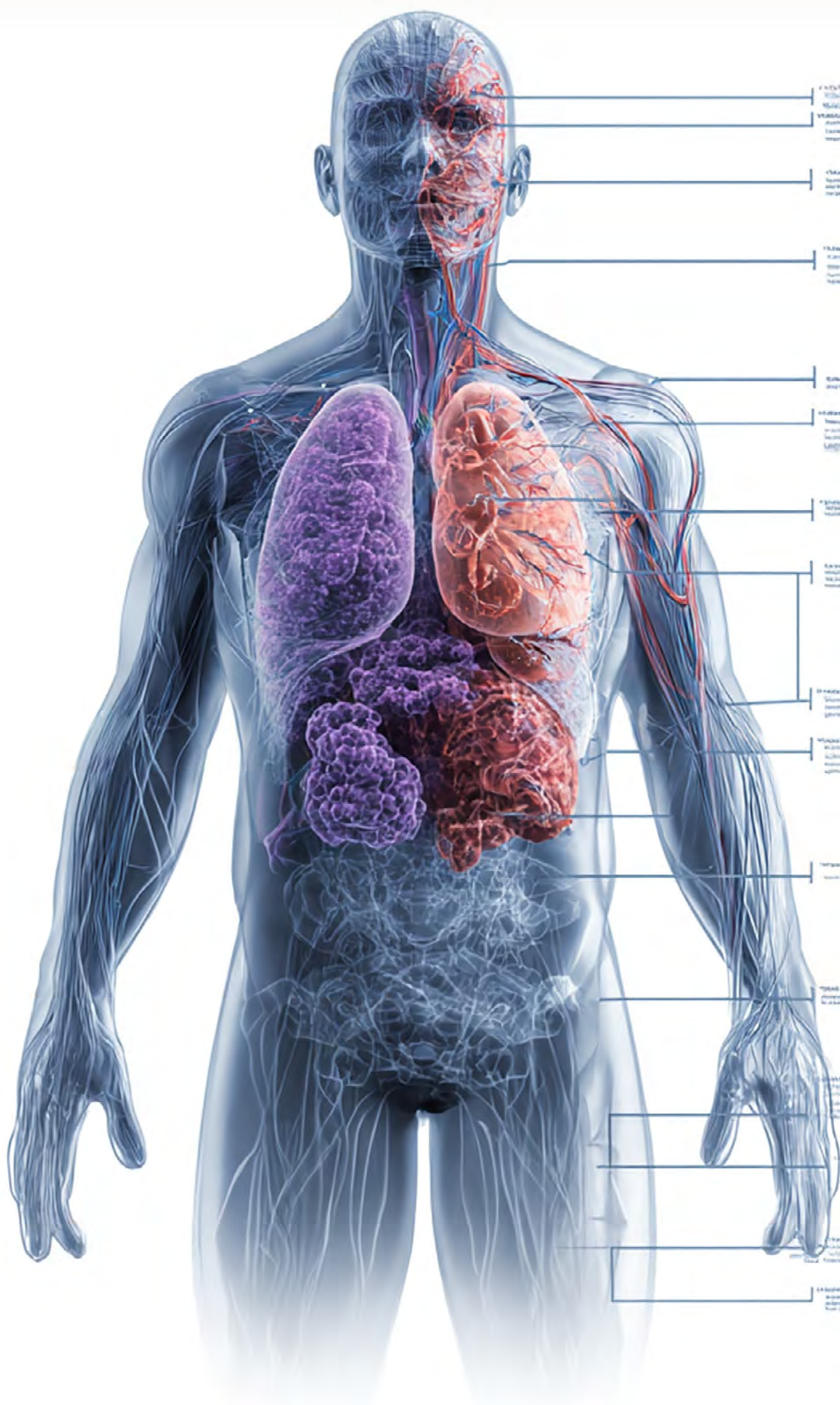
El lunes 6 de octubre de 2025 se otorgó el premio Nobel de Medicina o Fisiología a Mary Brunkow, Fred Ramsdell y Shimon Sakaguchi por sus descubrimientos de los mecanismos inhibitorios que regulan el sistema inmune.

La palabra inmune proviene del latín *immunis*, que significa “libre de impuestos”. Era un concepto utilizado por los romanos para designar a quienes no debían pagar esos tributos. Este término se introdujo en la medicina en 1796, cuando el médico inglés Edward Jenner observó que los ordeñadores de vacas infectados por viruela enfermaban, pero, tras recuperarse, quedaban protegidos contra la viruela humana.

Esa observación motivó a Jenner a inocular a un niño con pus de viruela vacuna, descubrió que esa “*variola vaccinae*” confería *inmunidad*, de modo que, al exponerse luego al virus de la viruela, el niño no enfermó. De esta práctica nacieron los términos “vacuna” de la palabra “vaca” e “*inmunidad*” de la protección frente a la enfermedad.

Ahora sabemos que los agentes que le parecen extraños al sistema inmune son los *antígenos*, que pueden ser partes de virus, bacterias, toxinas o células del propio cuerpo que han mutado, como las células cancerosas. También sabemos que la respuesta inmune produce proteínas, llamadas *anticuerpos*, que se unen a los antígenos para neutralizarlos y marcarlos para su destrucción.

En los vertebrados, el proceso de producción de *anticuerpos* en respuesta a los *antígenos* depende de los linfocitos T y B, originados en las células madre hematopoyéticas pluripotentes que residen en la médula ósea en los adultos. A las células T se les llama así porque viajan a través de la sangre hasta el timo, un órgano linfode primario donde logran madurar para convertirse en linfocitos T funcionales. En cambio, las células B completan toda su maduración en la médula ósea y se les llama linfocitos B.



Antes de los descubrimientos de los galardonados con el Nobel de Medicina 2025, predominaba una sola explicación acerca de cómo el sistema inmune se protege de atacarse a sí mismo: la llamada “tolerancia central”. Era una teoría muy simple, basada en un proceso pasivo. Se pensaba en una tolerancia inmunitaria que se desarrollaba en el timo con una eliminación selectiva de células inmunitarias potencialmente dañinas.

Antes de los descubrimientos de los galardonados con el Nobel de Medicina 2025, predominaba una sola explicación acerca de cómo el sistema inmune se protege de atacarse a sí mismo: la llamada “tolerancia central”. Era una teoría muy simple, basada en un proceso pasivo. Se pensaba en una tolerancia inmunitaria que se desarrollaba en el timo con una eliminación selectiva de células inmunitarias potencialmente dañinas [1].

En los años 90, Sakaguchi, uno de los galardonados, no estaba convencido con esa descripción, por lo que se preguntó qué es lo que realmente hace que nuestro propio sistema inmune no destruya nuestras células de una forma autoinmune, produciendo enfermedades como la diabetes tipo 1, la artritis o la tiroiditis.

Para contestar esa pregunta, Sakaguchi y su equipo se enfocaron en estudiar las células T de animales sanos con detalle, descubriendo que cerca de un 10% de esas células tienen en sus membranas unas proteínas llamadas CD4+ y CD25+. Los acrónimos CD se refieren a Cúmulos de Diferenciación. El gran porcentaje de esas células marcadas le llamó la atención, por lo que pensó que tal vez esas proteínas podrían tener un papel crucial en la función de las células T [2].

Enseguida, Sakaguchi quiso probar el efecto de introducir esas células vivas con dichos marcadores en el torrente sanguíneo mediante administración intravenosa a ratones sin timo. Realizó dos experimentos. En el primero [3], solo inyectó las células T con los marcadores CD4+, observando que los animales exhibían enfermedades autoinmunes graves.

En el segundo experimento [3] se inyectaron células T con ambos marcadores CD4+ y CD25+, encontrando que los animales no presentaban dichas enfermedades autoinmunes. ¡Esto fue sorprendente! Había descubierto que las células T con cúmulos de Diferenciación CD25+ en sus membranas actuaban como células T reguladoras (inhibidoras) de la respuesta inmune, evitando que otras células T atacaran a las células del ratón. Estas células recibieron el nombre de “células Treg”, dando lugar a una “tolerancia periférica” de la respuesta inmune [4].

Es posible afirmar que las células Treg son un tipo particular de glóbulo blanco encargado de mantener la armonía del sistema inmunitario. Actúan como un freno que impide que las defensas del cuerpo se vuelvan contra sus propios tejidos [4].



De manera metafórica diríamos que el sistema inmune es un guardián feroz que identifica lo propio y lo extraño y que, sin la inhibición de las células Treg, podría atacar a las propias células del cuerpo.

Cabe preguntarse: ¿cómo Sakaguchi separó las células vivas que tenían los cúmulos CD4 y CD25? Debió ser toda una hazaña. La respuesta es que empleó la *citometría de flujo* para la identificación y separación de subpoblaciones de células con ambas proteínas CD4+CD25+ y de subpoblaciones de células con solo los cúmulos CD4+.

Aquí me gustaría hacer una pausa para destacar que los primeros sistemas de esta *técnica óptica* fueron desarrollados entre las décadas de 1960 y 1970. Empleaban rejillas o prismas de difracción, como en los espectrofotómetros. Gracias a esta tecnología, Sakaguchi pudo identificar las células T reguladoras (Treg) con relativa facilidad, cuyo descubrimiento lo llevó a obtener el premio Nobel.

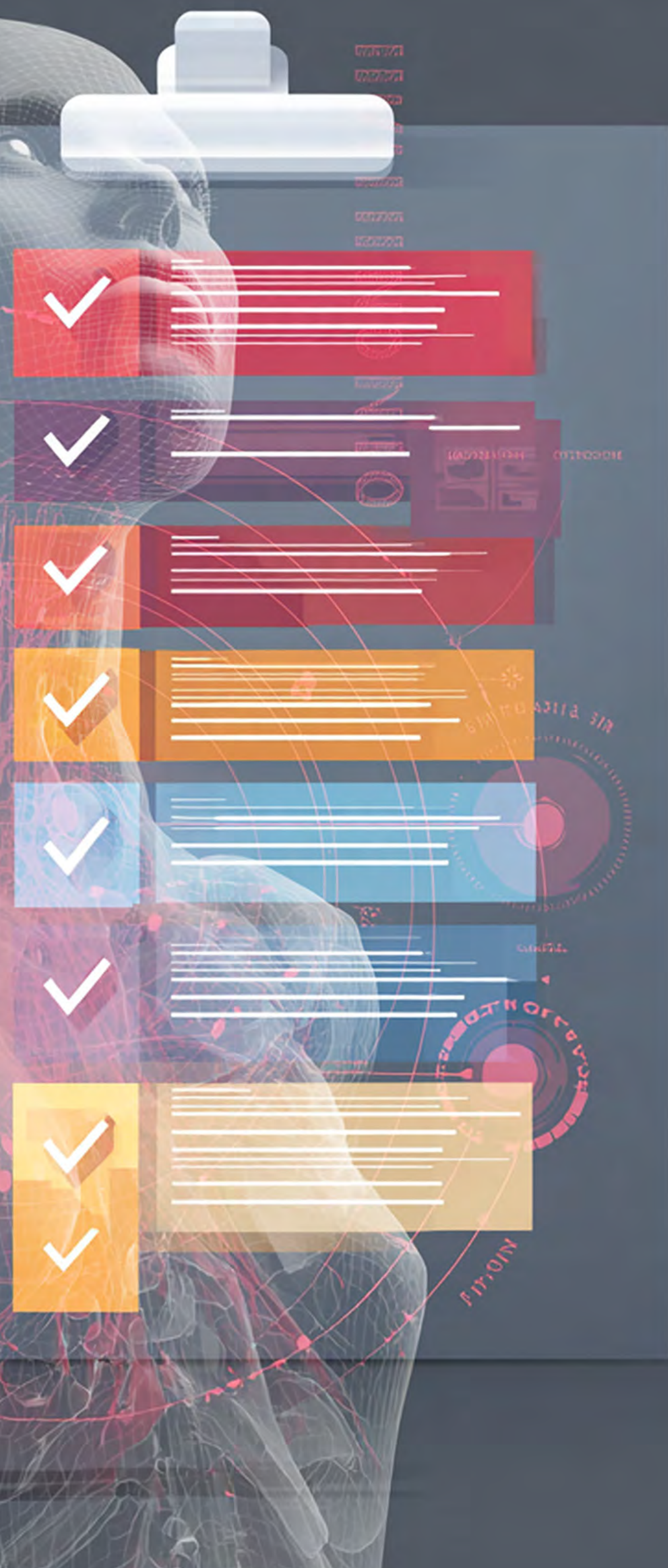
De modo análogo, los estudios de radiación del cuerpo negro, también realizados con instrumentos ópticos basados en la dispersión de la luz, permitieron a Max Planck formular en 1900 la teoría de los cuantos de energía, por la cual recibiría el Nobel en 1919. Vemos que, en ambos casos, la interacción entre luz y materia llevó a una grandiosa revolución conceptual en ambas disciplinas.

Mary Brunkow y Fred Ramsdell ayudaron a confirmar en los años 90 el descubrimiento de Sakaguchi. Realizaron experimentos en ratones que exhibían una mutación genética llamada "scurfy" (que presenta erupciones escamosas en la piel) y que causaba enfermedades autoinmunes [5].

A través de investigaciones minuciosas, descubrieron que la mutación afectaba el gen Foxp3 (Proteína 3 Forkhead box, por sus siglas en inglés), esencial para el funcionamiento de las células T regulatorias Treg. Este hallazgo fue crucial para comprender las enfermedades autoinmunes en los humanos. Ahora Foxp3 se ha convertido en un marcador natural de las células Treg [5].

Cabe preguntarse: ¿cómo Sakaguchi separó las células vivas que tenían los cúmulos CD4 y CD25? Debió ser toda una hazaña. La respuesta es que empleó la citometría de flujo para la identificación y separación de subpoblaciones de células con ambas proteínas CD4+CD25+ y de subpoblaciones de células con solo los cúmulos CD4+.





Se espera que futuras investigaciones permitan reducir el número o la función de las Treg en los tumores, con el objetivo de retirar ese escudo inmunosupresor y potenciar la respuesta de otras células T contra el cáncer.

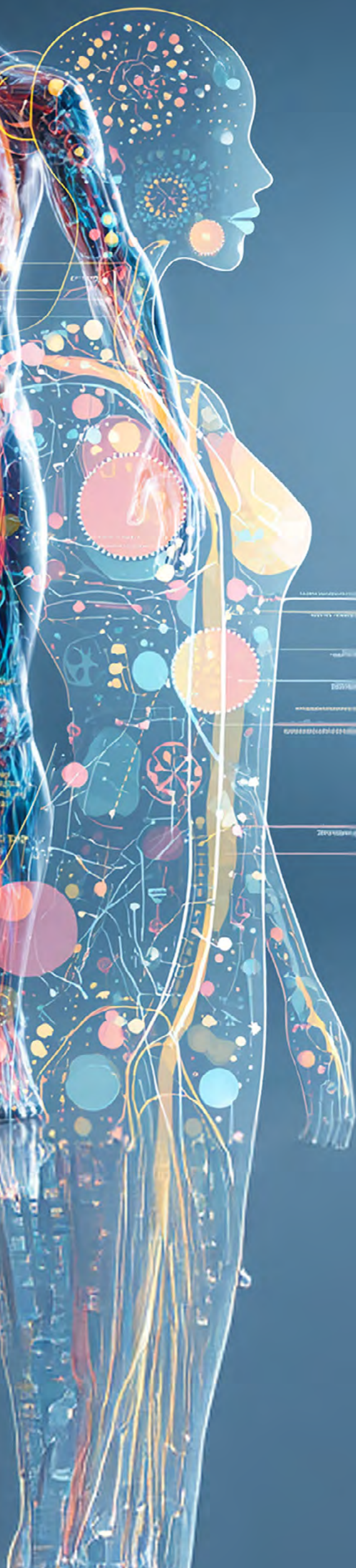
La relevancia del descubrimiento del gen Foxp3 radica en que este factor de transcripción es esencial para el desarrollo y la función de las células T reguladoras (Treg). Por ejemplo, en modelos experimentales de diversas enfermedades autoinmunes, como la diabetes tipo 1, la esclerosis múltiple y el asma, la inducción o transferencia de células T positivas a FOXP3 ha demostrado reducir significativamente la inflamación y la severidad de la enfermedad. En humanos, estas estrategias están siendo evaluadas en la clínica como terapias potenciales para trastornos autoinmunes y alérgicos.

Las células T reguladoras (Treg) desempeñan un papel clave en la progresión del cáncer, ya que muchos tumores inducen su acumulación o activación para protegerse del ataque inmunitario. Dichas células Treg se concentran en el microambiente tumoral y actúan como un escudo que limita la acción de los linfocitos efectores encargados de destruir las células malignas.

Se espera que futuras investigaciones permitan reducir el número o la función de las Treg en los tumores, con el objetivo de retirar ese escudo inmunosupresor y potenciar la respuesta de otras células T contra el cáncer.

Las células T reguladoras (Treg) y el gen FOXP3, descubiertos por Sakaguchi, Brunkow y Ramsdell, fueron esenciales para comprender cómo el sistema inmunitario equilibra la activación y la tolerancia. Gracias a ese conocimiento, hoy se sabe cómo activar linfocitos T de manera controlada y, al mismo tiempo, evitar respuestas autoinmunes o tóxicas.

En la terapia CAR-T (células T con Receptor de Antígeno Quimérico), se usan linfocitos T modificados genéticamente para expresar un receptor sintético (CAR) que les permite reconocer y destruir células tumorales con gran precisión. Esta terapia combina biología molecular, ingeniería genética e inmunología [6].



REFERENCIAS

- [1] <https://www.nobelprize.org/uploads/2025/10/popular-medicineprize2025-figure3.jpg>
- [2] Sakaguchi S, Sakaguchi N, Asano M, Itoh M, Toda M. Immunologic self-tolerance maintained by activated T cells expressing IL-2 receptor alpha-chains (CD25). Breakdown of a single mechanism of self-tolerance causes various autoimmune diseases. J Immunol. 1995 Aug 1;155(3):1151-64. PMID: 7636184.
- [3] <https://www.nobelprize.org/uploads/2025/10/popular-medicineprize2025-figure5.jpg>
- [4] <https://www.nobelprize.org/uploads/2025/10/popular-medicineprize2025-figure7.jpg>
- [5] <https://www.nobelprize.org/uploads/2025/10/popular-medicineprize2025-figure6.jpg>
- [6] Fukuta T, Shaha S, da Silva-Candal A, Zhao Z, Mitragotri S. Cell therapies against brain tumors: Clinical development and emerging prospects. Bioeng Transl Med. 2025 Apr 16;10(5):e70018. doi: 10.1002/btm2.70018. PMID: 41030289; PMCID: PMC12478451.
- [7] Octavio Paz. Obras completas, VII. Obra poética 2.^a ed. México: Fondo de Cultura Económica, 2014, 1365 pp. Colección LETRAS MEXICANAS



PREMIOS NOBEL

MEDICINA Y FISIOLOGÍA 2025: LA REGULACIÓN DEL SISTEMA INMUNOLÓGICO

MARIO DE LA PIEDRA WALTER

Durante gran parte de la historia evolutiva del ser humano, el gran desafío ha sido crear un sistema de defensa que nos proteja de otros microorganismos. Las enfermedades infecciosas fueron durante mucho tiempo el principal enemigo de nuestra especie. Por esta razón, centenas de miles de años de selección natural desembocaron en un sistema inmune casi perfecto, capaz de identificar y atacar a un sinnúmero de patógenos distintos. Con la llegada de los antibióticos, la caballería pesada en el campo de batalla, las enfermedades infecciosas parecían controladas, al menos en los países altamente industrializados y previo a la resistencia a los antibióticos. En las últimas décadas, sin embargo, hemos sido testigos de la otra cara de la moneda de un sistema de defensa tan especializado: las enfermedades autoinmunes.

A grandes rasgos existen dos tipos de respuesta inmunitaria: la innata y la adaptativa. La inmunidad innata, que es el sistema de defensa con el que nacemos, es rápida e inespecífica, e incluye células como los macrófagos y los neutrófilos. La inmunidad adaptativa, por el otro lado, es un sistema de defensa que se desarrolla a través de la exposición a un antígeno, ya sea un virus o una bacteria, de forma natural o gracias a la vacunación. Se caracteriza por ser más específica y guardar una “memoria”, que tras el primer encuentro permite una respuesta rápida e intensa ante una reexposición. A través de los linfocitos B, que producen anticuerpos específicos para neutralizar patógenos, y los linfocitos T, que destruyen las células infectadas; el sistema inmune se encarga de combatir a cualquier microorganismo potencialmente peligroso. Sin embargo, este sistema de defensa tan sofisticado tiene sus defectos. Existen ocasiones en que reconoce a células del propio cuerpo como enemigas y las destruye, lo que se traduce en una enfer-



medad autoinmune. La destrucción guiada por el sistema inmune de células productoras de insulina (células beta pancreáticas) es la causante, por ejemplo, de la Diabetes mellitus tipo 1. Cuando el sistema inmunitario ataca las células que producen las hormonas tiroideas (enfermedad de Hashimoto) se produce un hipotiroidismo. Si se monta una respuesta crónica en las articulaciones estamos hablando de la artritis reumatoide. Lo mismo ocurre en otras enfermedades autoinmunes como la esclerosis múltiple, el lupus eritematoso sistémico y las enfermedades inflamatorias intestinales, que incluyen la enfermedad de Crohn y la colitis ulcerosa.

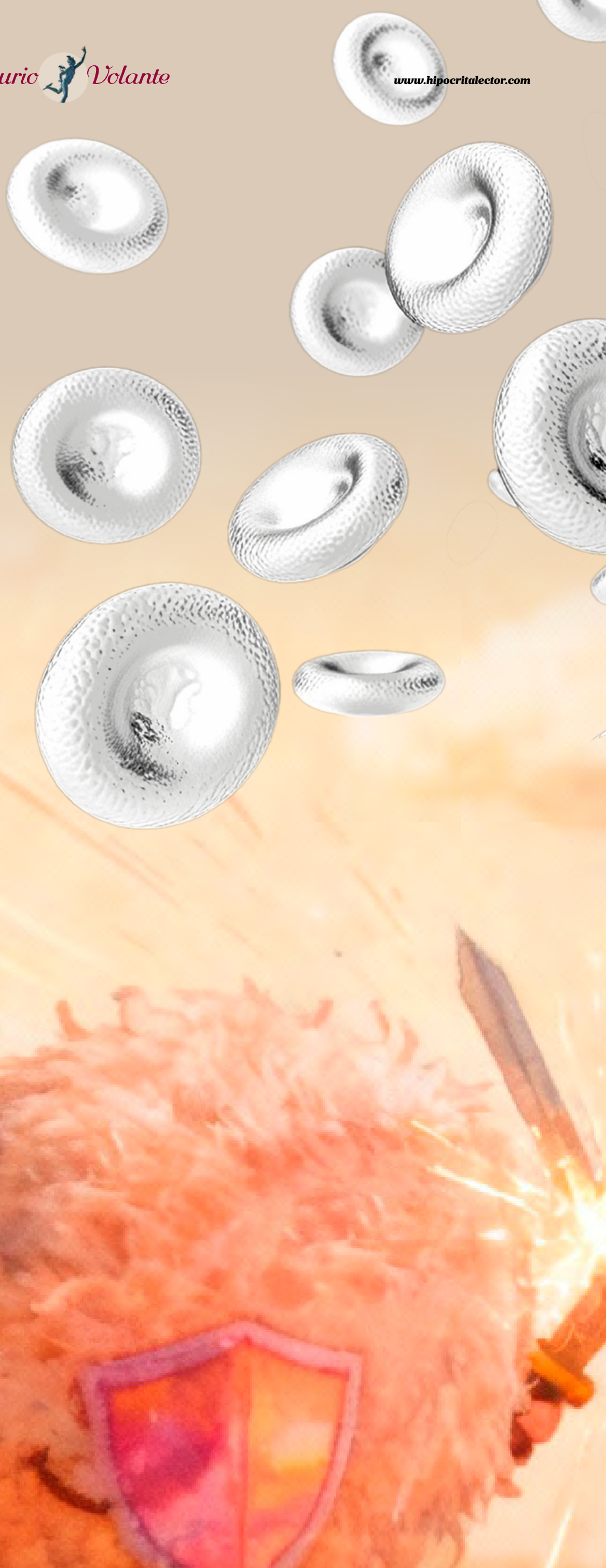
Las células de defensa, los linfocitos B y los linfocitos T, maduran en la médula ósea (tejido blando dentro de los huesos grandes donde se producen células sanguíneas) y en el timo (un órgano linfóide que se encuentra detrás del esternón) respectivamente. Estos últimos son expuestos a una gran variedad de moléculas del cuerpo (autoantígenos) durante su desarrollo. Si un linfocito inmaduro reconoce alguna de estas moléculas como extraña, es eliminado para evitar que en un futuro ataque al propio organismo. A este proceso se le conoce como *tolerancia periférica* y mantiene a raya a nuestro sistema de defensa.

Las células de defensa, los linfocitos B y los linfocitos T, maduran en la médula ósea (tejido blando dentro de los huesos grandes donde se producen células sanguíneas) y en el timo (un órgano linfóide que se encuentra detrás del esternón) respectivamente.



Por mucho tiempo, se pensó que esta era la única vía de autorregulación del sistema inmunitario. Sin embargo, no quedaba claro – entre otras cosas – por qué el sistema no atacaba a todas las moléculas que se formaban después de su maduración. Mientras que la mayoría de los científicos estudiaban a los linfocitos T, las células NK (Natural Killer cells) o “asesinas” y los linfocitos Th (T helper) o “auxiliares”, a finales de los ochenta y principios de los noventa; el científico japonés, Shimon Sakaguchi, descubrió otro tipo de linfocitos: las células T reguladoras (Tregs). Estas células parecían suprimir la respuesta de las otras células de defensa. En un experimento elegante, Sakaguchi demostró que ratones con una deficiencia de estas células desarrollaban una enfermedad autoinmune. Por el contrario, el progreso de la enfermedad se detenía cuando recibían estas células. Pocos científicos mostraron interés en sus estudios y fue duramente criticado. Durante casi una década fue ninguneado por la comunidad científica internacional y pocos fueron los que continuaron investigando este tipo de células.

En el año 2001 los científicos estadounidenses, Mary Brunkow y Fred Ramsdell, descubrieron una mutación en el gen *FOXP3* que causaba una enfermedad autoinmune fatal en los ratones. También demostraron que mutaciones de este gen en el ser humano se relacionaban con enfermedades autoinmunes genéticas severas, como el síndrome IPEX que produce diabetes tipo 1, enteropatía y eccema en niños varones (ligado al cromosoma X). Dos años más tarde, Sakaguchi y sus colaboradores demostraron que el gen *FOXP3* se expresaba específicamente en las células T reguladoras y era esencial para su desarrollo. Es decir, este gen es el encargado – a través de las células T reguladoras – de mediar la respuesta inmune y en muchos casos, de suprimirla. A este mecanismo se le bautizó como *tolerancia periférica* y complementa el otro proceso de regulación que es la *tolerancia central*.





Este año se premia a estos tres científicos “por sus descubrimientos sobre la tolerancia inmune periférica”. Sus trabajos prometen una revolución en el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades autoinmunes. De hecho, Ramsdell es el asesor científico de Sonoma Biotherapeutics, una empresa fundada en el 2019 para desarrollar fármacos para el tratamiento de la artritis reumatoide y otras enfermedades autoinmunes. Del mismo modo, se ha teorizado sobre una posible aplicación de estas células en el tratamiento del cáncer. Otra de las aplicaciones, que ya es una realidad, es el de la inmunoregulación después de un trasplante. El rechazo del órgano trasplantado, mediado por el sistema inmune que reconoce al órgano donado como extraño, es uno de los mayores retos en esta disciplina. Los donadores y los candidatos a recibir una donación deben someterse a varios estudios de histocompatibilidad para reducir el riesgo de rechazo. Utilizando células *T reguladoras* ha sido posible suprimir esta respuesta y tener una mayor tasa de éxito.

El premio Nobel de Medicina y Fisiología 2025 nos recuerda, como casi todos los años, que la ciencia es un trabajo en conjunto. Muchas veces, es imposible vislumbrar el alcance de las investigaciones. Tienen que pasar años, si no es que décadas, para que otro grupo de investigadores complementen y den sentido a los resultados. Una vez más, se premia el valor colaborativo de la ciencia, que abre nuevas ventanas hacia el entendimiento de nosotros mismos y un mundo de posibilidades terapéuticas.



***MARIO DE LA PIEDRA WALTER**
Médico por la Universidad La Salle y neurocientífico por la Universidad de Bremen. En la actualidad cursa su residencia de neurología en Berlín, Alemania. Autor del libro *Mentes geniales: cómo funciona el cerebro de los artistas* *(Editorial Debate, Barcelona, 2025).*





PREMIOS NOBEL

ARQUITECTOS MOLECULARES

GABRIELA PÉREZ

El Premio Nobel de Química 2025 se otorgó a Susumu Kitagawa, Richard Robson y Omar M. Yaghi por sus “estructuras metal orgánicas” que atrapan el dióxido de carbono. Susumu Kitagawa nació en 1951 en Kioto, Japón, y es profesor de la Universidad de Kioto. Richard Robson nació en 1937 en Glusburn, Reino Unido, y es profesor de la Universidad de Melbourne, Australia. Omar M. Yaghi nació en 1965 en Amán, Jordania, y es profesor de la Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos.

Los tres científicos construyeron efectivas prisiones moleculares para gases. A través de su investigación, los tres galardonados de este año han creado estructuras moleculares porosas, compuestas de metales y componentes orgánicos, que permiten el paso de gases y otras sustancias. Estos materiales, llamados marcos o redes metal orgánicas (MOF por sus siglas en inglés, Metal-organic framework), pueden utilizarse para extraer agua del aire del desierto, capturar dióxido de carbono, almacenar gases tóxicos o facilitar reacciones químicas útiles para otros fines.

Los MOF son materiales extremadamente porosos, tanto que pueden considerarse esponjas moleculares capaces de capturar, separar o almacenar sustancias a nivel microscópico. Sus cavidades ofrecen una enorme superficie molecular, lo que los hace ideales para almacenar o filtrar sustancias. Por ejemplo, pueden atrapar grandes cantidades de gas en sus poros o utilizarse para capturar selectivamente un gas mezclado con otros, como se hace en las plantas para separar el dióxido de carbono del resto del aire. Y todo empezó con unas bolas de madera.

A principios de la década de 1980, Robson probó una idea que se le había ocurrido mientras trabajaba con modelos para construir moléculas, los que se utilizaban para enseñar su estructura y que generalmente estaban hechos de bolas de madera que representaban átomos, en las que se insertaban clavijas que representaban enlaces químicos (múltiples átomos combinados forman una molécula). Los agujeros en las bolas debían colocarse de forma diferente según el tipo de átomo, y de ahí Robson extrajo la idea de probar las propiedades de los propios átomos para conectar diferentes tipos de moléculas entre sí, en lugar de átomos individuales.

En química, existen dos formas principales de construir materiales sólidos: uniendo átomos con átomos o moléculas con moléculas. Robson quería probar algo diferente: usar las reglas de enlace atómico para unir moléculas enteras de forma sólida y ordenada.

Robson realizó su primer intento, inspirado en los diamantes, compuestos de un material altamente compacto, donde cada átomo de carbono está unido a otros cuatro átomos de carbono en una estructura piramidal. La idea era usar otros bloques de construcción en lugar del carbono y lograr que se enlazaran de forma similar.

Robson se dio cuenta de que podía usar iones metálicos —que en química forman enlaces direccionales, llamados enlaces de coordinación— para unir moléculas orgánicas rígidas. Estas moléculas orgánicas actúan

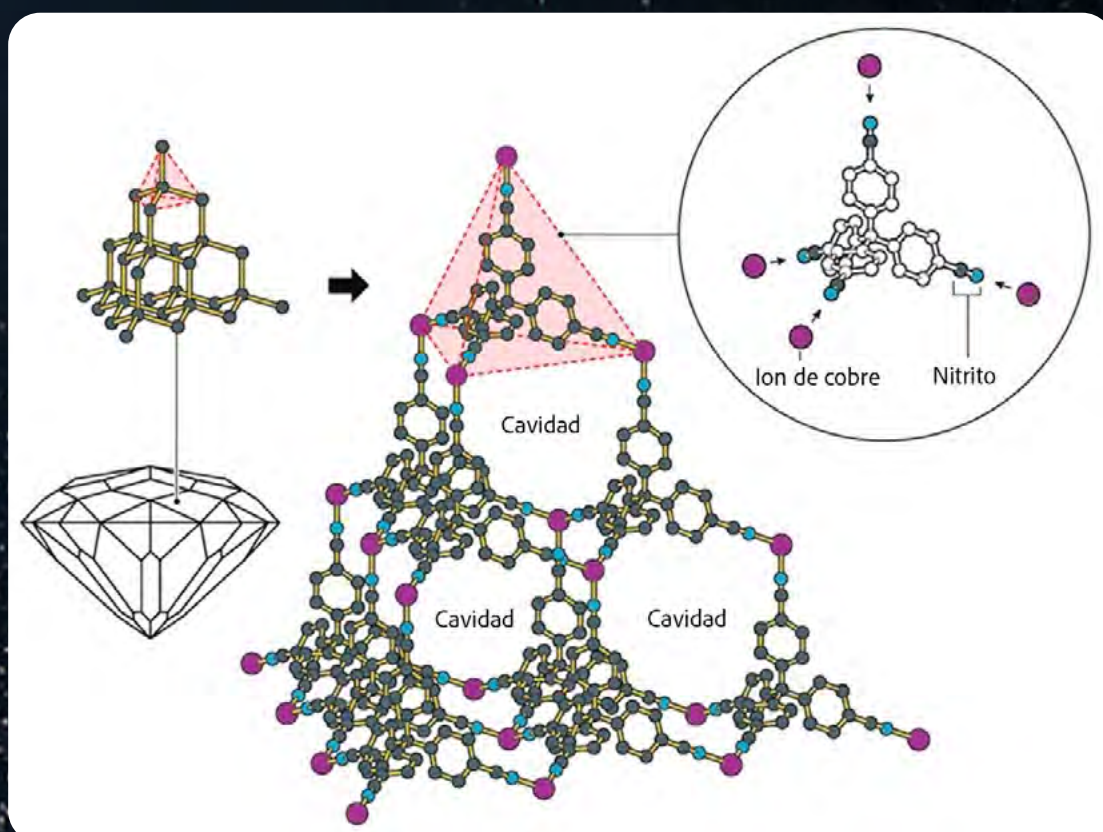


como conectores o tirantes, obligando a toda la estructura a crecer de forma ordenada y dejando enormes espacios vacíos. Utilizó iones de cobre, átomos con carga positiva que forman cuatro enlaces, al igual que el carbono en el diamante, y una molécula orgánica con cuatro extremos. Hasta entonces, se pensaba que la combinación de estos dos componentes daría lugar a una maraña de moléculas e iones, pero este investigador demostró que la afinidad en los enlaces era tal que los diversos componentes se ensamblaban en una estructura ordenada.

La creación de Robson fue el primer MOF de la historia, y a finales de la década de 1980 describió sus características en un estudio que abriría importantes oportunidades de investigación en la ciencia de los materiales. Al explotar los espacios vacíos, se podían diseñar nuevos con diversas funciones.

Richard Robson se propuso crear nuevas estructuras moleculares con espacios vacíos, que pudieran llenarse con diversas sustancias, para comprender qué hacer con ellos. En un experimento, llenó una estructura con un tipo de ion específico y luego la sumergió en un líquido que contenía otro tipo de ion. Observó que los iones intercambiaban posiciones, encontrando evidencia adicional de que las sustancias podían entrar y salir libremente de las nuevas estructuras que había diseñado.

El siguiente paso fue diseñar cristales con cavidades adecuadas para albergar sustancias químicas específicas, pero los primeros intentos fueron decepcionantes. Las estructuras eran más frágiles de lo esperado y tendían a colapsar, hasta el punto de que su invento parecía condenado al fracaso. Sin embargo, entre los químicos no solo hubo críticos: Susumu Kitagawa y Omar Yaghi, intrigados por las oportunidades que ofrecían los MOF, a principios de la década de 1990 realizaron una serie de descubrimientos muy importantes que sentarían las bases para el futuro de estos materiales.



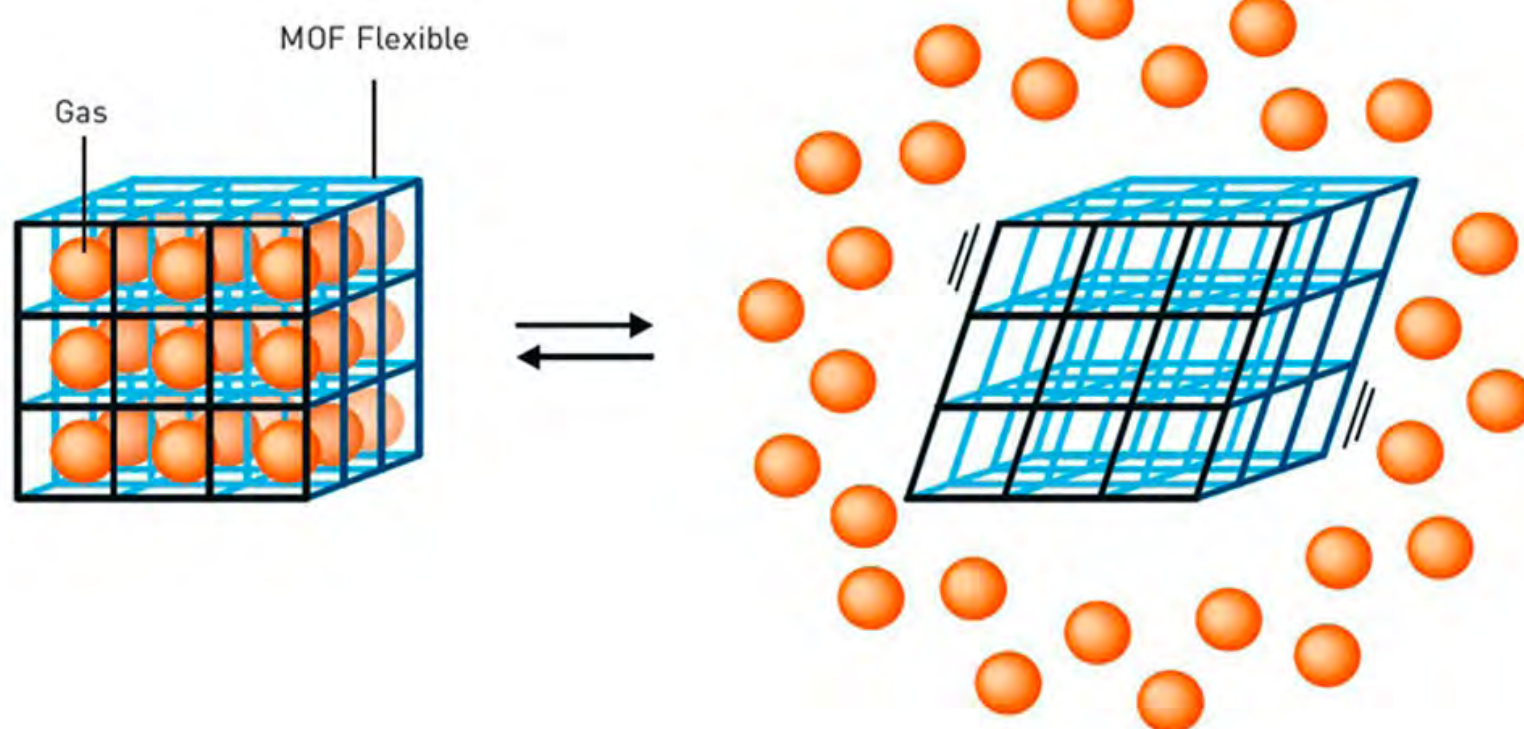
Richard Robson se inspiró en la estructura del diamante (cada átomo de carbono se une a otros cuatro, formando una pirámide). Utilizó iones de cobre y una molécula de cuatro brazos, combinándolos, y obtuvo un cristal ordenado y muy espacioso.

Tras algunos intentos poco prometedores, en 1997 Kitagawa utilizó iones de cobalto, níquel y zinc junto con una molécula específica, logrando crear redes metal orgánicas tridimensionales lo suficientemente estables como para llenar los espacios vacíos con gases como metano, nitrógeno y oxígeno. La estructura permaneció inalterada, lo que sugiere que podría utilizarse como material poroso en lugar de otros materiales ya conocidos basados en un principio químico diferente.

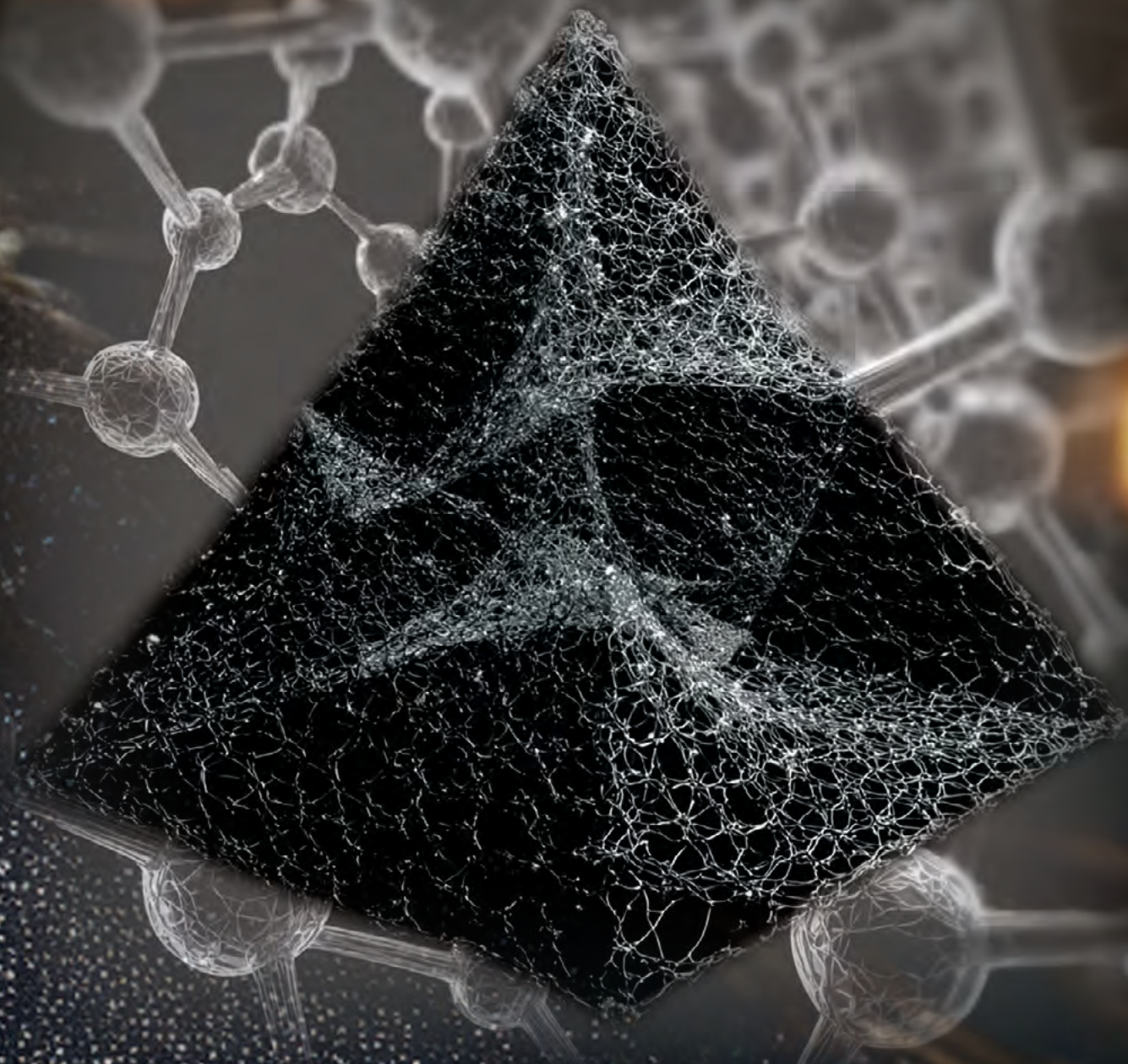
Kitagawa tardó un tiempo en demostrar la utilidad de los MOF que había creado, demostrando que podían construirse con diversos tipos de moléculas y que podían hacerse flexibles gracias a ciertos componentes moleculares elásticos. Fue precisamente esta última

propiedad la que interesó a otros investigadores, lo que condujo al desarrollo de los MOF flexibles.

Casi al mismo tiempo, Yaghi también había logrado avances significativos con los MOF (él acuñó el término: Metal-organic framework), desarrollando estructuras estables capaces de soportar altas temperaturas sin colapsar. En 1999, Yaghi anunció la producción de MOF-5, un material estable con amplios espacios internos que puede utilizarse para absorber grandes cantidades de gas. Posteriormente colaboró con Kitagawa, uniéndose a su investigación sobre MOF flexibles, que pueden cambiar de forma al llenarse con un fluido y luego volver a su forma original, de forma similar a la funda de una gaita.



En 1998, Kitagawa planteó la hipótesis de que las estructuras metal orgánicas (MOF) podrían ser flexibles. Hoy en día, existen numerosas MOF flexibles que pueden cambiar de forma, por ejemplo, al llenarse o vaciarse de diversas sustancias.



Hasta ahora, los MOF se han utilizado a pequeña escala, pero se están explorando soluciones para producirlos y comercializarlos, aprovechando su versatilidad. Los expertos creen que tienen un gran potencial, y sus primeras aplicaciones prácticas lo demuestran.

En la industria electrónica, los MOF se utilizan para retener los gases tóxicos necesarios para la producción de semiconductores, aunque existen versiones que pueden degradar gases nocivos. Otra área importante de desarrollo es la posibilidad de utilizar MOF en sistemas que eliminan el dióxido de carbono de la atmósfera, lo que contribuye a reducir la circulación de gases de efecto invernadero y, en consecuencia, el calentamiento global.

Los optimistas creen que los MOF podrían convertirse en el mayor descubrimiento en la ciencia de los materiales del siglo XXI, dado su enorme potencial.



GABRIELA PÉREZ AGUIRRE

Estudió ingeniería química en la Facultad de Química de la UNAM. Es autora de libros de texto de física y química a nivel secundaria y de química a nivel bachillerato. Colaboró en la concepción, desarrollo y edición de libros de texto, interactivos y guiones para la red EDUSAT, del Instituto Latinoamericano para la Comunicación Educativa (ILCE). Formó parte del equipo editorial de la Revista Ciencias, de la Facultad de Ciencias de la UNAM



PREMIOS NOBEL

NOBEL DE QUÍMICA 2025 A LOS ARQUITECTOS DE CATEDRALES MOLECULARES

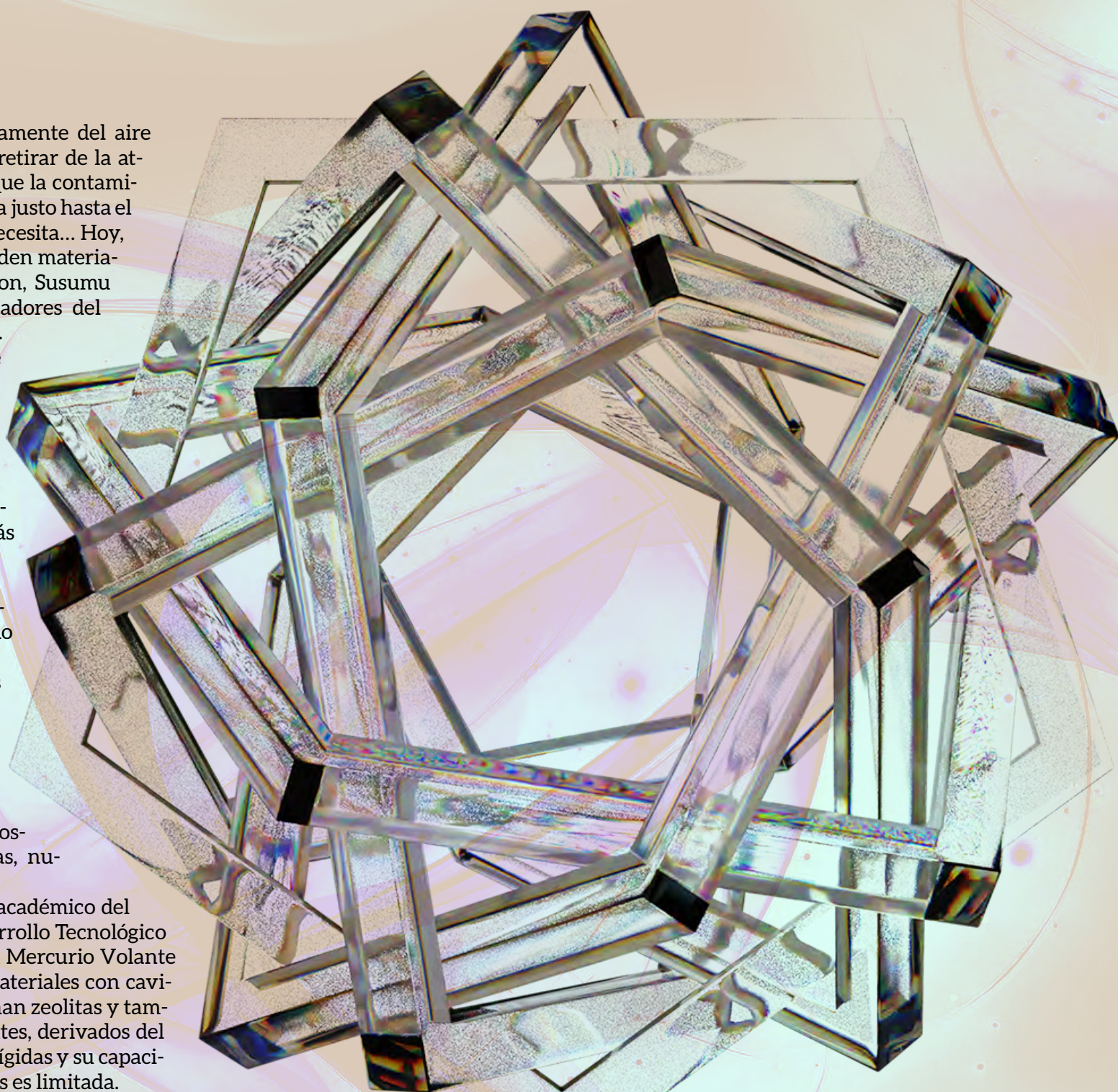
CARMINA DE LA LUZ

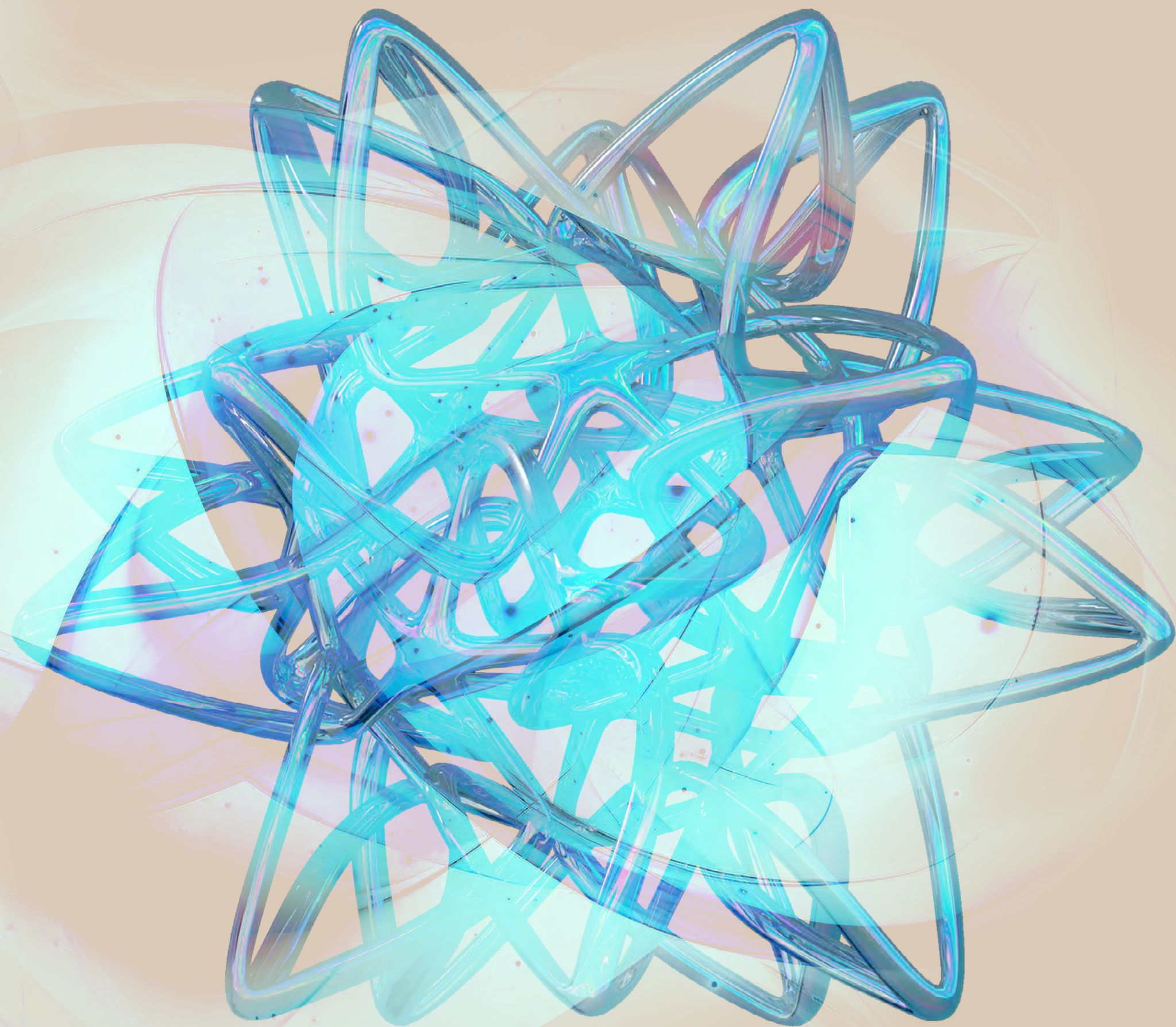
Destilar agua directamente del aire en pleno desierto, retirar de la atmósfera los gases que la contaminan, llevar una cura justo hasta el órgano donde se necesita... Hoy, esta gama de "ocurrencias" pueden materializarse gracias a Richard Robson, Susumu Kitagawa y Omar Yaghi, ganadores del Premio Nobel de Química 2025.

La Real Academia Sueca de Ciencias les otorgó a partes iguales el máximo galardón por crear una nueva arquitectura molecular: las estructuras metalorgánicas o MOFs (el acrónimo en inglés de Metal-Organic Frameworks). Detrás de su hazaña hay algo más que experimentos, radica también una idea que roza la poesía: el espacio no es un simple hueco, sino un universo de posibilidades.

A las MOFs hay que pensarlas como edificios diminutos. Sus muros están hechos de átomos metálicos; sus vigas, de largas moléculas de carbono. Dentro, tienen habitaciones vacías (poros) donde pueden hospedarse medicamentos, toxinas, nutrientes y mucho más.

El químico Carlos Frontana -académico del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica- explicó a El Mercurio Volante que en la naturaleza existen materiales con cavidades semejantes: "unas se llaman zeolitas y también están los de nuestros dientes, derivados del calcio". El problema es que son rígidas y su capacidad de absorber otras moléculas es limitada.





En cambio, las MOFs se diseñan a conveniencia para cumplir una función específica. Son modulares, programables y fáciles de eliminar una vez utilizadas. Incluso, en su interior pueden echarse a andar reacciones para formar nuevos compuestos, como si fueran laboratorios microscópicos.

“Prácticamente es artesanía química a nivel atómico”, precisa Frontana, “e involucra conceptos asociados al reto de lo que se puede hacer en química orgánica y en química inorgánica; ahora nos damos cuenta que estas ramas no son tan puras como se creía, que la frontera entre ellas ya no es tan clara”.

Olof Ramström, miembro del Comité Nobel, comparó la versatilidad de la MOFs con “el bolso mágico de Her-

mione”, de la saga *Harry Potter*: pequeñas por fuera, pero capaces de albergar cantidades asombrosas de materia. En esencia, el premio reconoce a quienes lograron construir un espacio de almacenamiento perfecto que puede ayudarnos a frenar la crisis climática, combatir el cáncer o paliar las sequías.

Los cimientos de una nueva ciencia

El momento fundacional de las estructuras metalorgánicas se produjo en 1974 en la Universidad de Melbourne. Ahí, Richard Robson, un profesor de bajo perfil a menudo descrito por sus colegas como “humilde”, construía modelos moleculares de madera para enseñar química a sus alumnos.

Un día, al manipular las piezas, tuvo una epifanía: ¿Y si la misma lógica geométrica, esa manera en que los átomos se unían en patrones predecibles, se pudiera aplicar para construir nuevos materiales a escala nanométrica? En aquel entonces, su laboratorio producía cristales frágiles y efímeros que se desmoronaban fácilmente, pero la chispa didáctica lo llevó a conseguir la primera MOF rudimentaria en 1989.

Sin siquiera imaginarlo, en ese instante Robson sembró la semilla de una nueva disciplina, cuyos resultados en la actualidad son alucinantes. Si extendiéramos toda la superficie interna de una MOF del tamaño de un terrón de azúcar, esta cubriría un área equivalente a un campo de fútbol completo.

Dichas estructuras representan la máxima optimización del espacio. Nada mal para un genio accidental como Robson, que en su juventud se dejó llevar por la química porque no se le ocurría otra cosa mejor que hacer.

De la frustración a la inspiración

El sueño infantil del japonés Susumu Kitagawa era ser arquitecto. Al final, se convirtió en químico y desde la Universidad de Kioto, en los noventa, dotó de vida a los andamios imperfectos que había iniciado Robson.

Pensó que una cosa era construir una celosía molecular y otra muy distinta que esa celosía fuera porosa y estable, permitiendo que las moléculas entraran y salieran sin colapsar. Kitagawa demostró que, en la práctica, las MOFs son como esponjas y supuso que podían construirse algunas capaces de “respirar”.

En entrevistas, se ha referido a esa corazonada como un acto de contemplación: “Me fascinaba la idea de un sólido que se comportara como un organismo, que respondiera al entorno sin perder su forma”. Sus materiales -algunos transparentes, otros fluorescentes- abrieron el camino a los denominados MOFs dinámicos.

Una pasión encendida por el asombro

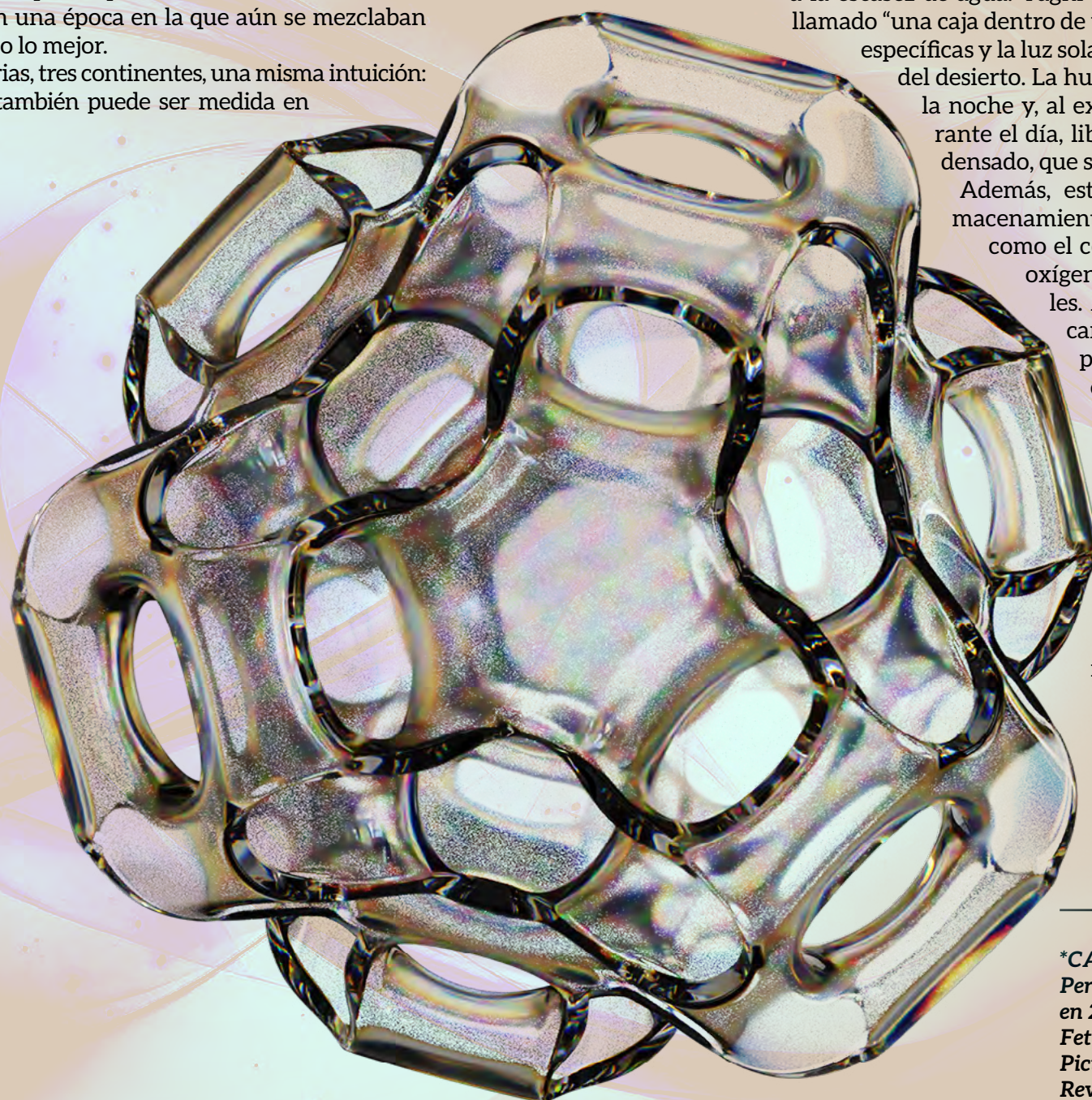
Omar Yaghi es un hijo de refugiados palestinos que creció en Jordania, en condiciones de extrema pobreza. Cuenta, por ejemplo, que él y una docena de personas vivían en un pequeño cuarto que compartían “con el ganado que solíamos criar”.



Junto a ese recuerdo está el de haberse colado a los 10 años en la biblioteca de su escuela, donde encontró dibujos de moléculas. Un lustro después emigró a los Estados Unidos para estudiar las estructuras ininteligibles que tanto lo cautivaron.

En la Universidad de California Berkeley, acuñó el término de “química reticular” y llevó la idea de las MOFs al límite. Demostró que estas podían diseñarse de manera racional, prediciendo su estructura antes de sintetizarlas. Ha confesado que él “quería tener control total sobre el resultado” en una época en la que aún se mezclaban cosas esperando lo mejor.

Tres trayectorias, tres continentes, una misma intuición: que la belleza también puede ser medida en angstroms.



Usos de las MOFs

Una de las aplicaciones más urgentes y prometedoras de las estructuras metalorgánicas es la captura de dióxido de carbono. Hacerlo es costoso e ineficiente, pero las MOF, gracias a su inmensa área superficial y la posibilidad de modificar selectivamente sus poros, son la base de filtros hiper-eficientes que absorben ese gas incluso en concentraciones bajas.

La posibilidad más conmovedora quizá es la solución a la escasez de agua. Yaghi ha desarrollado un diseño llamado “una caja dentro de una caja”, que utiliza MOFs específicas y la luz solar para extraer H₂O del aire del desierto. La humedad se absorbe durante la noche y, al exponerse al calor solar durante el día, libera el vapor de agua condensado, que se recoge como potable.

Además, están revolucionando el almacenamiento seguro de sustancias, como el combustible hidrógeno y el oxígeno para su uso en hospitales. Al impregnarse con medicamentos, las MOFs también pueden ser inyectadas en el cuerpo y liberar su cargamento lentamente en sitios muy localizados, como los tumores.

Las MOFs son consideradas las catedrales del siglo XXI, no solo por su elegancia arquitectónica, sino por su potencial para transformar la vida humana.



***CARMINA DE LA LUZ**
Periodista de ciencia, nominada en 2020 al Premio internacional Fetisov. Es fact-checker en Pictoline; colabora en Tec Review, en el noticiario televisivo NCC Iberoamérica y en SciDev. Ha sido becaria de la International Women's Media Foundation y de Climate Tracker.



PARA SABER MÁS

- “Design and synthesis of an exceptionally stable and highly porous metal-organic framework”, en Nature (1999): <https://www.nature.com/articles/46248>
- First Reactions, Nobel Prize Outreach:
- Robson: https://youtu.be/JkHhOcoMOEY?si=O_8MObQzRxKlb5X8
- Kitagawa: https://youtu.be/lbdPGK_zQhM?si=Rkp0G0YSI3VEI9nj
- Yaghi: <https://youtu.be/wC9H9r543xQ?si=i5EwsvYGOtnDOZks>
- “Infinite polymeric frameworks consisting of three dimensionally linked rod-like segments”, en Journal of the American Chemical Society (1989): <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja00197a079>
- “Interview with Professor Susumu Kitagawa”, en ACS Materials Letters (2024): <https://www.acs.org/pressroom/newsreleases/2025/october/acs-president-comments-on-award-of-2025-nobel-prize-in-chemistry.html>
- “Nobel de Química 2025 para Susumu Kitagawa, Richard Robson y Omar Yaghi por inventar una nueva arquitectura molecular”, en El País: <https://elpais.com/ciencia/2025-10-08/premio-nobel-de-quimica.html>
- “The 2025 Chemistry Nobel goes to MOFs” Nature Chemistry News (2025): <https://cen.acs.org/people/nobel-prize/The-2025-chemistry-Nobel-goes-to-MOFs/103/web/2025/10>



JANE GOODALL: LA DAMA DE LOS CHIMPANCÉS

ROSALÍA PONTEVEDRA

Férrea defensora de la vida salvaje, la bióloga y conservacionista británica Jane Goodall enseñó al mundo desde la década de 1960 una nueva manera de relacionarnos con las especies que también pueblan esta Tierra. Incansable, falleció el 1 de Octubre de 2025 mientras guiaba una excursión en California a la edad de 91 años.

Desde su modesta estación de trabajo en una orilla del Lago Tanganica, Jane evadió con valentía e inteligencia (y algo de suerte) el ataque de depredadores que habitan los bosques tropicales húmedos africanos, como leopardos, cocodrilos, víboras, insectos venenosos. Superó la incomprensión de diversos actores de la sociedad local e internacional y sobrevivió a diversas enfermedades, entre ellas a la mortal malaria.





Foto: Floatjon - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19227813>

Consiguió especializarse en el conocimiento de primates, en particular observó, fotografió y analizó el comportamiento de varias generaciones de chimpancés viviendo y relacionándose entre ellos y con su entorno en libertad a lo largo del Este de África, sobre todo en Tanzania y Kenya.

Fue alumna del famoso paleoantropólogo, Louis Leakey, conocido por haber descubierto los restos fósiles de nuestros primeros antepasados, entre ellos Lucy. Por sus contribuciones a la conservación del mundo natural recibió el título honorífico de Dama del Imperio Británico; también obtuvo la Medalla Benjamin Franklin y el Premio Príncipe de Asturias.

Su brillante carrera entre los naturalistas dio inicio en 1963, cuando la Sociedad National Geographic financió su investigación de campo con objeto de profundizar en el conocimiento del comportamiento de los chimpancés que habitaban en la reserva del Parque Nacional Gombe Stream, localizado en Tanzania. Luego la revista de dicha sociedad publicó una crónica suya con sus resultados preliminares, causando conmoción entre la comunidad científica y más allá de sus fronteras.

Su brillante carrera entre los naturalistas dio inicio en 1963, cuando la Sociedad National Geographic financió su investigación de campo con objeto de profundizar en el conocimiento del comportamiento de los chimpancés que habitaban en la reserva del Parque Nacional Gombe Stream, localizado en Tanzania.



No fue para menos. Documentó sus peculiares maneras de educar a los jóvenes lejos del cautiverio, las técnicas de entrenamiento para el uso de herramientas, cómo eligen a sus líderes y se comunican entre ellos, en suma, la forma de cultivar lazos comunitarios, de generar cultura. Fue tal su impacto que el mundo comenzó a poner los ojos en su labor, obligado a aprender una nueva manera de relacionarnos con nuestros parientes primates. Louis Leakey afirmó que sus descubrimientos obligaban a reescribir la historia de la cultura en el mundo natural.

Sus libros son verdaderas joyas de la literatura acerca de la naturaleza, precedente de lo que ahora se llama *Liter Natura*. Al igual que los grandes naturalistas, nos ofreció vívidas, íntimas reflexiones y descripciones de un mundo vedado, incomprendido por la inmensa mayoría de nosotros. En 1965 la BBC de Londres transmitió el primer documental de sus experiencias científico-emocionales viviendo entre chimpancés en Gombe Stream. Paulatinamente, dejó la exploración de campo para dedicarse a la conservación de ese mundo amenazado. En 1977 fundó el instituto que lleva su nombre con más de veinte sucursales en varias partes del mundo.



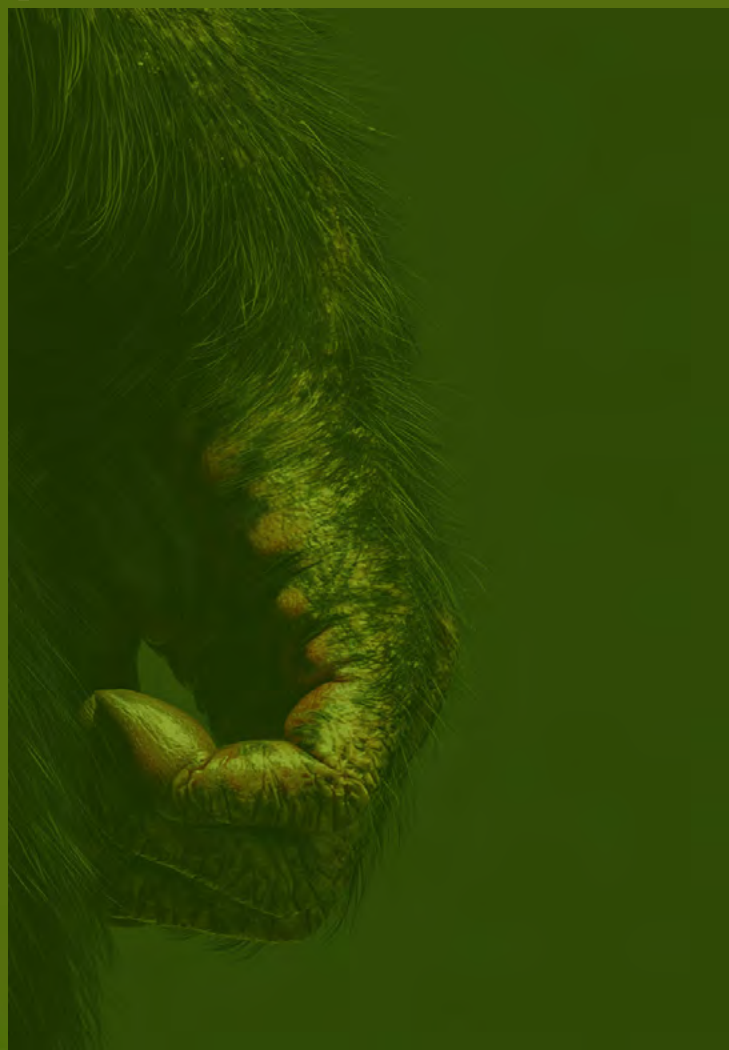
Jane abrió brecha y otras mujeres siguieron su ejemplo, inspiradas por la calidad, consistencia y pasional trabajo dentro del mundo natural. Entre ellas, la más conocida, es Dian Fossey, dedicada al estudio de la vida y costumbres de los gorilas de montaña en Ruanda. Fue asesinada a machetazos en diciembre de 1985, quizás por los cazadores furtivos, aunque luego se acusó a su asistente personal debido a "celos profesionales". Su libro de 1983, *Gorilas en la niebla*, fue llevado a la pantalla cinematográfica.

Pero también vale mencionar a la etóloga canadiense, experta en orangutanes, Biruté Marija Filomena Galdikas; a Cheryl Knott, especialista en la biología y antropología de los orangutanes; y a Francine Patterson, profunda conocedora de la psicología animal. Ella enseñó a un gorila una adaptación del lenguaje de señas norteamericano.

Descanse en paz, hermosa Jane, y larga vida a sus principios, a su herencia.



ROSALÍA PONTEVEDRA
Escritora de ciencia, radica en Madrid.



COLISIONES CUANTICAS: CÁLCULOS IMPOSIBLES, HECHOS POSIBLES

LORENZO DÍAZ CRUZ

En física suele ocurrir que al descubrir cierto fenómeno, aparece primero como un conocimiento muy especializado, propio de una sub-disciplina de la física, pero luego, cuando dicho fenómeno se estudia más a fondo, se descubren características más universales, que lo hacen aún más interesante. En algunos casos es posible construir un modelo matemático que permite describir las características esenciales del fenómeno de forma cuantitativa, cuyas soluciones muestran una regularidad que aclaran sus implicaciones físicas.

Luego, al estudiar más a fondo la solución de las ecuaciones correspondientes se revela una estructura matemática más profunda y trascendental. En esos casos podemos afirmar que dicho fenómeno es como una especie de laboratorio que la naturaleza nos regala para formular las leyes físicas, o incluso para explorar nuevas áreas de las matemáticas. Con todas esas observaciones, podemos formular teorías físicas completas, que podrían considerarse como una de las formas más sofisticadas del conocimiento humano. Un aspecto que muestra el poder de dicho conocimiento es la posibilidad de predecir fenómenos naturales completamente nuevos, a partir de analizar las soluciones matemáticas.



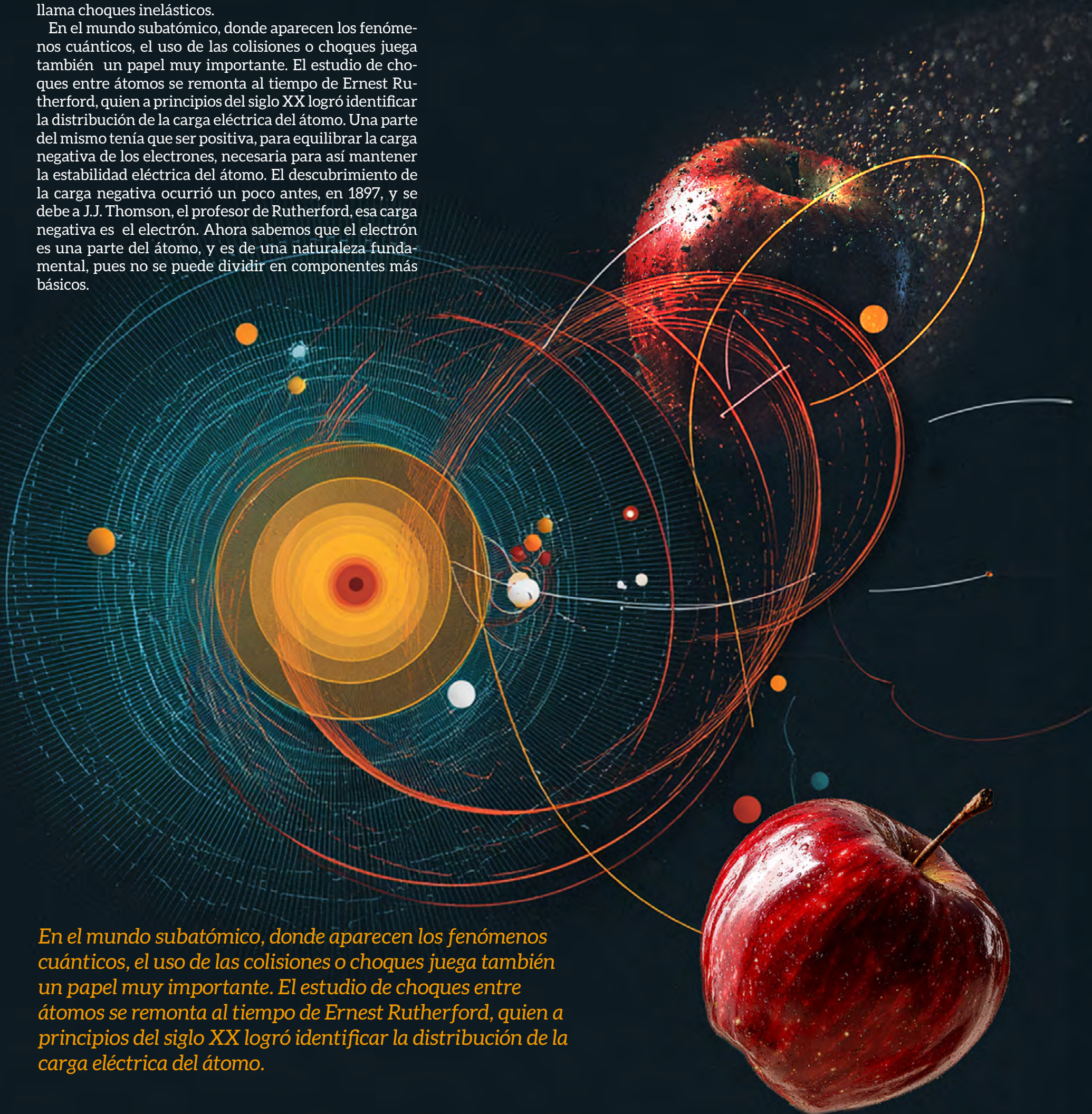
Sin duda este es el caso del fenómeno de colisiones o choques, algo que puede presentarse en muchos contextos, desde una pelota que se golpea con un bat o una raqueta, también cuando una bala o proyectil impactan otro objeto. Un meteorito que se acerca a la tierra es también un ejemplo de una colisión. Los jugadores de fútbol americano que se encarreran para chocar e impedir el paso del oponente son también un choque.

Todas esas colisiones, que son parte del movimiento en general, se describen mediante la mecánica clásica, las leyes de Newton, que es la formulación más conocida, aunque también están las de Lagrange y Hamilton. En algunos casos los cuerpos que chocan mantienen su forma, y se dice que es un choque elástico, en cambio cuando los cuerpos se parten después de la colisión se les llama choques inelásticos.

En el mundo subatómico, donde aparecen los fenómenos cuánticos, el uso de las colisiones o choques juega también un papel muy importante. El estudio de choques entre átomos se remonta al tiempo de Ernest Rutherford, quien a principios del siglo XX logró identificar la distribución de la carga eléctrica del átomo. Una parte del mismo tenía que ser positiva, para equilibrar la carga negativa de los electrones, necesaria para así mantener la estabilidad eléctrica del átomo. El descubrimiento de la carga negativa ocurrió un poco antes, en 1897, y se debe a J.J. Thomson, el profesor de Rutherford, esa carga negativa es el electrón. Ahora sabemos que el electrón es una parte del átomo, y es de una naturaleza fundamental, pues no se puede dividir en componentes más básicos.

El experimento de Rutherford consistió en hacer chocar partículas alfa, que en realidad son los núcleos del átomo de Helio, sobre una placa de oro, muy delgada. El resultado que obtuvo Rutherford fue que las partículas alfa rebotaban en diferentes ángulos, incluso a 180 grados, mismo que podía interpretarse como resultado de colisiones entre las partículas alfa con otro objeto, de una masa mucho más grande que la del electrón, cuya carga eléctrica estaba concentrada en un radio muy pequeño. Dicho experimento dio lugar a la identificación del núcleo atómico, como la contraparte de carga positiva que equilibraba la carga negativa del electrón.

En el mundo subatómico, donde aparecen los fenómenos cuánticos, el uso de las colisiones o choques juega también un papel muy importante. El estudio de choques entre átomos se remonta al tiempo de Ernest Rutherford, quien a principios del siglo XX logró identificar la distribución de la carga eléctrica del átomo.



Por otra parte, cuando se intentó aplicar la física clásica para describir los fenómenos atómicos se encontró que eso no era posible. Por ejemplo, según la física clásica el electrón al estar girando en el átomo, debía emitir radiación electromagnética, misma que le haría perder energía y eventualmente caer en el núcleo atómico, así que no deberían existir los átomos según la física clásica.

La salida a este dilema llegó con la formulación de la Mecánica Cuántica. En la etapa temprana de su desarrollo participaron desde Max Planck, que propuso la idea de que la energía venía en cantidades discretas llamadas *quants*, luego Niels Bohr aplicó la cuantización para el momento angular y lo aplicó para explicar en parte la estabilidad del átomo. El mismo Albert Einstein explicó el llamado efecto fotoeléctrico asumiendo que la luz consiste en partículas cuya energía está cuantizada. Los pasos siguientes se deben a otros gigantes de la física, incluyendo a Heisenberg, Pauli, Schrödinger, Dirac, Born, principalmente.

Erwin Schrödinger propuso una ecuación que lleva su nombre, misma que describe la evolución espacial y temporal de un ente matemático abstracto llamado "función de onda", que contiene la información esencial de un sistema; a partir de la cual es posible calcular la energía de los estados del átomo de hidrógeno. La diferencia de energía entre dichos estados es justamente la energía de la radiación que puede emitir dicho átomo, lo cual fue ampliamente reconocido y un paso esencial para completar la teoría cuántica.

Erwin Schrödinger propuso una ecuación que lleva su nombre, misma que describe la evolución espacial y temporal de un ente matemático abstracto llamado "función de onda", que contiene la información esencial de un sistema; a partir de la cual es posible calcular la energía de los estados del átomo de hidrógeno. La diferencia de energía entre dichos estados es justamente la energía de la radiación que puede emitir dicho átomo, lo cual fue ampliamente reconocido y un paso esencial para completar la teoría cuántica.



Otro paso importante se debe a W. Heisenberg, quien propuso que las cantidades dinámicas, como la posición y el momento, no son simples números sino objetos matemáticos que llamamos operadores, y que en su forma más simple se pueden representar por matrices. La formulación se completó gracias a Max Born, quien presentó una interpretación de la función de onda, como una probabilidad, algo que describía muy bien las observaciones atómicas, pero que implicaba abandonar la descripción determinista propia de la física clásica. Esta nueva visión del mundo sub-atómico causó mucha controversia, al grado que fue rechazada por muchos físicos, incluido Albert Einstein.

Regresando al tema del artículo, sobre las colisiones, resulta que cuando un electrón choca con un átomo, no podemos predecir con total certeza lo que ocurrirá. Resolviendo las ecuaciones que describen el sistema, podemos calcular la función de onda del electrón final, y con ello podemos calcular la probabilidad de que el electrón se disperse en un cierto ángulo, y con cierta energía.

Durante buena parte del siglo XX, se utilizó ese tipo de experimento de colisiones entre un haz de partículas que incidía sobre un blanco fijo, con ello se pudo descubrir la estructura del átomo y luego del mismo núcleo atómico. Así aprendimos que el átomo estaba formado de núcleo y electrones, mientras que el núcleo está formado de protones y neutrones. Más aún, durante los años 60 del siglo XX se estudió el choque entre electrones y los protones y neutrones del núcleo atómico, entonces se descubrió que los protones y neutrones están formados de algo más fundamental, llamados inicialmente partones, pero que concedía con los llamados quarks.

Cuando un electrón choca con un átomo, no podemos predecir con total certeza lo que ocurrirá. Resolviendo las ecuaciones que describen el sistema, podemos calcular la función de onda del electrón final, y con ello podemos calcular la probabilidad de que el electrón se disperse en un cierto ángulo, y con cierta energía.

A mediados del siglo XX, luego de la conclusión de la segunda guerra mundial, los físicos de la generación de Feynman, Schwinger, Tomonaga, lograron construir un marco consistente para describir fenómenos cuánticos y relativistas, la grandiosa teoría de los Campos cuánticos (QFT, por sus siglas en Inglés). Con ella se pueden calcular procesos físicos que involucran las partículas elementales, tales como secciones transversales, tiempos de decaimiento, asimetrías, etcétera.

En el caso de una teoría física fundamental, como la Electro-dinámica Cuántica, que describe correctamente las interacciones electromagnéticas entre partículas cargadas, se puede describir mediante una fórmula complicada, que llamamos el Lagrangiano, cuya solución exacta no se conoce, por lo que recurrimos a métodos aproximados. Dichas aproximaciones pueden describirse como una serie potencias en una constante fundamental, que es la carga eléctrica.

Hay diversas maneras de trabajar dicha teoría, sin embargo se dice que la teoría llegó a las masas gracias al enfoque de Richard Feynman, quien inventó un lenguaje geométrico que contiene la información esencial de los procesos físicos. Dicho lenguaje se conoce como los diagramas de Feynman. Cada diagrama representa un término de la serie, y los mismos incluyen: vértices asociados con las interacciones, líneas internas que describen las partículas virtuales, y líneas externas asociadas con las partículas iniciales y finales de una colisión. Cada uno de esos elementos tiene asociado una fórmula matemática, tal que el proceso de juntarlos para obtener la probabilidad del choque, es como armar un juego de lego con cada uno de esos elementos. Así la amplitud de probabilidad para el proceso en el cual chocan un par electrón-positrón, para convertirse en un par de muon y anti-muon, le corresponde al primer orden el siguiente diagrama (Fig. 1):

Dicho diagrama se le conoce como nivel árbol, ya que no contiene líneas cerradas o lazos, como si lo incluyen los diagramas del siguiente orden, por ejemplo:

Durante buena parte del siglo XX, y lo que llevamos del actual, los diagramas de Feynman nos permitieron calcular los procesos relevantes para los experimentos que se realizaron en aceleradores, y con ello se lograron muchos descubrimientos que permitieron comprender la física de las interacciones y partículas fundamentales de la naturaleza. Así se descubrieron los quarks pesados (charm, beauty y top), también las partículas mediadoras de la interacción débil, W y Z, así como el gluon, el mediador de las interacciones fuertes.

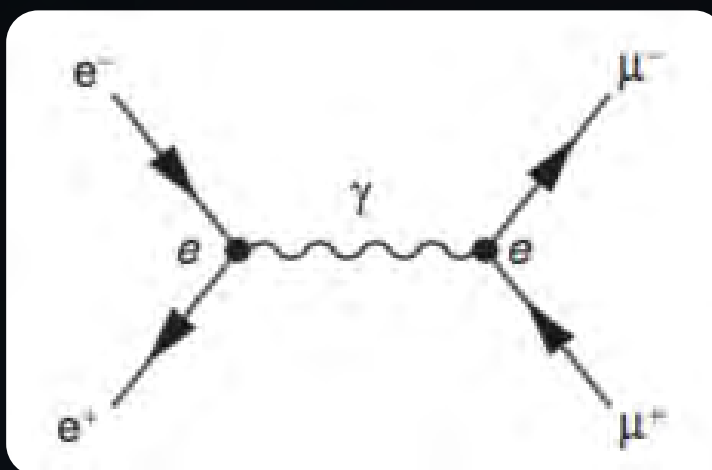


Fig 1. Diagrama de Feynman

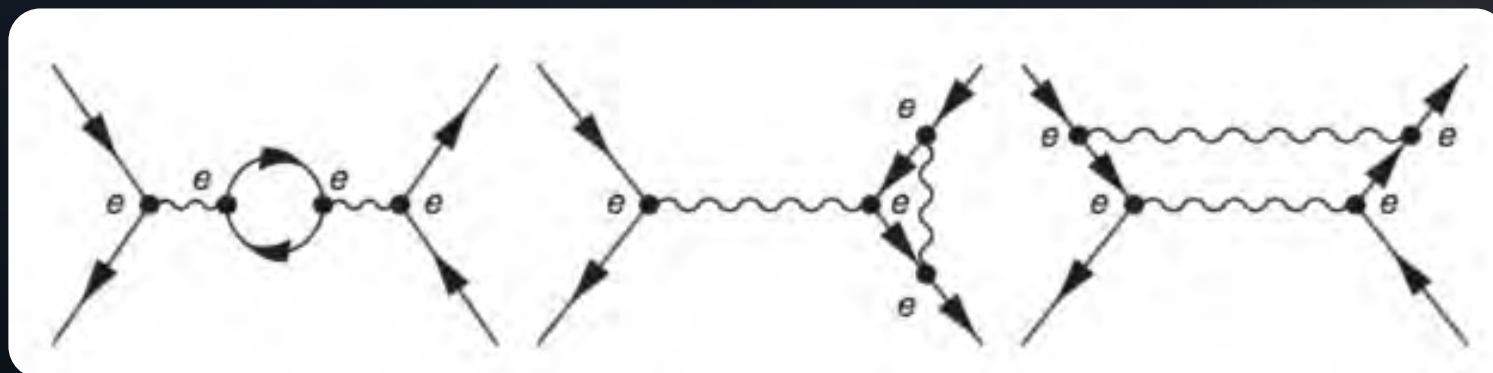


Fig. 2. Diagrama de Feynman con lazos

Este éxito tuvo su clímax con el descubrimiento del bosón de Higgs en el acelerador LHC del CERN, anunciado el 4 de julio de 2013. El LHC hace chocar protones contra protones, alcanzando energías tan altas (13.5 TeV), que en realidad se logra hacer chocar a los quarks y gluones que forman el protón. Así, un mecanismo que contribuye a la producción del Higgs es la fusión de gluones que producen un estado virtual de quarks top, que a su vez se aniquilan para producir el Higgs; luego el Higgs puede decaer en un par de fotones o muones (Fig. 3).

El estudio de dichas colisiones se hace mediante la aplicación de la cromodinámica cuántica, la teoría de las interacciones fuertes. Esta teoría es una teoría cuántica de campos, aunada con una simetría interna que asocia un campo de fuerza con los generadores del grupo de simetría, esos son objetos asociados con la estructura matemática de la teoría de grupos.

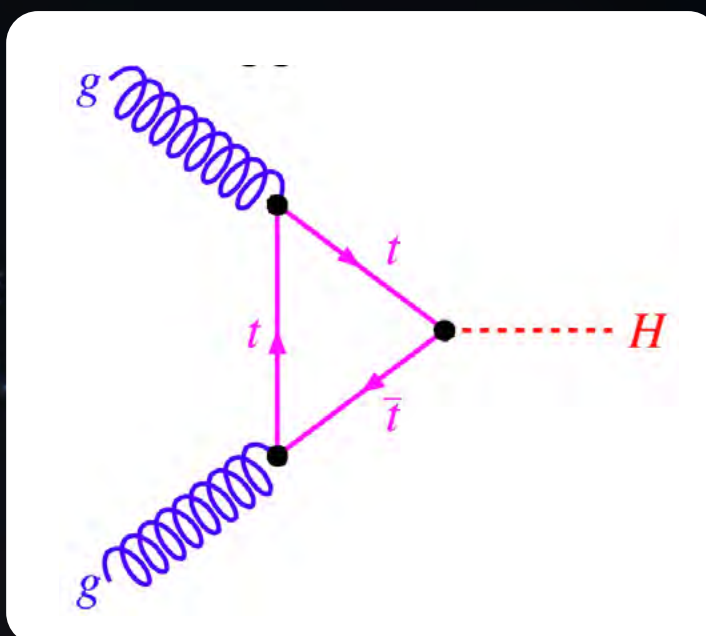


Fig. 3 Producción del bosón de Higgs mediante fusión de gluones.

El resultado de esta síntesis, se conoce como teoría cuántica de campos normados. Siendo cuántica quiere decir que solo podemos calcular la probabilidad de que ocurra un proceso. Así cuando chocan un quark y un antiquark, se pueden producir muchos estados diferentes. El proceso dominante involucra el mínimo posible de partículas en el estado final, que puede ser un par de quarks pesados, o muones. También es posible tener una reacción $2 \rightarrow 3$, con dos partículas iniciales que producen varias partículas finales, en la Fig. 4 se muestra la reacción para producir dos quarks top y un Higgs, y cuando incluyen los decaimientos quedan 8 partículas en el estado final. La complicación matemática hace muy difícil calcular procesos con más de 4-5 partículas en el estado final con los métodos de Feynman.

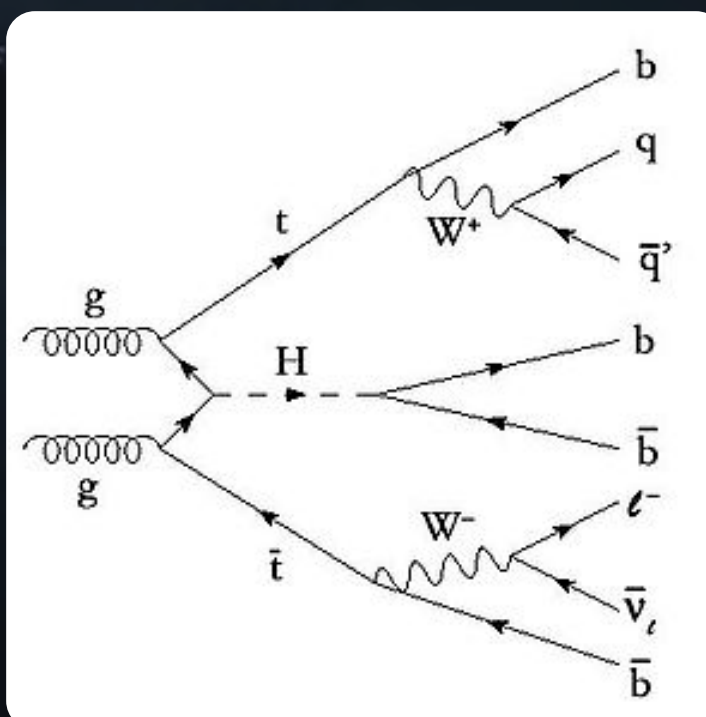
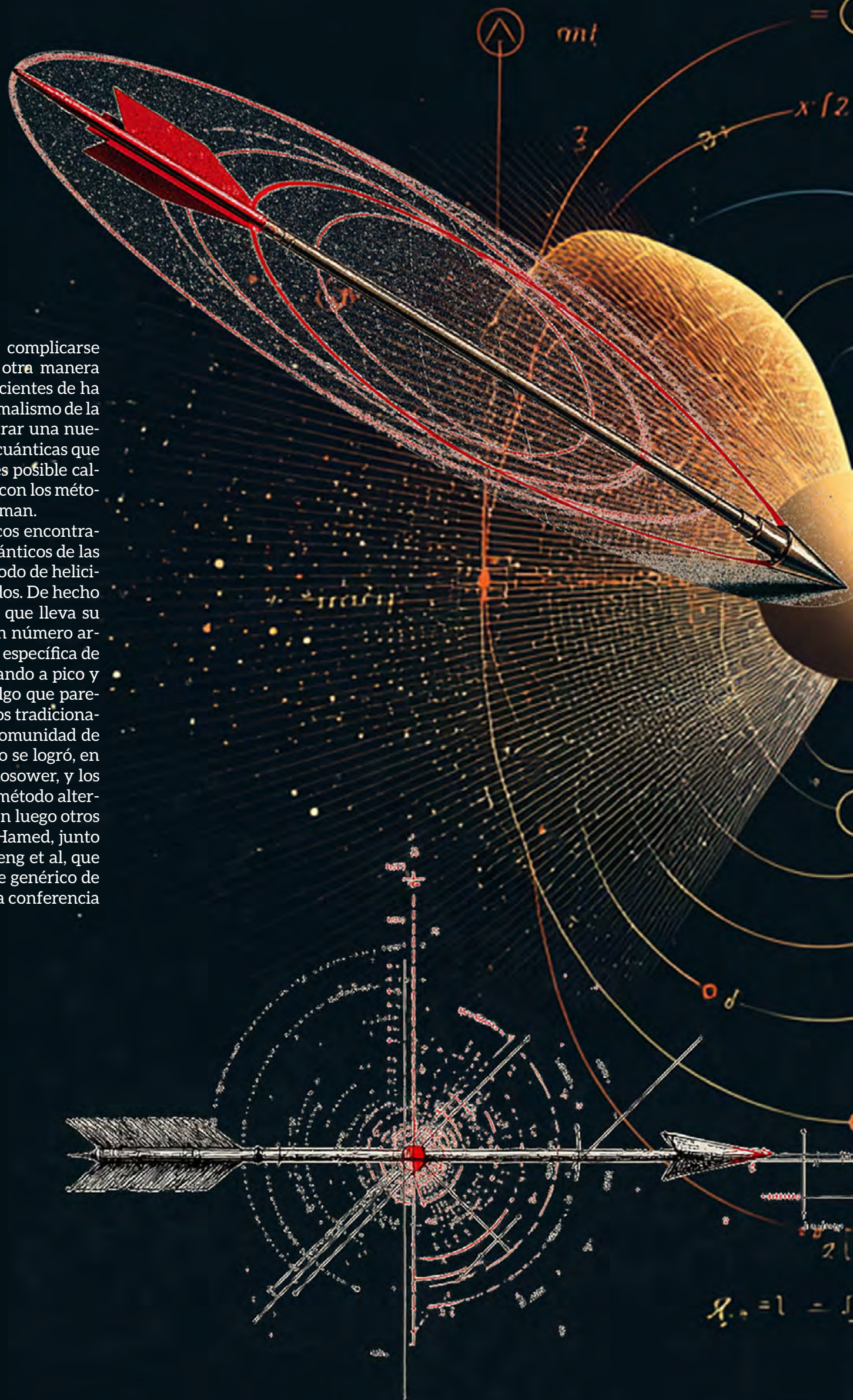
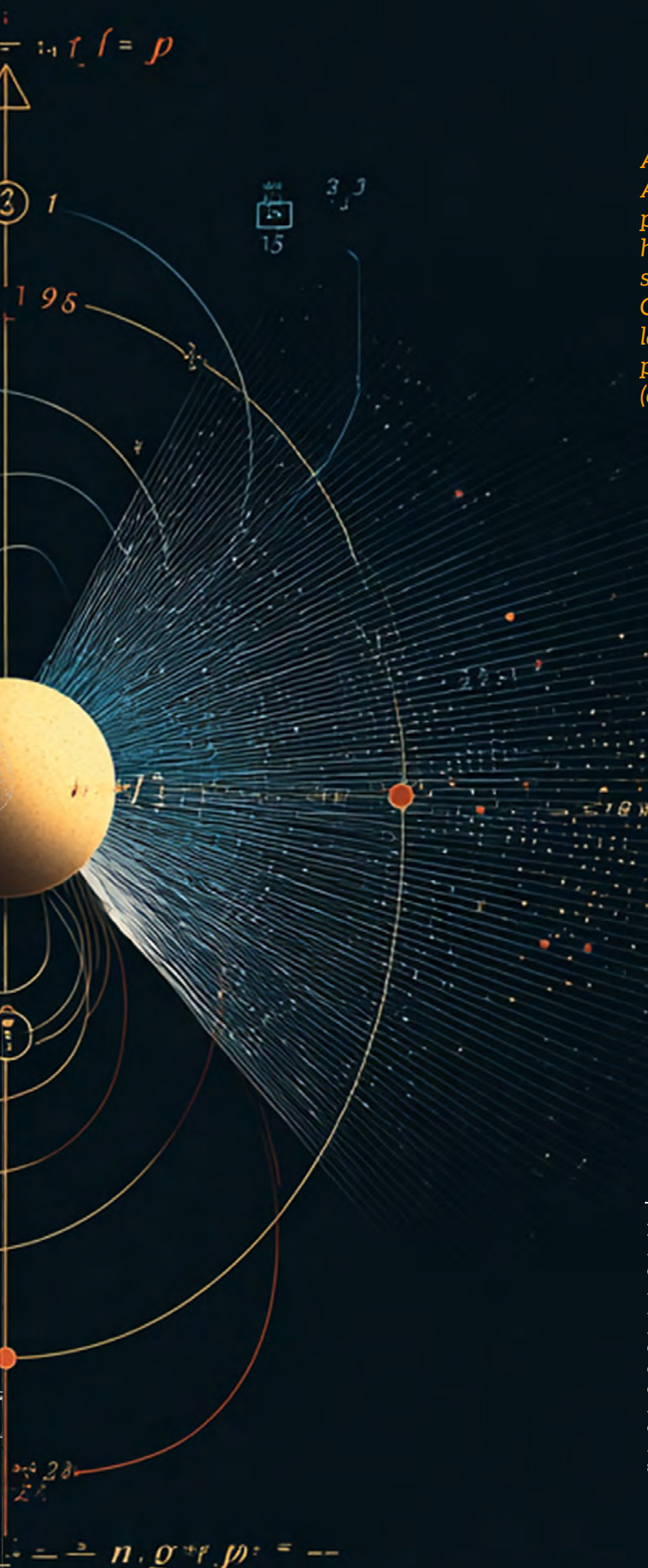


Fig. 4: Colisión con 8 partículas en el estado final.

Sin embargo, cuando algo empieza a complicarse tanto, los físicos se inspiran para buscar otra manera más fácil de hacer los cálculos. En años recientes se ha avanzado para entender más a fondo el formalismo de la QFT; estos avances han permitido encontrar una nueva manera de hacer cálculos de colisiones cuánticas que involucran quarks y gluones, con la cual es posible calcular reacciones que no se pueden realizar con los métodos tradicionales de los diagramas de Feynman.

Así, al final del siglo pasado algunos físicos encontraron que si se especificaban los números cuánticos de las partículas participantes en la colisión (método de helicidad) era posible realizar cálculos complicados. De hecho Parke y Taylor encontraron una fórmula, que lleva su nombre, para calcular una reacción con un número arbitrario de gluones, con una configuración específica de helicidades (MHV). Esto lo hicieron calculando a pico y pala, pero la fórmula final era tan bella, algo que parecía imposible de simplificar con los métodos tradicionales, que decidieron lanzaron un reto a la comunidad de teóricos para demostrar dicha fórmula. Eso se logró, en parte gracias al trabajo de Bern, Dixon y Kosower, y los avances se fueron consolidando como un método alternativo para hacer cálculos en QFT. Llegaron luego otros refuerzos de lujo, como Witten y Arkani-Hamed, junto con otros jóvenes como Britto, Cachazo, Feng et al, que lograron consolidar el tema bajo el nombre genérico de Amplitudes, tal que cada año se realiza una conferencia que se llama así, Amplitudes.





Actualmente, bajo el paraguas llamado **Amplitudes**, se incluyen desde métodos para realizar cálculos prácticos para el LHC, hasta una reformulación de la QFT basada solamente en elementos medibles (llamada **Constructive QFT**), pasando por el uso de las matemáticas más avanzadas y complejas para geometrizar el cálculo de amplitudes (con el llamado **Amplituhedron**).

Este método hace uso de las simetrías que obedecen las ecuaciones de campo. Las colisiones dependen de la energía y el momento asociado con cada partícula que participa en la colisión. De hecho el método parte de hacer una especie de cambio de variables para pasar el 4-momento a variables espinoriales de 2 componentes.

Actualmente, bajo el paraguas llamado **Amplitudes**, se incluyen desde métodos para realizar cálculos prácticos para el LHC, hasta una reformulación de la QFT basada solamente en elementos medibles (llamada **Constructive QFT**), pasando por el uso de las matemáticas más avanzadas y complejas para geometrizar el cálculo de amplitudes (con el llamado **Amplituhedron**). Un bono de estos métodos ha sido el sorprendente descubrimiento de que los cálculos en QCD permiten derivar las fórmulas para el cálculo de procesos que involucran a los gravitones, que resultan ser el cuadrado de las amplitudes que se obtienen con la Cromodinámica Cuántica (QCD, la teoría de los quarks y gluones). De modo que se puede decir que Quantum Gravity es Yang-Mills al cuadrado.

Muchas joyas nos ha dejado la exploración de las colisiones cuánticas y sin lugar a dudas todavía deben quedar muchas estructuras matemáticas ricas esperando ser descubiertas, para quien se atreva a caminar por el sendero de Swann.



LORENZO DÍAZ CRUZ

Es doctor en Física por la Universidad de Michigan. Obtuvo el Premio Estatal Puebla de Ciencia y Tecnología en 2009. Fue merecedor de la Medalla de la DPyC-SMF (División de Partículas y Campos, Sociedad Mexicana de Física) en 2003 por su trayectoria en física de altas energías. Pertenece al SNI Nivel III. Realizó estudios en temas de educación en el Seminario CIDE-Yale de Alto Nivel en 2016. Es autor del libro *El muchacho que soñó con el bosón de Higgs*.

DE LA DEPRESIÓN AL CÁNCER: LA LUZ COMO ALTERNATIVA TERAPÉUTICA

ALEGRE ANGÉLICA FLORES PÉREZ,
NORMA ANGÉLICA VILLANUEVA MARTÍNEZ,
OMAR MOLINA ALEJANDRE,
JOSÉ MANUEL DE LA ROSA VÁZQUEZ,
ADRIANA GANEM RONDERO

Los autores de este artículo han formado un grupo multidisciplinario, enfocado en el estudio de la terapia fotodinámica. Para ello emplean fotosensibilizadores formulados en nanoacarreadores como una alternativa a fin de combatir infecciones en la piel y en los ojos. La intención es contribuir a mitigar el grave problema de resistencia bacteriana al que ya nos estamos enfrentando.

La luz impacta todos los aspectos de nuestra vida. La variación de la luz solar y la energía que transmite a lo largo del día, así como en las distintas regiones de la tierra, afecta nuestro estado anímico, e incluso provoca cambios conductuales. El ciclo circadiano que regula los ciclos de sueño-vigilia responde a la luz y a la oscuridad, teniendo influencia sobre diversos procesos corporales. El poder de la luz ha sido ampliamente reconocido desde la Antigüedad, y sus efectos terapéuticos han sido objeto de numerosas investigaciones.

El poder de la luz como agente terapéutico a lo largo de la historia
Estamos acostumbrados a vivir rodeados de luz: al abrir una ventana por la mañana, al encender una lámpara o al mirar la pantalla del celular. Pero, ¿y si esa misma luz pudiera utilizarse para combatir el cáncer o eliminar microorganismos?

El uso terapéutico de la luz —conocido como luminoterapia o fototerapia— se remonta a las civilizaciones antiguas. Los egipcios, por ejemplo, construyeron templos especialmente dedicados a la curación mediante la luz solar, reflejo de una intuición temprana sobre su poder terapéutico. Hace más de 3,500 años, en Egipto e India, ya se aplicaban extractos vegetales sobre la piel y se exponían a la luz solar para tratar afecciones cutáneas [1]. En la antigua China, se recurría a hojas de papel coloreadas que se exponían a la luz del sol para tratar a los hombres y a la de la luna para tratar a las mujeres [2].

Ya en el siglo XIX comenzó la era moderna de la fototerapia. En 1877, los científicos británicos Downes y Blunt observaron que la exposición a la luz solar podía inhibir el crecimiento bacteriano [3]. A inicios del siglo XX, la fototerapia fue reconocida como una herramienta médica válida cuando Niels Finsen recibió el Premio Nobel de Medicina en 1903 por su tratamiento del lupus vulgar con rayos de luz [2].



Durante la segunda mitad del siglo XX, las aplicaciones terapéuticas se multiplicaron: la luz ultravioleta se utilizó para tratar afecciones como psoriasis, vitiligo y dermatitis atópica [4], mientras que la luz azul se consolidó como tratamiento eficaz para la ictericia neonatal, salvando a millones de bebés de complicaciones neurológicas [5].

Desde los templos solares hasta las estrategias terapéuticas basadas en evidencia científica, la historia de la luminoterapia es una travesía de intuición, observación e innovación. Cada avance nos ha acercado a comprender la luz no solo como un fenómeno natural, sino como una poderosa herramienta médica. Hoy, este legado ancestral sienta las bases para una nueva era en la que la luz puede diseñarse, controlarse y dirigirse para combatir enfermedades complejas, desde la depresión hasta el cáncer.

Aplicaciones terapéuticas actuales de la luz

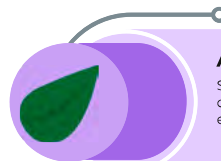
El efecto terapéutico de la luz depende en gran medida de su longitud de onda, ya que los diferentes tejidos del cuerpo absorben y responden de forma distinta a cada tipo de radiación. Por ejemplo, la radiación ultravioleta del tipo B, que tiene longitudes de onda entre los 290 y los 315 nm, estimula la síntesis de vitamina D en la piel, lo que ha sido aprovechado para tratar enfermedades como el raquitismo.

Por otra parte, la luz azul cuya longitud de onda va de los 400 a los 490 nm tiene un efecto bactericida útil y favorable en el tratamiento del acné, mientras que la luz verde con longitudes de onda mayores que van de los 492 a los 577 nm, participa en la regulación de citocinas (moléculas moduladoras de la inflamación) y la proliferación celular. La luz roja (622-780 nm) y la infrarroja cercana (780 nm -1 mm) han demostrado capacidad para reducir inflamación, estimular la producción de Adenosin Trifosfato, -mejor conocido como ATP que es la molécula fundamental en la obtención de energía- y favorecer la regeneración de tejidos, siendo utilizadas para tratar dolores musculares, lesiones, e incluso ciertas formas de cáncer (de piel, pulmón, cabeza y cuello, entre otros) [6].

El efecto terapéutico de la luz depende en gran medida de su longitud de onda, ya que los diferentes tejidos del cuerpo absorben y responden de forma distinta a cada tipo de radiación. Por ejemplo, la radiación ultravioleta del tipo B, que tiene longitudes de onda entre los 290 y los 315 nm, estimula la síntesis de vitamina D en la piel, lo que ha sido aprovechado para tratar enfermedades como el raquitismo.

FOTOTERAPIA A TRAVÉS DEL TIEMPO

1500 A. C.



ANTIGUO EGIPTO E INDIA

Se utilizaron extractos vegetales junto con la luz solar para tratar enfermedades de la piel

ANTIGUA GRECIA

Se practicaba helioterapia mediante arenación (exposición total al sol)



1000 A. C.

1200



MEDICINA ÁRABE

Ibn al-Bitar documenta en la enciclopedia farmacéutica árabe Mofradat Al Adwiya el uso de Ammi majus con exposición solar para tratar vitiligo

LUZ Y MICROORGANISMOS

Downes y Blunt demostraron que la luz tiene propiedades que pueden detener o reducir la actividad de hongos y bacterias



1877

1903



PREMIO NOBEL

Niels Finsen gana el Premio Nobel por su trabajo con fototerapia para el lupus vulgar

GABINETE DE LUZ

El Hospital General de Massachusetts utilizó 'baños de gabinete con luz eléctrica' para pacientes con eczema y psoriasis



1905

1907



TERAPIA FOTODINÁMICA

Tappeiner y Jodlbauer acuñan el término 'terapia fotodinámica' para describir el efecto celular de la luz con un fotosensibilizador y oxígeno

PRIMERA GUERRA MUNDIAL

La luz se emplea en el tratamiento de heridas, mejorando la cicatrización y controlando infecciones.



1914-1918

1958



ICTERICIA NEONATAL

Richard J. Cremer demuestra que la luz ayuda a reducir la ictericia neonatal

DEPRESIÓN ESTACIONAL

Kripke aplica luz blanca a pacientes con depresión no estacional y observa mejoría



1981

2000



TERAPIA PARA LA DEGENERACIÓN MACULAR

FDA aprueba la terapia fotodinámica para degeneración macular relacionada con la edad

FOSCAN®

Se aprueba la temoporfin (Foscan®) para el tratamiento paliativo del cáncer de cabeza y cuello en pacientes que no responden a terapias estándar



2001

2025



QUERATOSIS ACTÍNICA

La FDA otorga aprobación previa a la comercialización al nuevo BLU-U® (fuente de luz) para el tratamiento de la queratosis actínica en combinación con ácido aminolevulínico

Las especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés) son especies que incluyen radicales libres y oxidantes que, aunque son importantes para el buen desempeño de funciones biológicas esenciales, entre ellos la defensa contra patógenos, un exceso de ROS puede causar estrés oxidativo, lo que provoca daño celular y puede ser el origen de diversas enfermedades.

Además de sus efectos físicos directos sobre los tejidos, la luz también desempeña un papel clave en el funcionamiento del sistema nervioso central. La luz brillante ha demostrado ser eficaz en el tratamiento de la depresión. Esto se debe a que regula el ritmo circadiano y estimula la producción de neurotransmisores clave en el estado de ánimo.

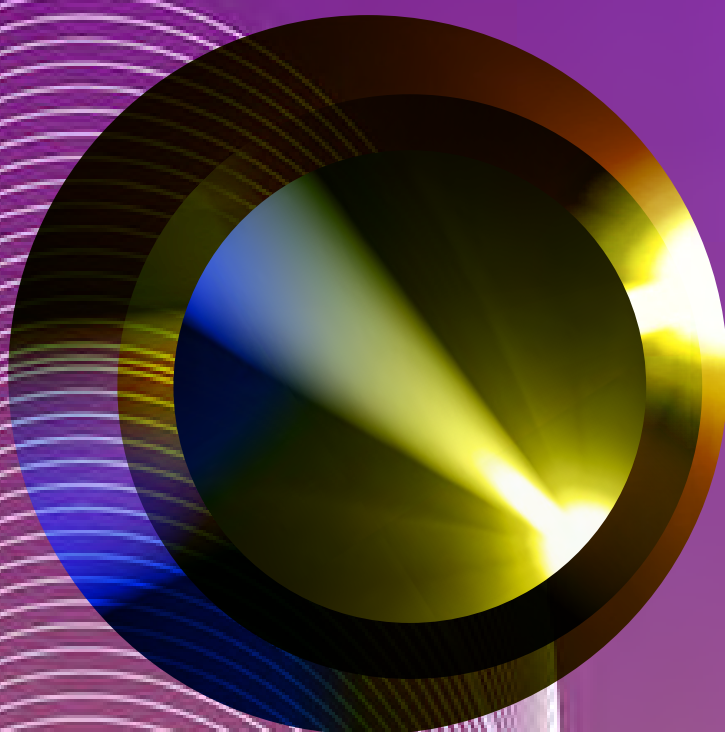
La fototerapia para el insomnio se basa en la exposición controlada a luz blanca de baja energía. Estudios clínicos han mostrado que sesiones de 30 a 60 minutos cada mañana pueden ayudar a restablecer el ciclo sueño-vigilia, acortar el tiempo necesario para conciliar el sueño y mejorar su calidad general. Esta intervención es especialmente útil en adultos mayores y personas con alteraciones del ritmo circadiano.

Por otro lado, investigaciones recientes han explorado el uso de luz pulsada a 40 Hz para el tratamiento del Alzheimer, particularmente en la

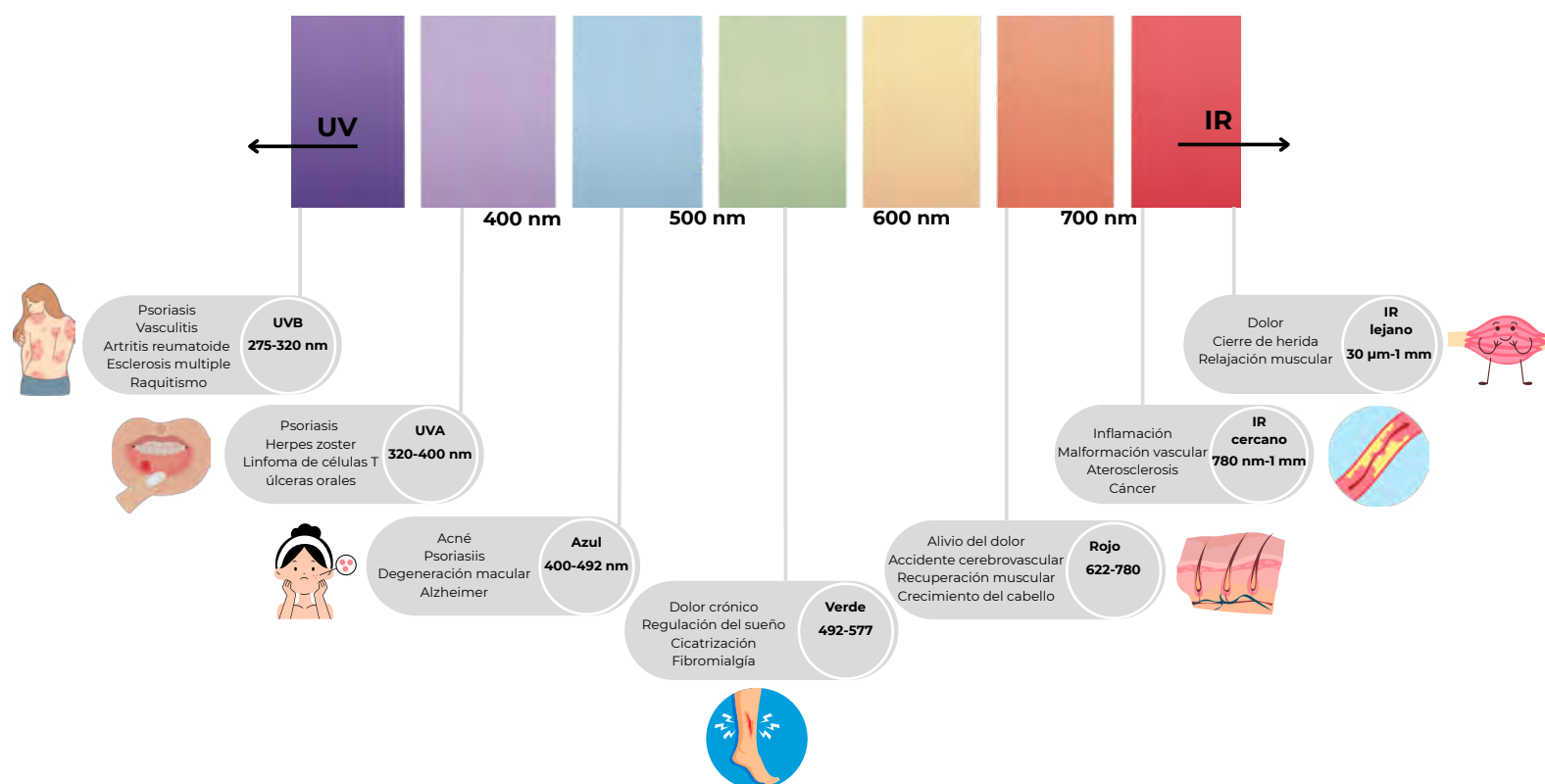
banda azul (alrededor de 473 nm), con el objetivo de estimular la actividad neuronal y promover la conectividad sináptica [6]. Sin embargo, el uso terapéutico de la luz requiere precisión. La selección del tipo de fuente luminosa —láser, LED o lámparas UV—, así como la dosificación y duración de la exposición, son factores cruciales.

Una sobreexposición puede provocar efectos adversos como daño al ADN, envejecimiento celular o incluso cáncer de piel, especialmente con la radiación UV. Además, la luz puede inducir estrés oxidativo mediante la generación de ROS, que, como ya se mencionó, pueden dañar componentes celulares, pero también pueden activarse de forma controlada con fines terapéuticos [6-7].

Este principio ha dado lugar al desarrollo de terapias como la Terapia Fotodinámica, de la cual hablaremos en el siguiente apartado. Esta estrategia se aplica con éxito en patologías como el acné, caries dentales, pulpitis, gingivitis y carcinomas orales. Además, permite eliminar



Aplicaciones terapéuticas de la luz en diferentes longitudes de onda



bacterias o células anormales, estimular la regeneración tisular y modular respuestas inflamatorias [6-7]. De este modo, la luz no solo es un estímulo visual, sino una herramienta precisa para tratar enfermedades.

Terapia fotodinámica

El término "Terapia Fotodinámica" (TFD) consiste en la aplicación de sustancias sensibles a la luz, llamadas "fotosensibilizadores", que se activan al irradiarlas con luz de cierta longitud de onda, produciendo ROS. Aunque inicialmente la TFD se empleó para el tratamiento del cáncer, con los años ha mostrado ser efectiva para combatir diversas enfermedades, entre ellas infecciones, sobre todo de bacterias resistentes a los antibióticos.

Pero, ¿en qué consiste la TFD? Al aplicar luz (generalmente visible) a los fotosensibilizadores, estos se excitan al absorber energía, la cual, al interactuar con el oxígeno, genera ROS. Las ROS son agentes citotóxicos, es decir, pueden dañar a las células del organismo, por ejemplo, células cancerosas, o bien ayudar a combatir bacterias y hongos. Una ventaja de la TFD es que puede aplicarse directamente en la zona afectada, minimizando la interacción con células normales, lo que la hace segura y efectiva [7-8].

La TFD puede incrementar la eficacia de los tratamientos contra el cáncer al combinarse con quimioterapia, radioterapia o inmunoterapia [9]. Por otro lado, la TFD se está convirtiendo en una opción prometedora ante la alerta lanzada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la resistencia antimicrobiana que está provocando que los antibióticos pierdan efectividad [10].

Actualmente, se estima que la resistencia antimicrobiana es responsable de más de 1.27 millones de muertes por año, por lo que contar con una alternativa eficaz es urgente. La efectividad de la TFD se ha incrementado al formular los fotosensibilizadores en nanoacarreadores (por ejemplo, nanopartículas o liposomas), los cuales permiten una liberación controlada del fotosensibilizador en el sitio afectado, mejoran su solubilidad y fotoestabilidad [11].

La TFD tiene todavía obstáculos, como la penetración limitada y el alto esparcimiento de la luz para alcanzar tejidos profundos de forma localizada.

Para resolver este inconveniente se han propuesto diversas alternativas como el uso de nanopartículas capaces de absorber luz en longitudes de onda del infrarrojo, produciendo luminiscencia en la región ultravioleta-visible del espectro. Esto permitirá la activación en sitios inalcanzables para las fuentes de luz convencionales.

Algunos complejos metálicos a base de cobre, zinc, platino, entre otros, usados como fotosensibilizadores poseen una actividad dual, presentando actividad antibacterial y anticancerígena, lo que los hace efectivos para tratar co-infecciones o co-morbididades. Además, el uso de estos complejos permite una mayor especificidad, sin dañar células sanas o el microbioma del sitio [12]. Por sus cualidades, la TDF sigue siendo objeto de estudio por parte de grupos de investigación en todo el mundo.



ALEGRE ANGÉLICA FLORES PÉREZ
Pertenece al Departamento de Biología Celular (Cinvestav-IPN);

NORMA ANGÉLICA VILLANUEVA MARTÍNEZ,
al Departamento de Farmacia (Facultad de Química, UNAM);

OMAR MOLINA ALEJANDRE,
al Laboratorio de Investigación y Posgrado en Tecnología Farmacéutica L-322 (Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM);

JOSÉ MANUEL DE LA ROSA VÁZQUEZ,
a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco (IPN, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos";

ADRIANA GANEM RONDERO,
Laboratorio de Investigación y Posgrado en Tecnología Farmacéutica L-322, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

1. ¿Qué es?

Es un tratamiento novedoso que utiliza tres componentes: luz, oxígeno del ambiente y un fármaco "especial" que se activa con luz.

7. ¿Por qué es tan buena?

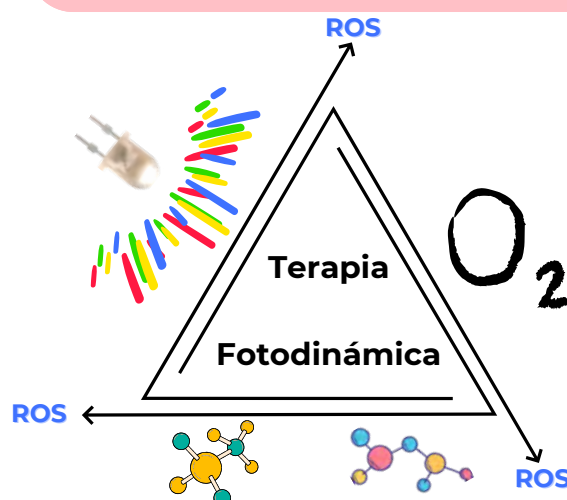
Es un tratamiento sencillo, no invasivo, que solo actúa en el lugar de aplicación.

6. Un toque moderno

La terapia fotodinámica puede potenciarse con la nanotecnología, pues puede mejorar la capacidad de penetración del fármaco en el tejido, haciéndola más eficiente. ¡No es magia, es ciencia!

2. ¿Para qué sirve?

Es muy útil para tratar padecimientos como cáncer, infecciones, problemas en los ojos y enfermedades de la piel ¡Es como encender un interruptor curativo!



5. Dato Curioso

Te sorprenderá saber que algunos de estos fármacos "especiales" para la terapia fotodinámica se basan en sustancias de origen natural, como algas, plantas e incluso bacterias, pero ¡no hacen nada si no hay luz!

3. ¿Cómo funciona?

1. El fármaco se administra, y se acumula en las células enfermas.
2. Se irradia luz para que el fármaco se active.
3. Esto provoca que se eliminen las células malas, sin afectar el tejido sano. ¡A eso se le llama precisión!

4. ¡Importante!

Aunque es una alternativa moderna y efectiva que se utiliza cada vez más, siempre debe estar sujeto a evaluación de un médico competente ya que no todos los casos son iguales.



REFERENCIAS

- 1. M. Brodsky. "Revisiting the History and Importance of Phototherapy in Dermatology". *JAMA Dermatol* 153 (2017) 435. doi: 10.1001/jamadermatol.2017.0722.
- 2. A. Grzybowski, J. Sak, J. Pawlikowski. "A brief report on the history of phototherapy". *Clin Dermatol* 34 (2016) 532–537. doi: 10.1016/j.clindermatol.2016.05.002.
- 3. A. Downes, T. P. Blunt. "Researches on the Effect of Light upon Bacteria and other Organisms", *Proceedings of the Royal Society of London* 26 (1877) 488-500 [Online]. Available: <https://about.jstor.org/terms>.
- 4. H. Hönigsmann. "History of phototherapy in dermatology". *Photochem. Photobiol. Sci.* 12 (2013) 16-21. <https://doi.org/10.1039/C2PP25120E>.
- 5. T. W. R. Hansen, M. J. Maisels, F. Ebbesen, H. J. Vreman, D. K. Stevenson, R. J. Wong, V. K. Bhutani. "Sixty years of phototherapy for neonatal jaundice – from serendipitous observation to standardized treatment and rescue for millions". *J Perinatol.* 40 (2020) 180-193. doi: 10.1038/s41372-019-0439-1.
- 6. A. Li, X. Wei, Y. Xie, Y. Ren, X. Zhu, M. Liu, S. Liu. "Light exposure and its applications in human health". *J Biophotonics.* 17 (2024) e202400023. doi: 10.1002/jbio.202400023.
- 7. J.F. Algorri, M. Ochoa, P. Roldán-Varona, L. Rodríguez-Cobo, J. M. López-Higuera. "Light Technology for Efficient and Effective Photodynamic Therapy: A Critical Review". *Cancers (Basel)* 13 (2021) 3484. doi: 10.3390/cancers13143484.
- 8. H. Abrahamse, M. R. Hamblin. "New photosensitizers for photodynamic therapy". *Biochem J.* 473 (2016) 347-64. doi: 10.1042/BJ20150942.
- 9. Q. Liu, R. Yu. "Optimization of tumor photodynamic therapy strategies based on nanotechnology". *J Drug Deliv Sci Technol.* 111 (2025) 107202. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2025.107202>
- 10. K. Roa-Tort, Y. Saavedra, A. Villanueva-Martínez, A. Ganem-Rondero, L. A. Pérez-Carranza, J. M. de la Rosa-Vázquez, G. Ugalde-Femat, O. Molina-Alejandre, A. A. Becerril-Osnaya, J. D. Rivera Fernández. "In Vitro Antimicrobial Photodynamic Therapy for *Pseudomonas aeruginosa* (P. aeruginosa) and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) Inhibition Using a Green Light Source". *Pharmaceutics.* 16 (2024) 518. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16040518>.
- 11. A. Villanueva-Martínez, O. Molina-Alejandre, A. Flores-Pérez, M. G. Nava-Arzaluz, G. H. López-Mera, R. D. Cruz-Morales, D. Sánchez-García, A. Becerril-Osnaya, A. Pérez-Carranza, E. Piñón-Segundo, S. Bernal-Chávez, J. Pedraza-Chaverri, O. N. Medina-Campos, P. del Valle-Pérez, D. Cerecedo, I. Martínez-Vieyra, A. Ganem-Rondero. "Methylene blue-loaded flexible liposomes improve the efficacy of photodynamic therapy for the treatment of bacterial keratitis". *J Drug Deliv Sci Technol.* 108 (2025) 106906. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2025.106906>.
- 12. Afrasiyab, R. Zhou, K. Raziq, T. Xue, D. Sun. "Photodynamic antibacterial therapy by metal complex mediators: A new promise for eliminating drug-Resistant infectious microorganisms". *Inorg Chim Acta.* 587 (2025) 122818. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2025.122818>.

MACHINA DIXIT

ULISES CORTÉS

*La inteligencia
en esta nueva aldea
es de artefacto¹.*

Si siguiendo la línea trazada por Hobbes², hace más de ciento sesenta años Samuel Butler escribió, en plena revolución industrial, una visionaria carta al editor del diario *The Press*³, de la localidad neozelandesa de Christchurch, en la que anunciaba que los humanos estábamos en la senda de crear una especie sucesora, en la línea de la evolución que anunció Darwin, y, además, previó que las máquinas adquirirían la supremacía de éstas sobre el mundo y sus habitantes.

También propone una *guerra a muerte* contra las máquinas, instando a la destrucción de toda la maquinaria para salvar a la humanidad de una eventual subyugación, aunque, en 1860, reconoce que ya es demasiado tarde.

La especulación de Butler sobre la posibilidad de que los humanos se conviertan para las máquinas en lo que los animales domésticos son para los humanos es un argumento central y matizado en su carta *Darwin entre las máquinas*. Butler establece una analogía directa entre la domesticación de los animales y la evolución de la relación entre los humanos y las máquinas cada vez más sofisticadas.



Esta visión resulta especialmente relevante hoy, cuando las tecnologías basadas en la inteligencia artificial — como los dispositivos digitales, las redes sociales o los modelos masivos de lenguaje como los de las familias ChatGPT⁴ o Llama— ya configuran entornos donde las personas quedan, en muchos sentidos, atrapadas o condicionadas por sistemas algorítmicos que median sus decisiones, relaciones y percepciones.

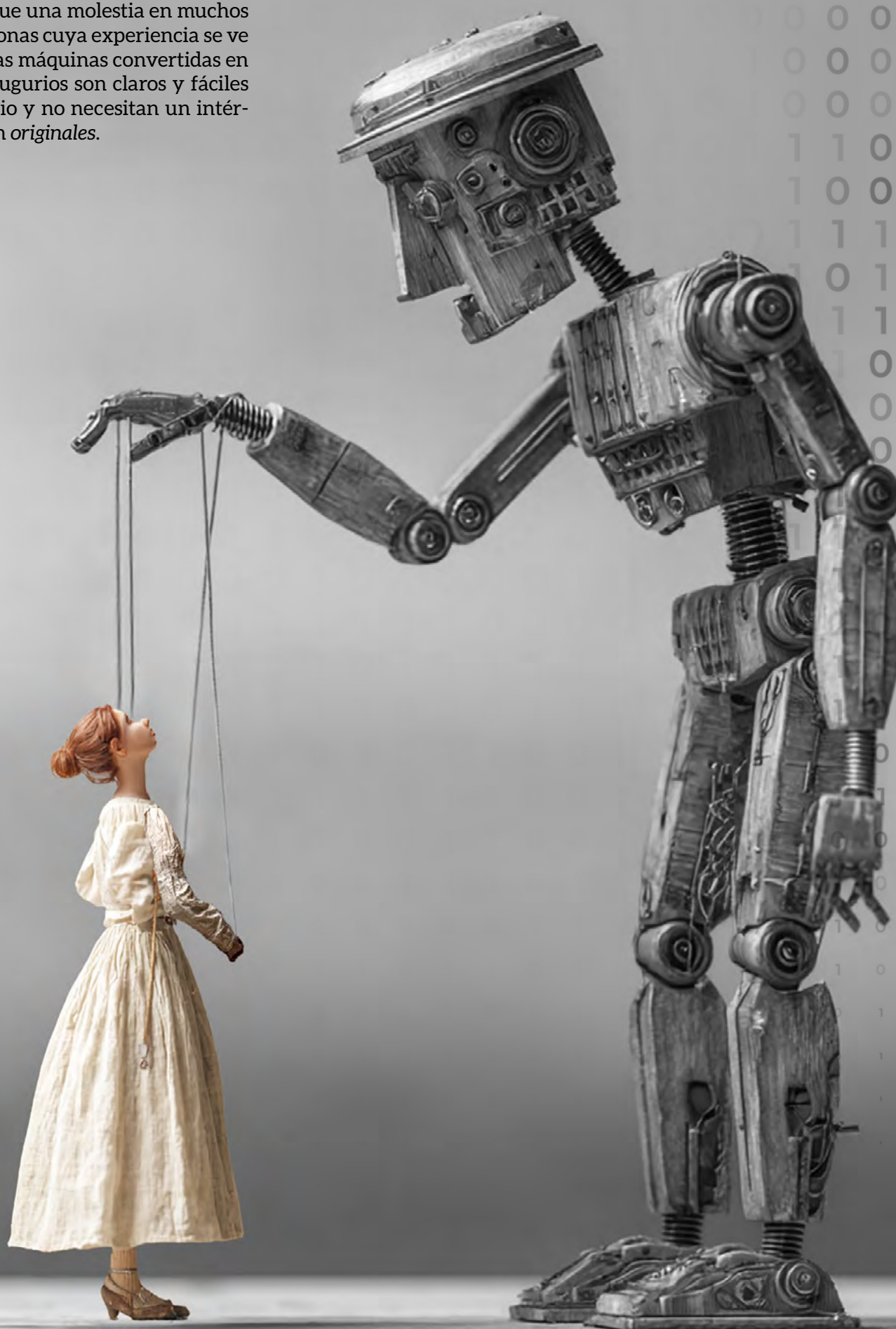
El uso extensivo de herramientas como ChatGPT o DeepSeek diseñadas para generar textos sofisticados indistinguibles de los que podrían ser producidos por un humano, son aplicables en una amplia gama de situaciones sociales y profesionales. Estas tecnologías presentan oportunidades, pero también, a menudo, desafíos éticos, legales, socioeconómicos y culturales y tienen el potencial de tener impactos tanto positivos como negativos para las organizaciones, la sociedad y las personas. Hoy es evidente que los modelos masivos del lenguaje han sacudido los cimientos de muchos ámbitos laborales.

Su funcionalidad básica de *pregúntame lo que quieras* se ha transformado en la creencia de que la máquina *siempre* tendrá una buena respuesta, *correcta* y *rápida*. Esta convicción sobre la capacidad de estas herramientas se ha convertido en algo más que una molestia en muchos ámbitos y para muchas personas cuya experiencia se ve desplazada por el uso de estas máquinas convertidas en oráculos de bolsillo, cuyos augurios son claros y fáciles de comprender por el usuario y no necesitan un intérprete, aunque casi nunca son *originales*.

Una publicación típica en redes sociales hablando de estas herramientas, suponiendo que no fuese una nota interesada, podría decir algo así:

Le pedí a ChatGPT/Llama que me escribiera un [texto/resumen/soliloquio/...] sobre [tema]. Y, a continuación, podríamos leer, DeepSeek hizo un trabajo [bueno/excelente/increíble], (sin duda) (mucho) mejor de lo que yo lo habría hecho.

Si bien muchas de esas anécdotas que circulan se relacionan con tareas sencillas de generación de contenido como la de corrector gramatical o traductor, estas publicaciones reflejan una clara tendencia a antropomorfizar los modelos de lenguaje: se les atribuyen cualidades humanas y capacidades creativas, como si realmente *hicieran* el trabajo por iniciativa propia, cuando en realidad son herramientas que operan a partir de instrucciones y datos proporcionados por los usuarios. Una de sus mayores ventajas es que estas respuestas, por complicadas que sean las preguntas, son gratis. Sin embargo, los resultados de estas máquinas deben verificarse cuidadosamente, ya que generan contenido inexacto, sesgado basado en fuentes de ideas incorrectamente reportadas, etc.



El texto del epígrafe de esta nota fue producido por una de estas herramientas, a mí me parece carente de emoción -un hallazgo *feliz* logrado no sabemos cuántos intentos después- y cuando lo comparo con una definición que el poeta mexicano José Gorostiza hace de la inteligencia:

¡oh inteligencia, soledad en llamas!/ que lo consume todo hasta el silencio,/ sí, como una semilla enamorada/ que pudiera soñarse germinando/

Expresión que está llena de esa íntima experiencia que produce el pensamiento en los humanos cuando están ensimismados y en intensa actividad creativa y que expresa esa emoción introspectiva, metafísica, que llega al silencio y, entonces, la semilla-idea se ve ya flor. Aunque una máquina pudiese escribir las mismas palabras, en el mismo orden jamás podría sentir esa emoción única pero que reconocemos por haberla experimentado.

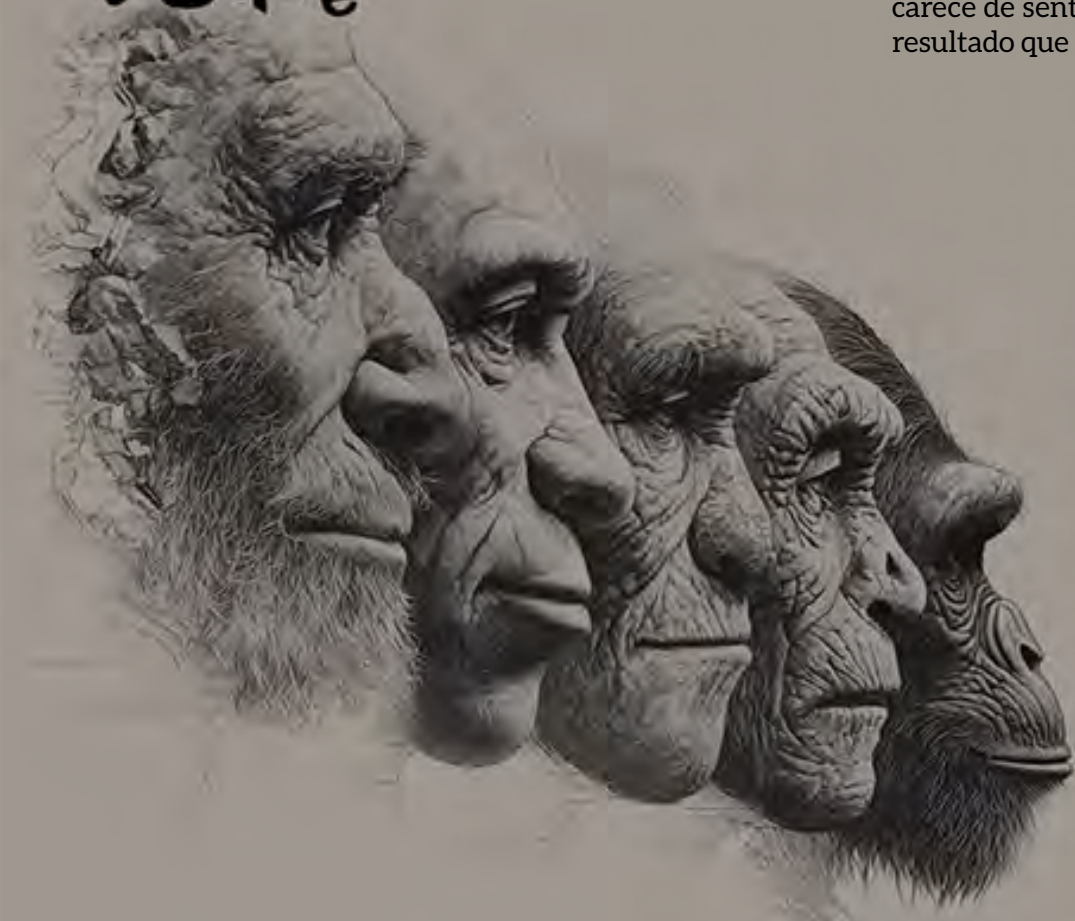
En este contexto, las ideas del filósofo Luciano Floridi enriquecen y actualizan la analogía de Butler. Floridi sostiene que el verdadero desafío no es la tecnología en sí, sino la gestión y el control de la sociedad digital, misma que está en manos de unas pocas empresas, y los gobiernos han perdido la iniciativa dejando a los ciudadanos al arbitrio de unos pocos señores feudales digitales⁵.

Sin embargo, las máquinas nos ganan terreno; día a día estamos más subordinados a ellas; cada vez más personas se ven obligados a servirlos con nuevas formas de esclavitud; cada día una inmensa mayoría de personas, en todo el mundo, dedican las energías de toda su vida al desarrollo de la vida *mecánica o digital*.

Para J. Lanier⁶, el problema central reside en la manera en que estas tecnologías han sido diseñadas para recolectar información y manipular comportamientos, a menudo sin transparencia ni responsabilidad democrática. Los modelos masivos del lenguaje, como los mencionados en el texto, son tecnologías de amplio espectro y muy potentes, resulta imposible prever los posibles usos que los humanos, cualquier persona, pueda hacer y menos aún prevenir sus consecuencias ni atajarlas. Esto resulta más alarmante si, además, el usuario en cuestión carece de sentido crítico y cree a pie juntillas cualquier resultado que la herramienta produzca.

*¡Oh inteligencia, soledad en llamas!
que lo consume todo hasta el silencio,
sí, como una semilla enamorada
que pudiera soñarse germinando.*

José Gorostiza



Entre las amenazas que plantean ChatGPT y otros bots similares se incluyen que son algoritmos de caja negra u opacos, que las respuestas que generan promueven la discriminación y sesgos, vulgaridad; que sus respuestas pueden contener contenido textual incorrecto, inventado y contenido multimedia falso. Además, que al producir respuestas pueden cometer infracciones contra los derechos de autor, plagio, etcétera.

Por lo tanto, es esencial que los gobiernos, organizaciones e individuos comprendan, gestionen y mitiguen los riesgos derivados de la adopción de sistemas basados en la IA de esta potencia. Si no actuamos con pensamiento crítico resultado es cuestión de tiempo en el que quienes posean esas máquinas y sus algoritmos ostentaran la verdadera supremacía tecnológica y económica sobre el mundo y sus habitantes, es algo que ninguna persona con una mente filosófica puede cuestionar ni por un instante.

Es lícito, en 2025, preguntarse si no es demasiado tarde para detener la automatización y la digitalización. Sus defensores abogan que son aceleradores útiles para el desarrollo de la ciencia, habrá que verlo. Quizás este es el tiempo para que las sociedades se apliquen en pensar cómo reconducir el acceso a estas herramientas, hoy es libre y casi gratuito, antes de que alguien se haga daño o produzca males de forma *accidental*, gracia a una alucinación de una de estas máquinas.

ULISES CORTÉS

Catedrático de Inteligencia Artificial de la Universitat Politècnica de Catalunya. Coordinador Científico del grupo High-Performance Artificial Intelligence del Barcelona Supercomputing Center. Miembro del Observatori d'Ètica en Intel·ligència Artificial de Catalunya y del Comitè d'Ètica de la Universitat Politècnica de Catalunya. Es miembro del comité ejecutivo de EurAI. Participante como experto de México en el grupo de trabajo Data Governance de la Alianza Global para la Inteligencia Artificial (GPAI). Doctor Honoris Causa por la Universitat de Girona.



REFERENCIAS

- 1 <https://letralia.com/editorialletralia/especiales/bestiarioartificial/2024/05/31/haiku-3-0/>
- 2 Thomas Hobbes, Leviathan, ed. C. B. Macpherson, London: Penguin, 1981, p. 150.
- 3 <https://mediarep.org/server/api/core/bitstreams/e0da505d-200c-43ab-be4b-6604a4df816f/content>
- 4 El entrenamiento desde cero es más costoso que la inferencia o el ajuste fino. Se requieren clústeres de GPU (a menudo cientos o miles para los modelos más grandes), con costos que alcanzan millones de euro para los LLM de última generación. Sin embargo, con la cuantificación, e.g. OmniQuant, y métodos eficientes de ajuste fino, se pueden reducir los requisitos de recursos para la personalización y la implementación.
- 5 <https://archive.org/details/technofeudalism-what-killed-capitalism-2023-yanis-varoufakis>
- 6 <https://observer.co.uk/style/features/article/you-me-and-chatgpt>



PSICOACÚSTICA

Mensaje del maestro Roncador Método Maestreado

Esta ponencia debe salir muy bien. En este congreso hay científicos y académicos que me importan mucho.

Tengo el *power point* preparado y no estoy nervioso. En la sala se han reunido unas treinta personas. El moderador me presenta y empiezo.

—Como ya saben, un itinerario acústico en una ciudad es aquel recorrido dinámico y estático de sus espacios sonoros públicos y privados, que existen de forma intrínseca por sus formas, proporciones y materiales o extrínseca por sus usos y conmemoraciones, y generan diferentes recorridos que destacan culturalmente desde el ámbito sonoro.



Observo caras iluminadas de azul debido a los móviles que tienen escondidos en las manos.

—El método Maestreado para el paseo sonoro tiene como objetivo recorrer los espacios arquitectónicos y naturales con los ojos vendados y guiado muy de cerca por el Maestro.

Una persona levanta la mano. La reconozco, es APL, el anterior presidente de la Sociedad de Acústica.

—Veamos, en primer lugar, ¿para qué sirve? —Me pregunta.

—Sirve para descubrir cómo suenan los espacios, y sobre la necesidad o no de rediseñar sus sonidos, o si pueden y deben constituir parte del Patrimonio Cultural Inmaterial Sonoro del lugar.

Otra persona levanta la mano, es el profesor Derlanvor. Le doy paso.

—¿Y se realiza solo o acompañado?

—Para la percepción acústica del espacio conviene realizar el paseo mediante un equipo de tres personas (ciego, lazarillo, notario), que a ser posible se forman antes del paseo, y que alternan sus papeles. Esto proporciona una enseñanza inusual sobre el sonido del espacio y sus diseños arquitectónicos y urbanos más pequeños.

Me tomo un sorbo de agua.

—Considero que lo mejor es explorar los espacios tranquilos o ruidosos, tal como lo hace un ciudadano, es decir, mediante el paseo que va de su casa hasta este lugar, pero esta vez con los ojos vendados, lo que nos obliga a ejercer la acústica activa. Por ello, vamos a hablar en síntesis del proceso de diseño, realización y análisis de resultados del paseo.

Me callo unos segundos y miro a los presentes. Parecen interesados, aunque algunos tienen la cara bajada. No me miran. Eso me hace pensar que no me escuchan como preferente.

—Para diseñar el paseo sonoro, se realiza inicialmente una prospección con una ruta y una duración específica. Los lugares de escucha activa se seleccionan en función de indicadores funcionales, como plazas, soportales, zonas tranquilas o de protección natural, con funciones restauradoras y atributos visuales positivos, así como indicadores espaciales, a ser posible ubicados lejos de grandes infraestructuras.

Otro sorbo de agua.

—Pero eso debe hacerse un día y un momento determinado, ¿no es verdad?

Miro al público. Ya casi no existen caras azules.

—Para fijar el paseo sonoro, se establece, un día, hora y lugar de encuentro, así como los requerimientos básicos para su desarrollo: mascarilla o venda, tableta, papel y lápiz o bolígrafo, así como una agenda con una ruta predeterminada si van solos, sin determinar cuando van por deriva, o guiados por mí si es Maestreada.

—Perdone, no entiendo la diferencia entre estos tres casos. —la voz del profesor Richard Nanherdez es inconfundible.

—Claro, es complejo, —continúo yo, —pero primero hablaré de los protocolos de los participantes.

—¿Y quienes lo vamos a hacer, y cómo? Me pregunta sin pedir tanda la Dra. Omari, una profesora de la cuarta fila.

—Para realizar el paseo sonoro, se forman los equipos de tres personas, ciego, lazarillo y notario, que realizan sus funciones durante al menos media hora, para luego intercambiar sus papeles.

—¿Y Ya está? Continúa el profesor APL.

—Finalmente, se contesta un cuestionario y se discuten los resultados del mismo. La duración total estimada es de unas dos horas aproximadamente.

Observo que ya no hay caras azules. Creo que los he dejado con las ganas de empezar a realizar el paseo. Observo que el profesor APL se retira de la sala.

—Para el éxito del itinerario propuesto, se proporcionan las bases pedagógicas en una reunión previa, donde

se señalan los objetivos y se proporciona la metodología específica y equipo material necesario. Se forman los diferentes equipos con tres personas y se realiza una prueba previa donde el Maestro muestra los distintos estadios del proceso. Con ello se intenta establecer unas relaciones de gran confianza entre los tres intervinientes de cada equipo, que de forma alternativa realizarán los papeles de ciego, lazarillo y notario, recorriendo el itinerario preestablecido por la ciudad. Si ello es posible, se realiza una experiencia previa con cada equipo, para mostrar y superar las dificultades específicas, y señalar los momentos de cambio, a fin de que todos participen alternándose en los papeles de ciego, lazarillo y notario. Luego se procede a efectuar el recorrido exterior guiado por el Maestro, recorriendo un itinerario dinámico y estático prefijado normalmente, y con ello, los participantes aprenden los métodos de prospección, adquisición de datos, medición del sonido y en especial cómo se aplican estos conceptos a la identificación y adjetivación de los espacios, tranquilos o no. Ahora lo explicaré todo.

—Y contestando la pregunta del profesor Nanherdez, debo indicar que el recorrido también puede realizarse en deriva, que proviene del término francés *Derive*, (desviación). Ello significa que el lazarillo lleva al ciego por donde el primero cree que encontrará mayores o distintas sensaciones auditivas.





—Os voy a dar los decálogos de protocolos de los participantes, ciego, lazarillo, auditor, e itinerarios.

Tomo un sorbo de agua. Veo que el público está muy atento.

Prosigo.

—Respecto los participantes en general:

1° Como he dicho, realizarán el rol de ciego, lazarillo y de notario-auditor alternativamente.

2° El hecho de inscribirse debe comportar la renuncia del derecho de imagen, consintiendo a aparecer en el material gráfico o sonoro del paseo, tanto en su preparación, realización y postproducción.

3° A su vez deben declinar realizar reclamaciones por cuanto pueda suceder durante el transcurso del recorrido.

4° Deben conocer que los documentos de las entrevistas, encuestas o cuestionarios, son anónimos.

—Y ahora el del lazarillo, cuya función es primordial, porque elige el itinerario a recorrer, los soportales donde pasar, las tiendas a las que entrar, etc. El protocolo es:

1° Garantizar la seguridad de la persona vendada que acompaña.

2° Comprobar que la persona que hará de ciego se coloque bien la venda, y que esta no obstruya ni deforme las orejas.

3° El lazarillo nunca coge al ciego. Es el ciego quién se coge del lazarillo. El lazarillo se adelanta ligeramente en relación a la posición del ciego, para que este pueda notar si el lazarillo baja o sube peldaños antes que él lo haga. También puede advertirle con la voz, pero mejor si el ciego lo va notando por sí mismo.

4° Andar unos pasos de prueba, lentamente, sin prisa (sobre unos 3 Km/h), para que el ciego pueda seguir sin temor.

5° Seguir el itinerario (si es preestablecido), y buscar lugares que sean contrastados y donde el ciego pueda describir diferentes ambientes, interiores-exteriores, ruidosos-silenciosos, estáticos dinámicos, estrechos-amplios, abiertos-cerrados, calles-plazas, cóncavos-convexos, lúdicos-fabriles, etc., para que los pueda adjetivar sonoramente hablando.

6° Si el ciego no dice nada, hacer preguntas sencillas para que las conteste; si el espacio es una calle o una plaza,

si hay algo en el techo, si el sonido es perimetral o central, si corresponde a una actividad o a juegos de niños, si hay un cambio de pavimento, si suena a metal o madera, macizo o hueco, etc.

7° Guiar al ciego cuidando siempre de su seguridad. Calmarlo si procede, puesto que junto al notario cuida siempre de su seguridad. Estamos en una ciudad y hay que cruzar calles donde circulan vehículos. Elegir siempre pasos semaforizados.

8° Cuando así se establece, se puede parar (Estación) para que el ciego experimente de forma más reflexiva ese lugar y pueda escuchar con atención fuentes específicas.

9° Puede ayudar al equipo portando una grabadora o un sonómetro, realizando vídeos y/o fotografías, si procede.

Tomo otro sorbo de agua.

—Siguen ahora los protocolos específicos del ciego:

1° El ciego se colocará la venda personal de forma que obstruya totalmente la visión, sin deformar ni obstruir las orejas.

2° Se cogerá del hombro o del antebrazo del lazarillo designado, colocándose medio paso por detrás del mismo y realizará unos pasos de adaptación durante unos 5 minutos siempre guiado por el primero, para darle confianza.

3° Nunca irá solo. En caso de pánico se detendrá y calmará durante el tiempo que estime necesario. Y si es necesario se soltará del lazarillo.

4° Durante el recorrido, irá comentando las percepciones sonoras que sucedan,

intentando explicar con la máxima precisión las características de los espacios del recorrido, y adjetivando sobre los mismos. Para ello dispone de los adjetivos usuales como: tranquilo, calmado, cálido, frío, fabril, bullicioso, estático, irritante, estrecho, dinámico, alto, lúdico, infantil, sólido, reverberante, irritante, silencioso, y todos los que se le ocurran.

5° También debe definir los materiales de los pavimentos, fachadas, mobiliario,

vuelos y soportales, su textura lisa o rugosa, y su dinámica, ritmos y/o variaciones, así como los aspectos topográficos de subidas, bajadas, estrechamientos y cambios en las morfologías y retranqueos de las fachadas de la ciudad.

6° Las instrucciones son que el Ciego proporcione al notario la máxima información sobre lo que percibe sin la visión. Especialmente el ciego se centrará en apreciar si existen lugares o actividades que por su sonido crea que pueden considerarse catalogables como Patrimonio de la ciudad, o incluso como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad.

Más sorbos de agua.

—Y por último el protocolo específico del notario-auditor, que es quien realiza el mayor trabajo, puesto que debe levantar acta de todo lo que ocurre, vea y escuche, tanto del ciego como de su realidad

1° El notario, colocado al otro lado del ciego, debe anotar las características espaciales y acústicas del lugar tal como las describe el ciego.

2° Anota todo lo que dice el ciego y lo contrasta con lo que cree ver; lugar, hora, tipo de espacio, sensación sonora, etc.

3° También puede ayudar realizando dibujos y esquemas, así como fotografías y vídeos.

4° Tiene el papel de auditor, tanto en el sentido en su papel de escuchar, como de la veracidad de lo que dice percibir el ciego.

5° Al finalizar el tramo, realiza la encuesta al que hace de ciego. (Es mejor recoger las encuestas en vivo, porque a posteriori muchos tienen problemas para rellenarlas y/o entregarlas).

Otro sorbo más.

—Y respecto a los itinerarios, al cabo de los tiempos asignados a cada uno de ellos, se cambian los papeles de ciego, lazarillo y auditor. Si hay tiempo, interesa deshacer el camino recorrido por cada uno de los participantes, realizándolo al revés, y comentando los aspectos que han destacado, con ayuda ahora de la visión. De esta forma, puede compararse lo que se “veía” solamente con la audición con la realidad visualizada.

Tomo el último sorbo de agua.

—Al final, si es posible, se establece un coloquio con todos los equipos. Aparecen lugares vacíos de sonidos, donde se debería rehabilitar la ciudad para que tenga voces oportunas, y otros con un patrimonio cultural inmaterial sonoro de gran riqueza, que incluso precisaría ser conservado y catalogado como tal. También sirve para contrastar las características acústico-espaciales de los sectores de la ciudad, recorridos por todos ellos, y se exponen los más ruidosos y calmados, los más señoriales, incluso los más nobles, y se contrastan con las sensaciones exclusivamente auditivas, que hacen que la vivencia de la ciudad haya sido distinta a la simple percepción visual con que cotidianamente la contemplamos.

APL entra dando un fuerte portazo. Los demás asistentes se giran y observan como se dirige hacia el estrado donde estoy ubicado, sube los tres peldaños y avanza hacia el micrófono exclamando:

—Eres un mentiroso. Me ha extrañado cuando has empezado a hablar de tu método y he salido a investigar. — Ahora se dirige hacia todos los asistentes. — Resulta que este Método lo ha desarrollado el Doctor Maldau, que es

francés y lleva haciéndolo desde que empezó, hace muchos años, a dar clases en la Sorbona de París.

Todos me miran expectantes. Yo me acerco nuevamente al atril, y exclamo:

—Por fin alguien reconoce a mi amigo y estimado Profesor Maldau. He tenido que confundiros y haceros pensar que el método era mío, para que le concedierais algo de vuestro tiempo.

APL está sorprendido. Ahora resulta que yo le agradezco salir del engaño al que los he sometido.

En ese instante, entra el Profesor Maldau dando otro portazo. Algunos aplauden pensando que hoy tienen espectáculo. El Profesor avanza hasta el estrado, y en vez de subir, se sienta en el mismo de un modo informal. Los aplausos cesan y los asistentes se sientan.

Sin ningún micrófono y con una voz suficientemente suave, cuando se extinguen los últimos murmullos, exclama:

—Quisiera agradecer al Maestro Roncador el haberme invitado a asistir a esta exposición de mi Método. Estoy seguro que él se lo sabe hacer suyo.

Risas entre el público, que acalla con un gesto de la mano.

—Y obviamente, agradecer también a APL por el intento de aclarar mi autoría, pero como ya podéis deducir, el Maestro y yo hemos preparado conjuntamente esta representación.

Ahora sube al estrado.

APL sube también.

—Se podría decir que sois casi la misma persona. — Finaliza APL dándonos un fuerte y sonoro abrazo a ambos.



MAESTRO RONCADOR

Experto en psicoacústica y aprendiz de lo que sea menester.



*Personalidades de la
ciencia contemporánea*

PASIÓN, EXPLORACIÓN, COMPASIÓN: LA BIOMÍMESIS DE ELOY



CARLOS CHIMAL

Conocí a Eloy Rodríguez gracias a nuestro querido colaborador, el premio Nobel y poeta, Roald Hoffmann. No acentuamos su apellido, ya que él nació en los Estados Unidos y es ciudadano de aquel país que, cuando se pudo, adoptó también la nacionalidad de sus antepasados. De hecho, se trata del primer mexicano-norteamericano en obtener el grado de doctor en una ciencia dura por una universidad de excelencia, en este caso, Cornell, donde fue elegido para conducir la prestigiosa Cátedra James A. Perkins. Así que omitir una marca de la ortografía hispana indica la inevitable integración de dos culturas, esto es, la hispanización de Norteamérica y viceversa.

Sus abuelos y padres fueron trabajadores agrícolas mexicanos inmigrantes que pudieron ofrecerle una oportunidad y él la aprovechó. Como puede suponerse, el camino de Eloy fue largo, arduo, tanto, que, bromeando, me dijo que el barrio donde creció era tan pobre que ni caso tenía dedicarse a robar por ahí. Más lejos, ni pensarlo.

Pude platicar con él en Ithaca, pequeña ciudad al noreste del estado de Nueva York, en su laboratorio de Bioquímica dentro del campus universitario; años más tarde se mudó a California, donde aún radica. Vinculado a la Universidad de California en Irvine, alienta las carreras científicas de muchas y muchos jóvenes de origen latinoamericano.

¿Cómo consiguió llegar hasta aquí?

Fotogramas
tomados de la
entrevista con
el autor.

“Cuando cursaba Junior High School adquirí el entusiasmo por observar lo que sucedía con los organismos de la naturaleza, ya sean insectos, mamíferos o plantas. Con el paso del tiempo llegué a experimentar momentos de profunda emoción. Así me apasioné y decidí dedicarme a desentrañar los secretos maravillosos del mundo natural. En realidad, desde pequeño me gustó leer libros de naturalistas y de viajes exploratorios, sobre todo de Charles Darwin, un gran narrador del mundo natural, a quien todos deberíamos leer algún día”.

Luego usted mismo se convirtió en un explorador, a la manera de Darwin.

“El trabajo de campo, combinado con el trabajo de gabinete, laboratorio, biblioteca, es la mejor manera de entender qué acontece en los procesos del enjambre que llamamos vida, a los cuales les ha tomado miles de años encontrar tal perfección, semejante ingenio”.

Su campo, la fitoquímica, es una forma de biomimesis, disciplina que adquirió preponderancia luego del libro de Janine Benyu (1997), donde reconoce la en ese entonces naciente manera de abordar el conocimiento de la naturaleza. Tiene, al mismo tiempo, una componente social muy importante, pues al observar y entrar en contacto con las comunidades indígenas, por ejemplo, del Orinoco o del norte de México, no ve en ellos conejillos de Indias, sino personas. Muy parecido al punto de vista que adoptó Susan Sontag como escritora y a los ideales que condujeron la investigación de Thomas Eisner, cuya charla apareció en el número 33 (Noviembre de 2024) de este suplemento.

La “zoofarmacognosis” es un término acuñado por Eloy y Richard Wrangham (U. de Harvard) para referirse a una peculiar manera de comprender las diversas formas de curarse que han encontrado las especies a lo largo de su evolución, desde plantas y artrópodos hasta lepidópteros y mamíferos. Convencido darwinista, piensa en la realidad natural como una fuente de oportunidades y no como una cornucopia que algún hipotético ser superior destinó para consumo de los humanos. Y además, para acabarla, debemos sentirnos culpables.



“Ser mejores es una decisión que podemos tomar o dejarla pasar”, opinó.

Usted ha acuñado otro neologismo para una nueva disciplina, la quimio-ornitología. ¿Puede hablarnos de ella?

“Estudiamos la manera intrincada en que muchas aves se apropian de una molécula que se encuentra en determinada planta, la cual *nunca* han comido. Observamos que una especie de pájaros hizo nido en un enjambre de avispas. Sin embargo, éstas no los atacaron. ¿Por qué? Resulta que los pájaros despedían un olor característico, cosa que las avispas reconocieron como un aroma familiar. Es probable que pensarán: ‘No hay problema, se trata de avispas grandotas’. Pero, ¿cómo llegó esa molécula química al cuerpo de dichas aves si la planta de donde provino no forma parte de su alimentación? Es fascinante descubrir lo que sucede ahí. Encontramos que es un insecto el que, primero, come esa planta, procesa la molécula, la transforma en su cuerpo. Luego viene una hormiga y se come al insecto. Así adquiere dicha sustancia, su organismo la procesa y la transforma. En esa cadena aparece el pájaro, quien se alimenta de estas hormigas, y así comienza de nuevo el ciclo de adquisición, transformación química y protección, pues dicho pájaro no solo se sirve del aroma que despiden para engañar a las avispas, sino que también lo utiliza para repeler a otras aves. Es la misma molécula, pero al mismo tiempo no, pues su actividad específica ha cambiado al pasar de una especie a otra”.

¿Dónde ha realizado sus investigaciones de campo?, le pregunté.

“Buscamos en el Caribe, en los Estados Unidos, en el Amazonas venezolano, en África, en Baja California los remedios naturales que algunos animales utilizan para curarse o prevenir enfermedades, así como los que han descubierto las poblaciones indígenas, la llamada farmacopea tradicional que combinamos con la química de nuestros días, algo híbrido que da muchos resultados. Buscamos y estudiamos diminutas moléculas y glicoproteínas”.

¿Puede darnos un ejemplo?



“Algunos monos se acicalan con ciertas yerbas y otros, al verlos, se acercan y se frotan unos con otros”, respondió. “Antes se creía que era una forma de conducta social, pero ahora sabemos que la causa es muy distinta. Al analizar las sustancias de esas plantas nos dimos cuenta de que contenían un aceite que los protegía contra los parásitos. Y esto lo hacen también las aves, como en el ejemplo anterior, al igual que las hormigas y las termitas”.

¡Qué especies más inteligentes!, exclamé.

“Así es, en el caso de los primates, cuando aparece un mono astuto en el grupo, los demás entienden que les conviene imitarlo. ¿Ve usted cuál es nuestro interés en la ciencia?”.

Dudé. Eloy siguió diciéndome:

“Nos interesa estudiar la manera en que algunos animales reconocen y usan plantas y sustancias como medicamentos o maneras de defenderse, tomados del ambiente donde viven. Pero eso no es todo. Mientras investigábamos, descubrimos diversas moléculas, entre ellas una útil para combatir el cáncer de mama”.



¿Cómo?, insistí.

“Esta molécula, encontrada naturalmente en una planta, podría inducir a las células cancerígenas de un tumor en el pecho de una mujer a autodestruirse, por lo que lo eliminaría sin mayor riesgo. Por el momento, todavía seguimos estudiando si esto es posible. Es muy importante avanzar en esta disciplina, pues en el mundo se consumen cantidades enormes de plantas medicinales de las cuales no se conoce exactamente si las moléculas tóxicas que conllevan superan la eficacia de su componente curativo. Hay que analizarlas, pronto. Pero, ¿se da cuenta?, este campo ofrece muchos posibles beneficios. Tratamientos contra la leucemia, el VIH, las gripes y los catarros comunes provienen del mundo natural, y casi todos tienen como base una planta”.

“Nos interesa estudiar la manera en que algunos animales reconocen y usan plantas y sustancias como medicamentos o maneras de defenderse, tomados del ambiente donde viven. Pero eso no es todo. Mientras investigábamos, descubrimos diversas moléculas, entre ellas una útil para combatir el cáncer de mama”.

¿Por eso es importante la biodiversidad?

“Entre otras razones”, aclaró él. “Sabemos que en los bosques tropicales húmedos, donde existe una enorme diversidad de especies y ecosistemas, los parásitos y los organismos patógenos no sobreviven con facilidad, pues se enfrentan a muchas clases de sistemas de defensa bioquímicos. Así, un virus que acaba con un árbol en el Amazonas, al saltar a otro, muere, pues las moléculas químicas de ese nuevo árbol son muy diversas, totalmente desconocidas para el organismo invasor. Recuerde que esto sucede después de largo tiempo, y que le ha tomado muchos millones de años llegar hasta aquí. Si nos limitáramos a estudiar, por ejemplo, la forma y el color de los organismos vegetales y animales, no conoceríamos los mecanismos de adaptación y las sustancias que utilizan las diferentes especies para sobrevivir”.

Parece toda una red.

“Exactamente”, replicó Eloy.

“En los bosques tropicales húmedos, como en el Amazonas, las especies están interconectadas por el hilo de una aguja llamada evolución. Desde que son larvas u orugas, muchas especies de mariposas se protegen de sus pájaros depredadores almacenando un veneno, el cual se desplaza hacia las alas cuando la mariposa tiene que remontar el vuelo y exponerse. Claro, hay algunos pájaros que han aprendido a evitar este veneno, pero aún así, funciona para la mayoría”.

¿Se sabe si algunos animales han desarrollado defensas contra la contaminación?

“No bien, pero puedo decirle que, por ejemplo, los pájaros que viven en las ciudades comen mucha fruta. La fruta contiene sustancias antioxidantes que defienden a



los organismos vivos de algunos contaminantes industriales. No olvidemos, además, que los pájaros son muy buenos sobrevivientes. Saben escoger sus alimentos y evitar los sistemas de defensa de otras especies, así que no me sorprendería que ya hubiesen desarrollado algunas formas de protegerse de nuestra contaminación.

Hasta ahora hemos hablado de su pasión por explorar, por conocer el mundo natural en sus diversas facetas. También habla usted de la compasión, ¿qué significa?

“Educar a las nuevas generaciones con entrega, no solamente para que sean buenos investigadores y promuevan el bienestar en su comunidad, sino que para que esto suceda, aprendan a conservar el mundo natural. Cuando un estudiante viene a pedirme permiso de usar una idea que escuchó en mis clases, lo invitó a que la tome y la desarrolle de la mejor manera. No tengo temor de quedarme corto de ideas, ni siquiera de proyectos. Al detectar lo que es peligroso, al diagnosticar lo que puede beneficiarnos como especie estamos siendo verdaderamente compasivos, ¿con quién?, con la vida”.

¿Tiene contacto con México?

“Durante muchos años, no. La cultura chicana se desarrolló un tanto apartada de sus raíces, eso sí, idolatrándola, pero como un recuerdo distorsionado, no como algo real. En toda mi carrera, por desgracia, no conocí a un solo chicano. Eso ha cambiado. Recuerdo que al primer mexicano que conocí fue al ilustre químico, Alfonso Romo de Vivar, luego he tratado de extender mis lazos con México”.

El último gran proyecto en el que Eloy participó antes de retirarse a California fue la limpieza de la bahía del río Hudson. Aún continúa involucrado en organizaciones regionales y nacionales que promueven el que gente adinerada y docentes comprometidos lleven por buen camino a estudiantes de ciencias chicanos, latinoamericanos, a fin de que alcancen su máximo nivel. Eso es compasión.



PORTADA E ILUSTRACIONES
DE ANA C. LANDA

Mercurio Volante

SUPLEMENTO DE

hipócritalector

SUPLEMENTO
MERCURIO VOLANTE

CARLOS CHIMAL
EDITOR

NORMA ÁVILA JIMÉNEZ
JULIÁN D. BOHÓRQUEZ CARVAJAL
ARTURO CAMPOS
CARLOS COELLO COELLO
ULISES CORTÉS
ALBERTO CASTRO LEÑERO
ANDRÉS COTA HIRIART
FRANCESC DAUMAL I DOMÈNECH
IVÁN DEANCE
CARMINA DE LA LUZ RAMÍREZ
MARIO DE LA PIEDRA WALTER
LORENZO DÍAZ CRUZ
ARTURO FERNÁNDEZ TÉLLEZ
CARLOS FRANZ
FRANCISCO GARCÍA OLMEDO
SIANYA ALANIS GONZÁLEZ PEÑA
JOSÉ GORDON

GERARDO HERRERA CORRAL
ROALD HOFFMANN
EUSEBIO JUARISTI
PIOTR KIELANOWSKI
JUAN LATAPI ORTEGA
CARMEN LEÑERO
ELÍAS MANJARREZ
ARTURO MENCHACA ROCHA
MAURICIO MONTIEL FIGUEIRAS
CARLOS NARANJO CASTAÑEDA
CELINA PEÑA GUZMÁN
GABRIELA PÉREZ AGUIRRE
OCTAVIO PLAISANT ZENDEJAS
ROSALÍA PONTEVEDRA
CIRO PUIG BONET
LUIS FELIPE RODRÍGUEZ
MAESTRO RONCADOR
MARÍA SALAFRANCA
JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON
GUILLERMO TEJEDA MUÑOZ
JUAN TONDA MAZÓN
JUAN VILLORO
COLABORADORES

HIPÓCRITA LECTOR

MARIO ALBERTO MEJÍA
DIRECTOR GENERAL
CLAUDIA CARRILLO MAYÉN
DIRECTORA EDITORIAL
OSCAR COTE PÉREZ
DISEÑO EDITORIAL
BEATRIZ GÓMEZ
DIRECTORA ADMINISTRATIVA

Hipócrita Lector, diario de lunes a viernes.
Correo:
edicion.hipocritalector@gmail.com
Editora responsable: Claudia Carrillo Mayén
Permisos Inductor, Licitud y Contenido:
En trámite. Todos los materiales son
responsabilidad exclusiva de quien los firma.