

Mercurio Volante



45 SUPLEMENTO ESPECIAL
hipócritalector

Año III, Noviembre 2025

EMPUJANDO LOS LÍMITES DE LA VIDA

MECANOQUÍMICA VERDE
DOS ESTRELLAS: JULIETA FIERRO Y PACO SÁNCHEZ
SATÉLITES MEXICANOS
AMISTADES PELIGROSAS
TERAPIAS ANTICONVULSIVAS: PROS Y CONTRAS
LEYENDAS DEL NOBEL: CÉSAR MILSTEIN

¿POR QUÉ VIVIMOS?

ELÍAS MANJARREZ

*La vida emerge de la organización de la materia.
La muerte también.*

Entender por qué vivimos puede ayudar a comprender por qué morimos. Un tema que ha atraído la atención de filósofos y científicos, incluso de premios Nobel como Venki Ramakrishnan, quien en su libro *Why We Die* (*Por qué morimos*) nos explica la nueva ciencia del envejecimiento y la búsqueda de la inmortalidad [1].

Cabe mencionar que no pretendo hablar del libro de Venki, ya que sería un destripe (un “spoiler”) de su contenido. El Nobel visitará la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla el 3 de diciembre de 2025 para presentar la traducción al español de su interesante libro y platicar sobre el tema [2].

En cambio, a modo de celebración de esta importante visita y como recurso literario de antítesis, aquí reflexiono sobre lo opuesto a la muerte: la vida misma.

Antes de responder por qué vivimos, recordemos los componentes materiales que sustentan la vida. Imaginemos el universo primitivo, aún sin vida, donde la materia, agrupada en cúmulos de átomos, se enlazaba en moléculas por fuerzas de atracción y repulsión.

En algún momento aparecieron estructuras ordenadas, como los cristales, o estructuras amorfas, como los gases. El intercambio de energía propiciado por la luz emitida por unos átomos sobre otros debió producir cambios de estado de la materia, de manera reversible o irreversible.

El premio Nobel de Química de 1997, Ilya Prigogine, propuso que la materia puede organizarse de manera espontánea en sistemas disipativos: estructuras que intercambian energía con su entorno para conservar su organización. Así, incluso antes de la vida, pudo haber existido orden en el caos [3].

Un ejemplo fascinante de organización disipativa espontánea es la reacción de Belousov-Zhabotinsky: una danza de iones en solución acuosa que alterna, con un ritmo, entre el rojo y el azul, como si fuera un reloj químico. Una metáfora, un presagio del ciclo sueño-vigilia de los seres vivos.

Cuando hablamos del origen de la vida, es imprescindible mencionar a Oparin, Haldane, Miller y Urey, quienes plantearon las primeras teorías sobre el tema. Que, aunque debatibles, nos dan una idea de que la vida pudo haberse originado a partir de componentes abióticos; es decir, de materia no viva [4].



Estos autores plantearon que las principales moléculas orgánicas simples que constituyen los ladrillos básicos de los organismos vivos, las células, se formaron a partir de un medio gaseoso y líquido primitivo en la Tierra.

Miller y Urey demostraron que era posible obtener aminoácidos, los componentes básicos de las proteínas, mediante descargas eléctricas aplicadas a una mezcla de gases simples. Con ello, la frontera entre lo inerte y lo vivo se volvió difusa.

Sin embargo, estas teorías sobre el origen de la vida tienen sus oponentes, quienes sostienen que primero surgieron las moléculas de ácido ribonucleico (ARN), con la capacidad de replicarse y de proveer la información necesaria para la síntesis de proteínas. Hasta se ha propuesto que las moléculas necesarias para la vida pudieron haber llegado del espacio transportadas por meteoritos [5].

El ADN y el ARN son moléculas no vivas, pero su arquitectura explica con claridad el misterio de su replicación.

Estudios previos ya habían aclarado que el ADN está compuesto por bases nitrogenadas: adenina (A), timina (T), citocina (C) y guanina (G). Es interesante mencionar que Chargaff demostró que la cantidad de A siempre era igual a la de T y que la cantidad de C siempre era similar a la de G, por lo que se sugirió una organización de acople entre A y T y entre G y C. Estas propuestas de Chargaff fueron relevantes para que Franklin, Wilkins, Watson y Crick propusieran la organización de la doble hélice tal como la conocemos.

La cristalografía de rayos X es una técnica que utiliza la luz de rayos X para incidirla sobre una forma cristalina de la materia. Rosalind Franklin fue la primera en cristalizar el ADN y exponerlo a la luz de rayos X, con lo cual los átomos del cristal ordenado desviaron los rayos de luz, formando un patrón de difracción, lo que dio pistas sobre la estructura del ADN [6].

Pero ¿en qué consiste la cristalización? Es fácil visualizar la técnica si imaginamos cómo se forma un cristal a partir de sal de mesa, compuesta por moléculas de cloruro de sodio. De hecho, puedes hacer un cristal de cloruro de sodio mezclando un poco de agua con sal y dejando que la mezcla repose hasta que el agua se evapore por sí sola. Después de unas horas o días, podrás ver cómo se forman increíbles estructuras cristalinas que se “levantan” del recipiente y “dicen”: “¡aquí estoy!”

Venki, en su libro “La máquina genética” [7], nos explica de manera muy clara y amena cómo se pueden fabricar cristales de cualquier estructura proteica o de estructuras más complejas, que contienen ARN y proteínas, como los ribosomas. Una vez contruidos estos cristales, se hace incidir la luz de rayos X generada por un sincrotrón para inferir su estructura. Venki usó un sincrotrón, cuyo haz de rayos X es más intenso que el de los tubos convencionales que usó Rosalind Franklin, lo que le permitió alcanzar una resolución sin precedentes.

El sincrotrón emplea un acelerador de partículas para acelerar electrones a velocidades cercanas a la de la luz, que se mantienen en circulación en un anillo mediante potentes campos magnéticos. Cuando los electrones cambian su dirección, controlada por los imanes, emiten luz de rayos X de forma tangencial a su trayectoria en el anillo, como cuando haces girar una piedra ajustada en el extremo de una cuerda y esta escapa de forma tangencial.

Venki obtuvo el premio Nobel de química en el 2009



por sus descubrimientos sobre la estructura y la función de los ribosomas, encargados de la producción de proteínas, mediante variantes de estas técnicas de cristalografía de rayos X. Esto nos recuerda que muy a menudo el uso de la luz ha dado lugar a grandes descubrimientos, merecedores de muchos premios Nobel.

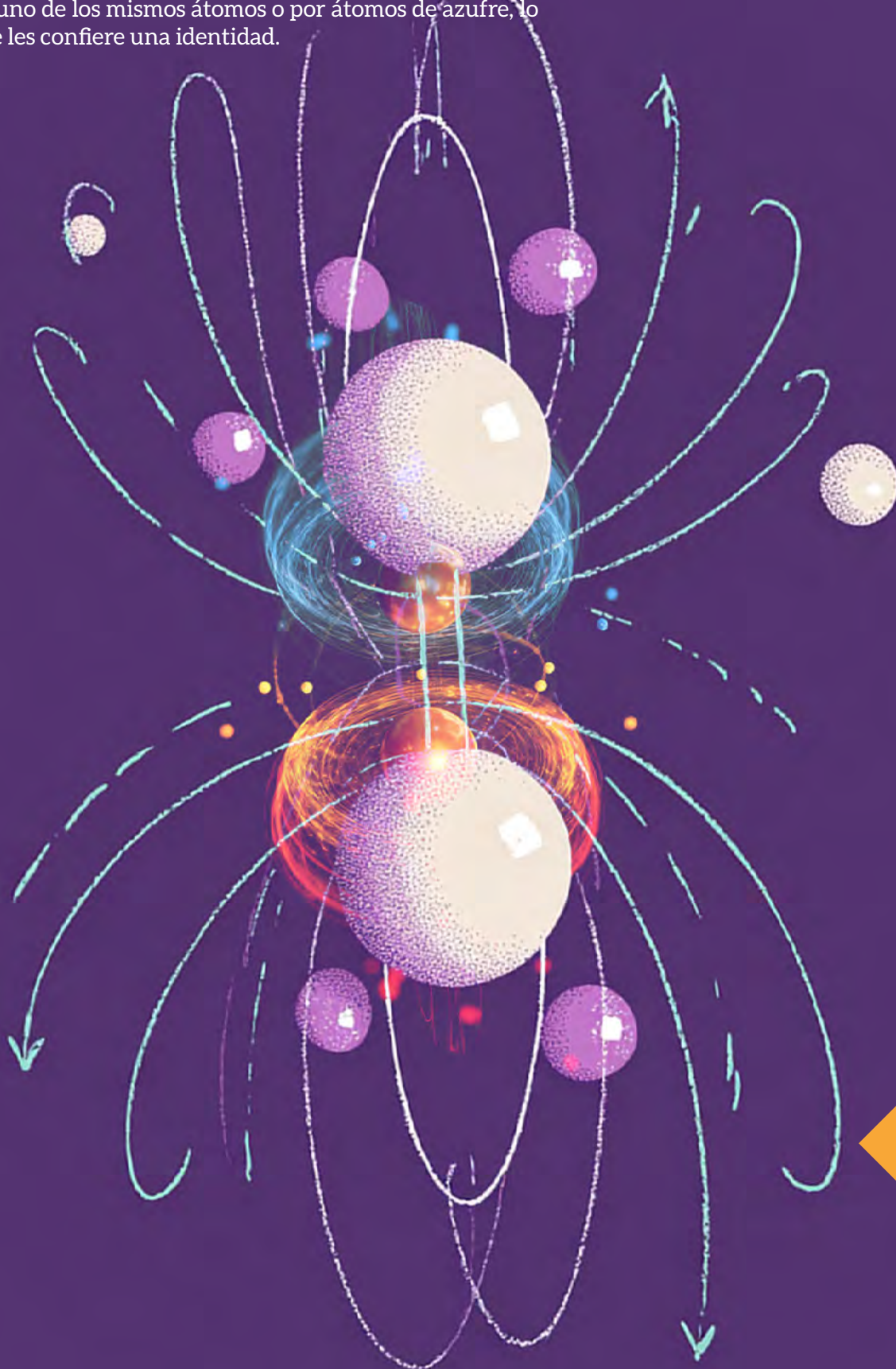
Volvamos al tema. El ADN se replica a través de su doble hélice, lo cual, junto con el ARN, puede ayudar a dar instrucciones para la síntesis de proteínas en las células. La secuencia lineal y específica de las bases nitrogenadas define la geometría del código genético. ¡Así vemos que una forma de *organización* de doble hélice de la materia es esencial para que la vida pueda emerger!

Antes de la fusión del ADN de las dos primeras células progenitoras de nuestra mamá y de nuestro papá, ya había materia organizada en el óvulo: cinco tipos de bases nitrogenadas, 20 tipos de aminoácidos y ribosomas.

Las bases nitrogenadas forman parte del ADN y del ARN, y los aminoácidos son los bloques que constituyen las proteínas. Los aminoácidos son compuestos moleculares que contienen un grupo amino, con átomos de nitrógeno e hidrógeno, y un grupo carboxilo, con átomos de carbono, oxígeno e hidrógeno. Estos también contienen una cadena lateral llamada grupo R formada por alguno de los mismos átomos o por átomos de azufre, lo que les confiere una identidad.

Es revelador que el ADN y el ARN también estén formados por esos átomos: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, además de por un tipo de azúcar, la desoxirribosa o la ribosa, y por el fósforo. Es sorprendente que, con tan pocos tipos de átomos en el ADN, el ARN y los aminoácidos, la maquinaria de la vida pueda funcionar. De su combinación surgen todas las proteínas que nos componen.

Aquí es indispensable hacer una pausa para explicar qué es una proteína, ya que muchas veces se minimiza su importancia y se cree que es solo un alimento que nutre, pero no solo eso: las proteínas se organizan en microtúbulos y microfilamentos que constituyen nuestros músculos.



Los huesos contienen colágeno, que aporta un armazón proteico a su estructura. La queratina y la elastina recubren nuestra piel; las opsinas captan la luz y nos permiten ver; los canales iónicos facilitan la comunicación entre neuronas. Y así podríamos continuar con una gran lista de proteínas que dan estructura a nuestro cuerpo y le permiten funcionar.

Pero lo más importante es que las proteínas están compuestas por aminoácidos. Estos se unen en largas cadenas con secuencias específicas que determinan la identidad y la estructura tridimensional de cada proteína.

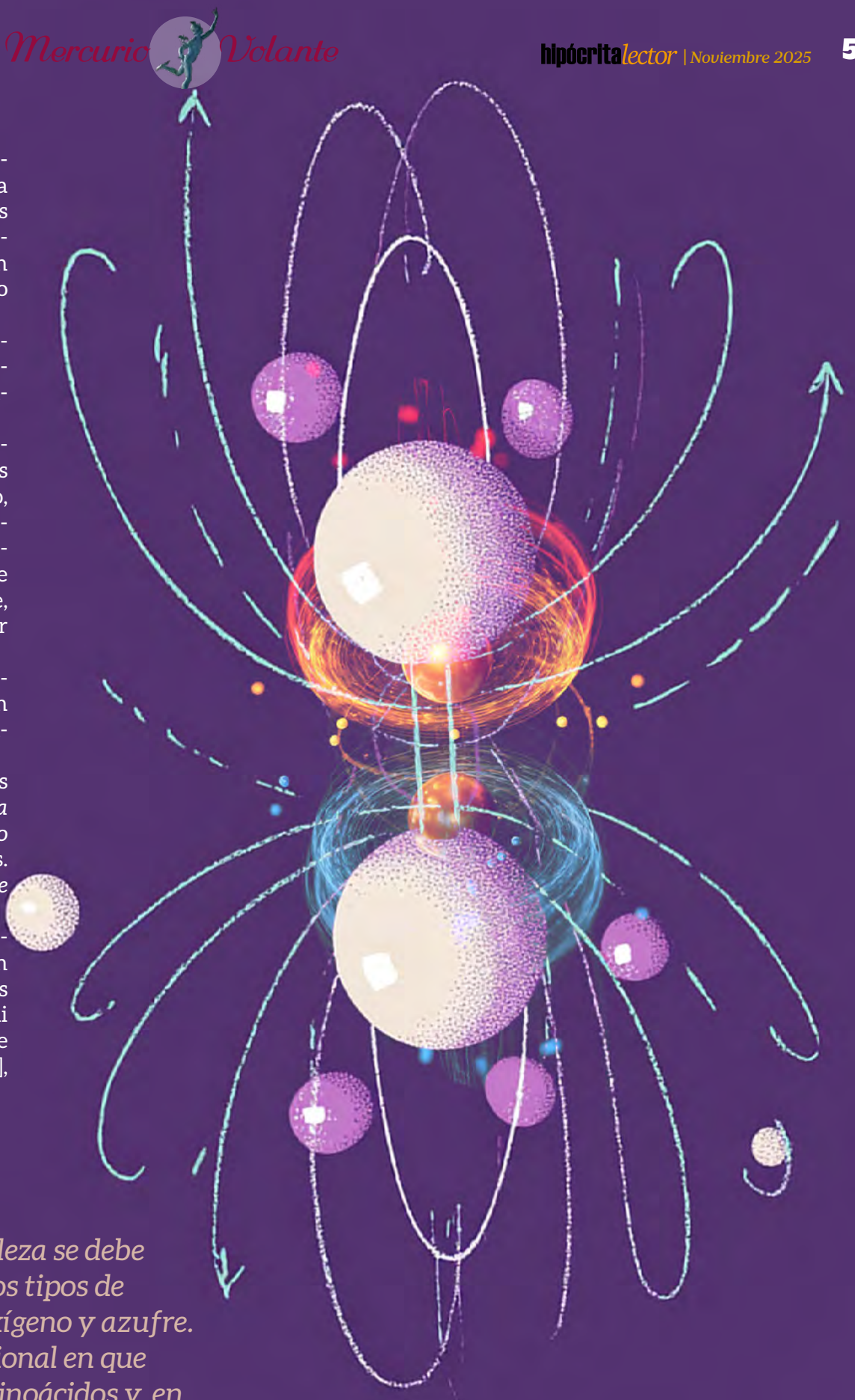
En resumen, la gran diversidad que vemos en la naturaleza se debe a la combinación estructural de unos pocos tipos de átomos: nitrógeno, hidrógeno, carbono, oxígeno y azufre. Eso quiere decir que es la forma tridimensional en que esos átomos se combinan para formar aminoácidos y, en consecuencia, proteínas, lo que genera la diversidad de la vida. ¡Es como en el lenguaje, donde un abecedario con pocas letras puede construir un mundo de palabras!

Somos un lenguaje de átomos organizados de manera particular. Somos "letras" organizadas, comunicación ancestral dictada por nuestro ADN, el ARN y la maquinaria productora de proteínas: los ribosomas.

Podemos intuir que la "organización" de la materia es la que produce la vida que conocemos *más que la propia existencia de sus componentes. Esto resulta claro cuando vemos que los átomos no son entes vivos por sí solos. ¿Entonces la vida es más un proceso de organización que de componentes?*

En este sentido, ¿Es posible que en el universo se formen otras bases de nucleótidos similares al ADN, en las que las instrucciones dictadas generen otros tipos de proteínas o constituyentes? Esta pregunta, que, a mi parecer, es bastante profunda, se la planteó el grupo de Steven Benner en el 2019, en un artículo en Science [8], y, con mayor precisión, en el 2025 [9].

la gran diversidad que vemos en la naturaleza se debe a la combinación estructural de unos pocos tipos de átomos: nitrógeno, hidrógeno, carbono, oxígeno y azufre. Eso quiere decir que es la forma tridimensional en que esos átomos se combinan para formar aminoácidos y, en consecuencia, proteínas, lo que genera la diversidad de la vida. ¡Es como en el lenguaje, donde un abecedario con pocas letras puede construir un mundo de palabras!



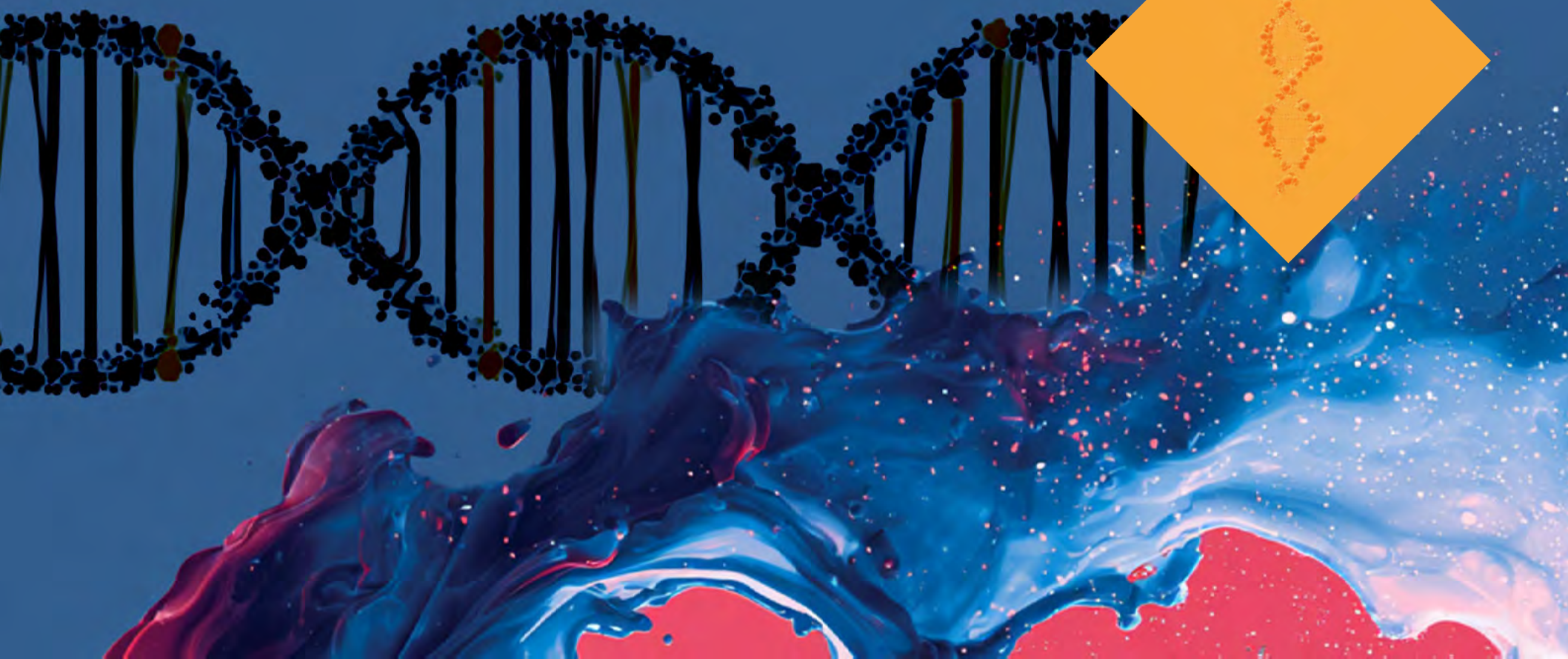
Para responder afirmativamente a esta pregunta, en 2019 Steven Benner y su equipo ampliaron el alfabeto genético de cuatro a ocho letras. Así nació el ADN *hachimoji*, ocho letras en japonés, que incluso permitió sintetizar su propio ARN. Además de las cuatro bases naturales (adenina (A), timina (T), guanina (G) y citosina (C)), incorporaron cuatro bases sintéticas nuevas, P, B, S y Z, que se enlazan en las formas P con Z y B con S [8].

En un estudio reciente del mismo grupo de Benner, publicado en la revista Nature en agosto de 2025, se demostró que los cuatro nucleótidos sintéticos: P, B, S y Z son suficientes para formar una doble hélice darwiniana por sí solos, por lo que los denominaron ADN ALIEN o antropogénico [9].

Es increíble que esta doble hélice de ADN ALIEN tenga la capacidad de replicarse y dar instrucciones para formar nuevas proteínas y, con ello, nuevas formas de vida, lo que plantea serios problemas éticos a los que tendremos que enfrentarnos, como ha ocurrido con el nacimiento de la inteligencia artificial.

¿Qué pasaría si la biología sintética se uniera a la inteligencia artificial para crear seres vivos con ADN ALIEN darwiniano? ¿Nos enfrentaríamos a una feroz lucha darwiniana como la de las especies que nos precedieron? Es escalofriante, ¿no crees?

Podemos imaginar que este avance tecnológico del ADN ALIEN, publicado en Nature hace apenas dos meses, constituye un gran avance conceptual sin precedentes. Plantea una nueva forma de entender la vida, mostrando que la "organización" es tan relevante como los componentes, lo que amplía la posibilidad de que la vida pueda existir en otras regiones del cosmos a partir de otros constructos atómicos.



Otra reflexión que podemos hacer es que, gracias al alfabeto del ADN, la naturaleza biológica nos habla en miles de dialectos en todo su esplendor. Desde las hierbas que desafían la sequía en las carreteras, los insectos y las aves que escuchamos al atardecer en los bosques, hasta el bullicio de los humanos en los mercados, todo manifiesta el gran impulso a vivir.

Esto nos recuerda que la materia inerte también manifiesta su gran impulso de existir, aunque no posea ADN. Veámoslo en la fuerza de los mares o en el ímpetu del sol y el viento. Me gusta imaginar que el impulso de adquirir una forma de “organización” es lo que define una dualidad de la materia: la que vive y la que solo existe.

Esta visión, en cierto modo, es similar a la filosofía de Schopenhauer, quien en su libro “El mundo como voluntad y representación” postula que el mundo que percibimos es una mera representación de una realidad regida por una “voluntad” de las leyes físicas naturales, irracional e insaciable que impulsa todo [10]. El impulso de la materia a vivir o a existir, del que hablo, podría explicarse, en parte, por esta filosofía.

Regresando al tema, hay una gran diversidad de formas de vida y, a final de cuentas, es el entrecruzamiento del ADN de las células progenitoras el que determina su supervivencia, como si la información que transportan tuviera la “voluntad” de persistir por siempre.

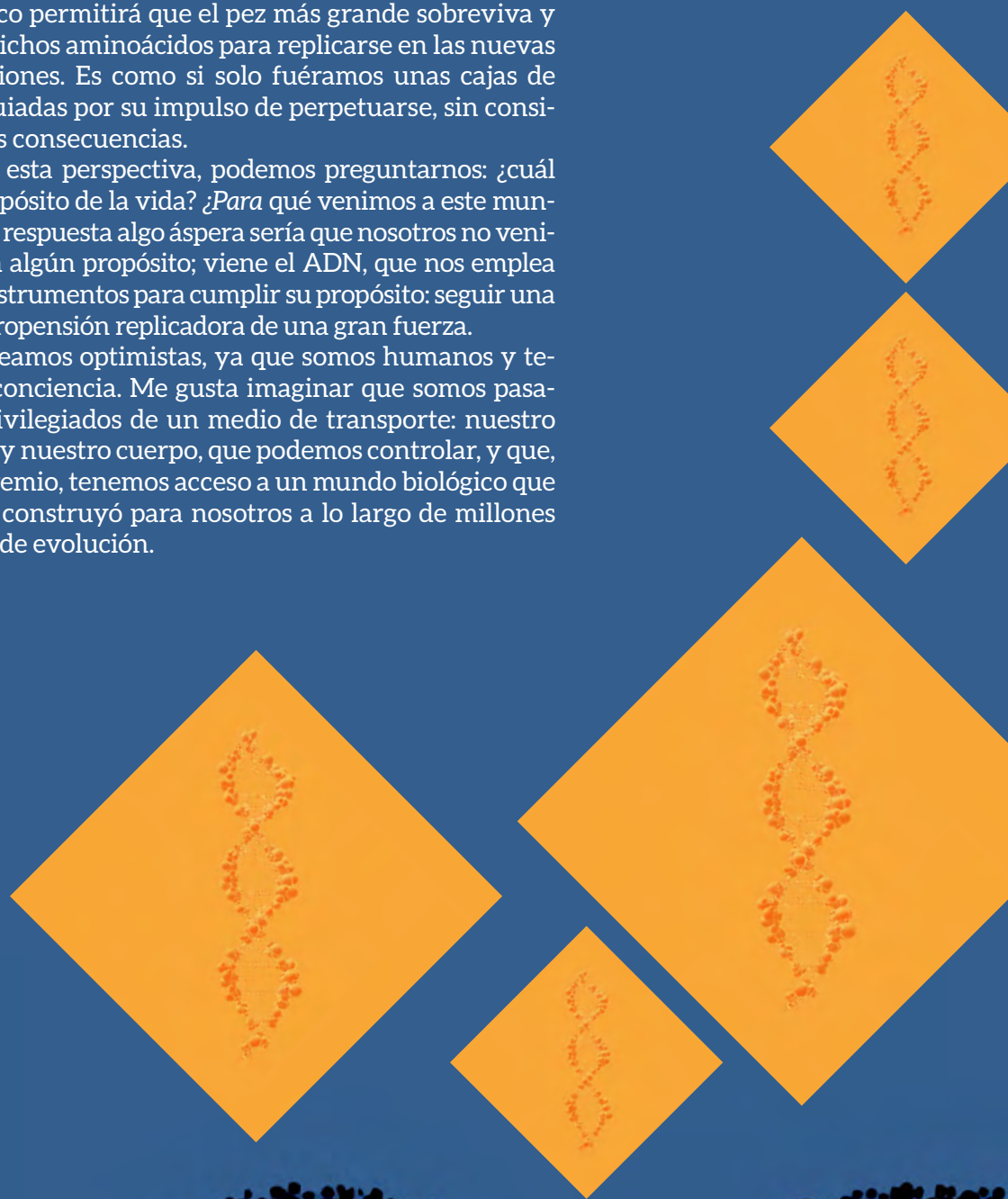
Otra reflexión que podemos hacer es que, gracias al alfabeto del ADN, la naturaleza biológica nos habla en miles de dialectos en todo su esplendor. Desde las hierbas que desafían la sequía en las carreteras, los insectos y las aves que escuchamos al atardecer en los bosques, hasta el bullicio de los humanos en los mercados, todo manifiesta el gran impulso a vivir.

Richard Dawkins, en su libro *El gen egoísta*, propone que el ADN “busca” su propia supervivencia y que los organismos son simples “máquinas” de replicación. El egoísmo del ADN es una metáfora que Dawkins usó para describir la tendencia del ADN a maximizar su propia supervivencia, asegurando la perpetuación de sus copias mediante la lucha darwiniana en la evolución [11].

La obtención de los 20 tipos de aminoácidos del pez más chico permitirá que el pez más grande sobreviva y utilice dichos aminoácidos para replicarse en las nuevas generaciones. Es como si solo fuéramos unas cajas de ADN, guiadas por su impulso de perpetuarse, sin considerar las consecuencias.

Desde esta perspectiva, podemos preguntarnos: ¿cuál es el propósito de la vida? ¿Para qué venimos a este mundo? Una respuesta algo áspera sería que nosotros no venimos con algún propósito; viene el ADN, que nos emplea como instrumentos para cumplir su propósito: seguir una ley de propensión replicadora de una gran fuerza.

Pero seamos optimistas, ya que somos humanos y tenemos conciencia. Me gusta imaginar que somos pasajeros privilegiados de un medio de transporte: nuestro cerebro y nuestro cuerpo, que podemos controlar, y que, como premio, tenemos acceso a un mundo biológico que el ADN construyó para nosotros a lo largo de millones de años de evolución.



Nuestra conciencia es el pasajero de primera clase que viaja en estructuras que el ADN le construyó. No importa que vivamos en un paréntesis muy breve respecto a la eternidad, en el que hay otras formas de organización de la materia, como la muerte misma.

¿Y por qué la muerte también es otra forma de organización de la materia? La respuesta es que, cuando morimos, comienza un proceso de descomposición de las células, impulsado por enzimas y bacterias; con el tiempo, las bacterias también mueren o se reproducen, y los átomos se reorganizan e integran en el ecosistema. Los componentes de nuestro cuerpo más resistentes a la desorganización, como el cráneo, resisten más tiempo. Y si las condiciones climáticas lo permiten, a veces pueden fosilizarse.

La fosilización es un proceso natural interesante, en el que los restos óseos del cráneo pueden preservarse en la corteza terrestre durante miles o millones de años. En este proceso hay una sustitución gradual de la materia orgánica original del hueso por minerales que se infiltran a través de sus poros, lo que hace que el hueso se vuelva más denso y resistente, aun cuando todo el hueso original se pierda.

Estas reflexiones me impulsan a escribir algo que refleja la visión de nuestra cultura mexicana sobre la vida y la muerte, así como su sincretismo:

Aliteración

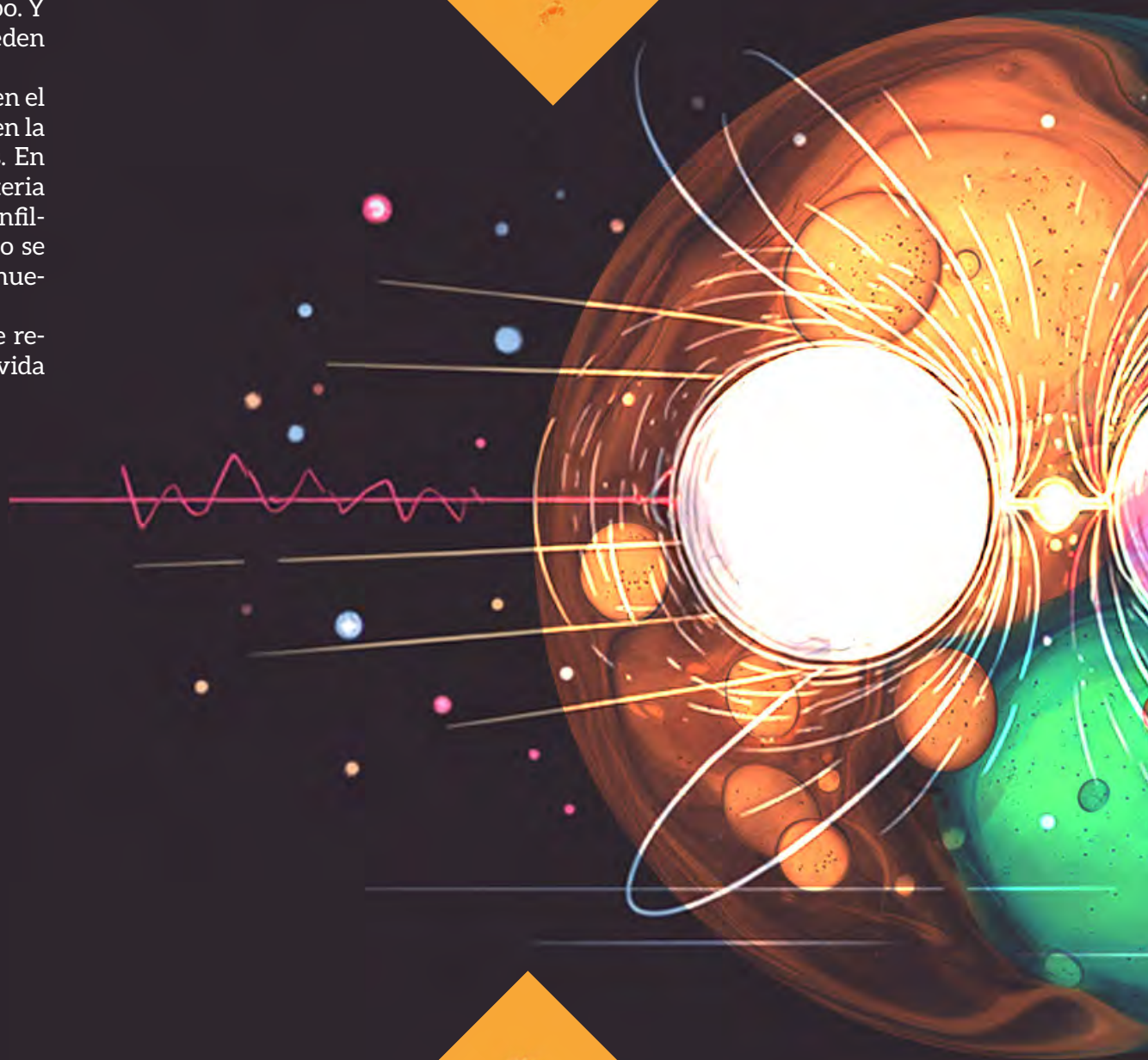
Como una aliteración
tu cielo óseo
quiso quedarse
para iluminar
el vacío que dejaste

Bóveda de tus pensamientos
eco de tus secretos más ocultos

Caverna en vigilia
a la espera de tu retorno
como un perro fiel
que espera a su amo
tras su partida

Terror de los ajenos
amiga del maíz
de color humilde
de color de roca

Materia que se erige como pirámide hueca
labrada por el sol
como piedra lunar
iluminada por el fuego de tu cultura



Después de todo, al morir, la materia, en forma de átomos, y la energía que se disipa permanecen como en una aliteración que resuena; no se desintegran, solo se transforman. Los átomos siguen en este mismo universo y en el recuerdo consciente y amoroso de los pasajeros de primera clase que aún no nos hemos ido, y que aún viajamos en esas estructuras que el ADN nos regaló. Así, de la química a la conciencia, todo se ordena en un mismo impulso: existir para comprender por qué vivimos.



ELÍAS MANJARREZ

Profesor investigador titular, responsable del laboratorio de Neurofisiología Integrativa del Instituto de Fisiología, BUAP. Es físico de formación, con maestría en fisiología y doctorado en neurociencias. Obtuvo su doctorado en el departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav.

Sus líneas de investigación están enfocadas a entender propiedades emergentes de ensambles neuronales en animales y humanos. Es pionero en el estudio de la resonancia estocástica interna en el cerebro, la propagación de ondas en ensambles neuronales espinales, la hemodinámica funcional de las emociones, así como de los mecanismos neuronales de la estimulación eléctrica transcraneal. Recibió el Premio Estatal de Ciencia y Tecnología del CONCYTEP y ha recibido el premio Cátedra Marcos Moshinsky. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 3.



REFERENCIAS:

- [1] Ramakrishnan, V. (2024). Why We Die: The New Science of Aging and the Quest for Immortality. William Morrow, HarperCollins Publishers.
- [2] https://viep.buap.mx/divulgacion/sites/default/files/Documentos/Conferencias/Venki_Ramakrishnan-porque_morimos.pdf
- [3] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1977/prigogine/facts/>
- [4] <https://www.britannica.com/science/Oparin-Haldane-theory>
- [5] <https://www.nature.com/articles/s41467-022-29612-x>
- [6] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37100935/>
- [7] Ramakrishnan, V. (2020) La máquina genética. Editorial Grano de Sal. ISBN-13: 978-6079899448
- [8] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30792304/>
- [9] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40770181/>
- [10] Schopenhauer, A. (1819) El mundo como voluntad y representación. Madrid, Fondo de Cultura Económica (2 tomos): Traducción de R. Aramayo (2000).
- [11] <https://durmonski.com/book-summaries/the-selfish-gene/>

LOS LINDEROS DE LA VIDA

GERARDO HERRERA CORRAL

Temperaturas muy altas, intensas presiones, excesiva alcalinidad o acidez, bajas concentraciones de oxígeno o nutrientes, ambientes gélidos, salinidad desmesurada o altos niveles de radiación, son características extremas que limitan la proliferación de la vida. Pero, ¿qué tanto?

Solemos pensar que la vida prospera en medios óxicos, a temperaturas medias, con baja salinidad, pH neutro, y presiones bajas. Esta visión humana de la medianía como hospitalaria para la vida no es compartida por otros organismos que han colonizado regiones inimaginables, oscuras profundidades, y ambientes extremos.

Bacterias, arqueas y virus pueden prosperar en condiciones remotas.

Las frías regiones polares, la profundidad insondable de los mares, el lodo ardiente de los volcanes, áridos desiertos y lagos ácidos; son hostiles a la vida, pero, contra toda expectativa y en un despliegue que desafía la lógica, se han encontrado ahí bacterias que viven en plácida armonía con el medio. Hay vida a temperaturas por debajo de los 4 °C y por arriba de los 100 °C. Existen arqueas que crecen en PH tan altos como el de los productos desinfectantes, o tan bajos, como el de los ácidos.

Podemos delinear los límites para la vida definiendo la región donde prospera y de esa manera circunscribir también la región de lo inerte, exánime e inorgánico.

La bacteria *Polaromonas vacuolata* se adapta a temperaturas cercanas a los cero grados Celsius, mientras que

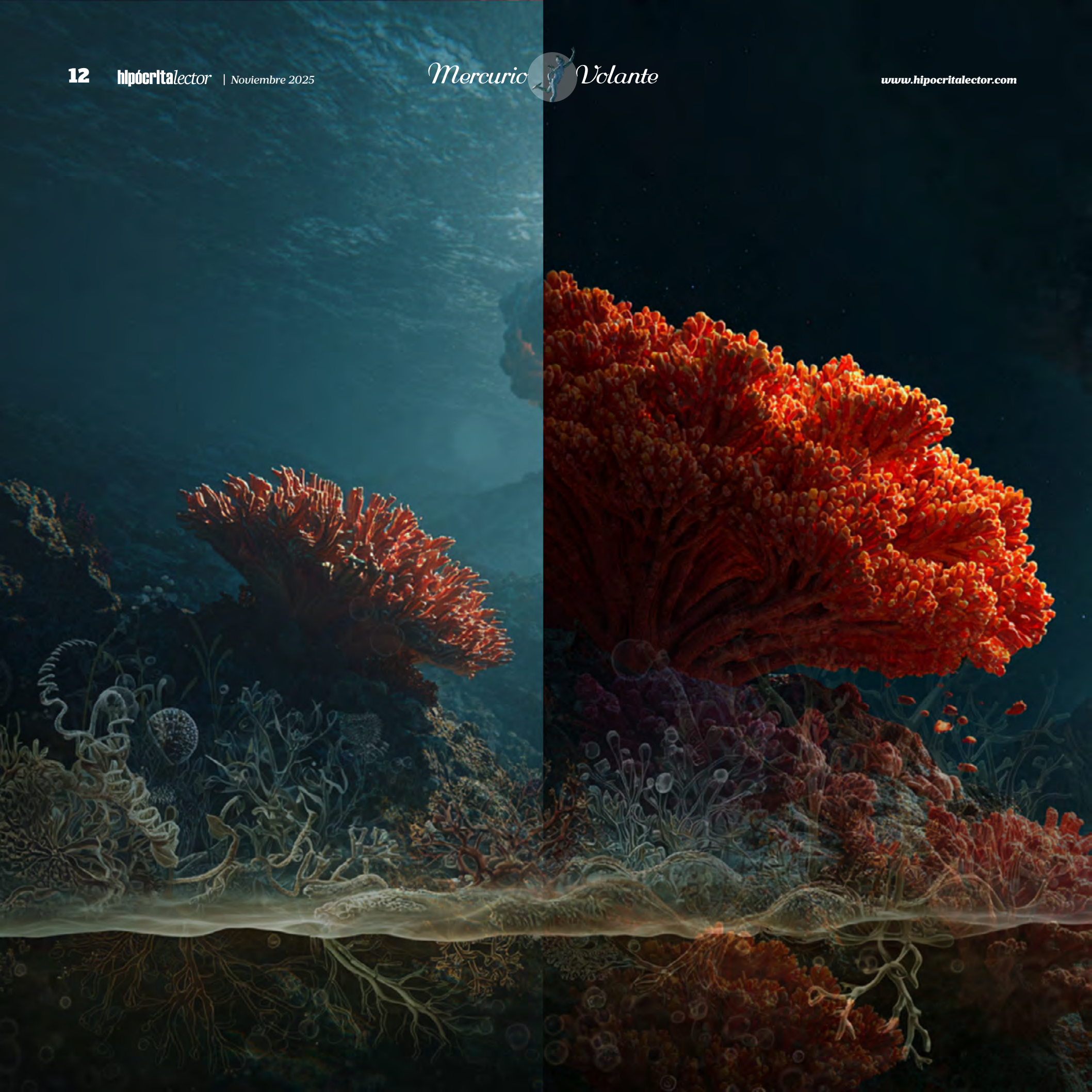
Pyrolobus fumarii, una arquea, soporta más de 110 grados Celsius. La arquea *Halobacterium salinarum* habita medios cercanos al punto de saturación de cloruro de sodio; y la bacteria *Deinococcus radiodurans* sobrevive a dosis de 5 mil grays de radiación, 500 veces mayor a las dosis que los seres humanos podemos sobrevivir. En fechas más recientes se ha encontrado una arquea llamada *Thermococcus gammatolerans* en una chimenea hidrotermal submarina de Guaymas, Sonora, México; esta resiste 30 mil grays de radiación gamma y dosis instantáneas de hasta 5 mil grays, sin que pierda ninguna de sus capacidades.

Para los extremófilos "lo normal es cosa del pasado; lo realmente «inn», lo del momento, son los extremos". Y aunque a algunos se los puede tachar de especializados, no todos ellos son estrechos en sus habilidades

para habitar un ambiente determinado. Los hay poli-extremófilos, como la arquea *Sulfolobus acidocaldarius*, que habita ambientes con PH de 3 y temperaturas de 80 grados Celsius. Se la encontró en un geiser del Parque Nacional de Yellowstone, en los Estados Unidos.

Desiertos con extrema sequedad, como el desierto de Atacama en Chile, que es uno de los más antiguos, secos y calientes del planeta, o los valles de la Antártida, el lugar más seco y frío, están habitados por cianobacterias, hongos y algas que viven a milímetros de profundidad bajo la superficie. Se han adaptado a los largos periodos de oscuridad, condiciones de resequead que solo hace pausas en breves momentos, cuando la nieve se derrite un poco antes de congelarse de nuevo y dejar el medio en total ausencia de agua asimilable.





Sin embargo, y aunque las fronteras parecen ser negociables, la vida existe en un territorio con linderos de temperatura, humedad, salinidad, acidez, radiación, oxidación, etc. Definir la vida es, de alguna manera, definir ese vallado de condiciones. Al final, ¿será, quizá, la destrucción misma de los componentes lo que determina qué es posible y qué no? ¿Será lo que disocia a una molécula?, ¿lo que diluye y difumina, lo que funde o paraliza? Se trata de desnaturalización a altas temperaturas o cristalización a bajas, procesos físicos, mecanismos moleculares y atómicos: ¿Es la física en el mundo microscópico lo que determina donde comienza la muerte de un organismo?

Hoy sabemos que el planeta Marte es frío. Recibe 43 por ciento más de radiación de la que recibimos nosotros en la Tierra porque no cuenta con la atenuación que nos brinda la atmósfera. La presión allí es de solo 0.6 por ciento la que tenemos en nuestro planeta, por lo que el agua líquida es inestable. Con todo y esto, la posibilidad de vida tiene un área de oportunidad en el subsuelo marciano. Los especialistas consideran que algunos organismos terrestres podrían resistir las condiciones del planeta rojo si les brindamos un poco de protección. Se ha mencionado a las esporas de *Bacillus subtilis*, que podrían sobrevivir por semanas y hasta años bajo una capa de polvo de 10 micrómetros de espesor.



La luna de Júpiter, Europa, se ha ganado la fama de ser hospitalaria para la vida. Océanos por debajo de gruesas capas de hielo han estimulado la imaginación de los astrobiólogos, pues consideran la posibilidad de actividad biológica en ese medio.

El estudio de los extremófilos es el estudio de la región habitable. Conocer la extensión del terreno fértil nos permite explorar el origen de la vida en el nuestro y en otros planetas. La investigación de los mecanismos que la naturaleza ha creado, propiciando vida, nos invita a pensar en aplicaciones, imaginar soluciones a padecimientos, considerar estrategias de conservación del medio ambiente, enriquecer nuestra visión de la biodiversidad, pero, sobre todo, a definir lo que es vida, sus alcances y su cercana vecindad con la muerte.

***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).



Mecanoquímica:

La solución sustentable para la síntesis química sin disolventes

CARLOS NARANJO CASTAÑEDA
EUSEBIO JUARISTI

La química es una ciencia cuya relevancia es evidente en muchos aspectos primordiales de nuestra vida diaria, constituyendo, por ejemplo, la base de los principios activos en los medicamentos que alivian las enfermedades que nos afectan, o bien dando lugar a las propiedades antisépticas y bactericidas presentes en los productos de limpieza que hacen posible mantener un hogar limpio y seguro.

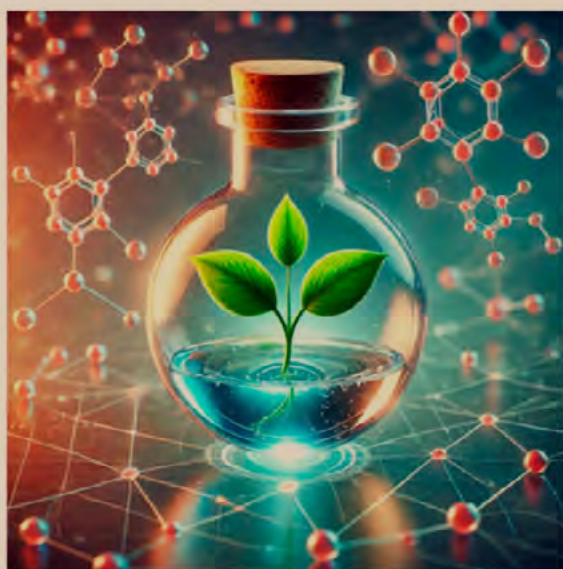
Gracias a la química es posible mejorar el mundo que nos rodea. Sin embargo, cabe señalar que para producir los fármacos, los componentes activos en los artículos de aseo, suplementos alimenticios, fertilizantes y otras muchas sustancias útiles, la industria química ha dependido durante mucho tiempo de las técnicas tradicionales de síntesis, que utilizan disolventes en los que se llevan a cabo las reacciones que dan lugar a la formación de los productos químicos de interés. En efecto, un líder de opinión icónico, que fue el sabio griego Aristóteles (384-322 a.C.), sostuvo la idea de que una transformación química procede solo cuando se realiza en un disolvente como medio de reacción. Como consecuencia de esta advertencia, prácticamente la totalidad de las reacciones químicas, tanto en laboratorios académicos como

en plantas industriales, se han llevado a cabo al paso de los siglos en presencia de algún disolvente, es decir, en solución.

Sin embargo, durante las últimas décadas se ha hecho evidente que la mayoría de los disolventes, con excepción del agua, implican un cierto riesgo para nuestra salud y para el medio ambiente. Efectivamente, el uso de algunos disolventes puede tener consecuencias dañinas para nuestra salud. Sustancias como el benceno, que ha sido identificado como un carcinógeno en humanos, el cloroformo, que puede afectar el hígado y los riñones y el diclorometano, que puede provocar problemas respiratorios y neurológicos, son solo algunos ejemplos de los peligros que conlleva la exposición prolongada a algunos disolventes.

Oportunamente, durante las últimas tres décadas ha emergido la llamada “química verde”, que es una estrategia que busca eliminar o por lo menos minimizar el empleo de sustancias tóxicas o peligrosas en el diseño y desarrollo de procesos químicos. Los pioneros en el desarrollo de la química verde son Paul Anastas y John Warner, quienes en la última década del siglo XX propusieron 12 lineamientos (principios) a seguir durante la implementación de reacciones químicas (Figura 1).

1. Prevención de la generación de residuos
2. Economía atómica
3. Síntesis químicas menos tóxicas
4. Diseño de productos químicos seguros
5. Empleo de disolventes seguros
6. Disminución del consumo energético



7. Uso de materias primas renovables
8. Minimizar el empleo de sustancias auxiliares como son los disolventes.
9. Uso de procesos catalíticos
10. Diseño de productos que sean degradables
11. Análisis de contaminantes en tiempo real
12. Minimización de riesgos

Figura 1. Los 12 principios de la Química Verde.



La *mecanoquímica* es una metodología que se alinea con los principios de la química verde, ofreciendo una alternativa más sustentable y eficiente para llevar a la práctica transformaciones químicas de manera limpia y sostenible, tanto en el medio académico como en la industria química.

Pero... ¿Qué es la mecanoquímica?

Es la rama de la química que estudia las reacciones que proceden mediante *activación mecánica*, complementando así aquellas reacciones que son activadas mediante el calor (activación térmica) o la luz (activación fotoquímica). La característica más relevante de la mecanoquímica desde el punto de vista de la química sustentable es que en una reacción química induce la activación de las moléculas reaccionantes para desencadenar las reacciones de interés sin la necesidad de utilizar disolventes o en todo caso, empleando una cantidad mínima de ellos. La energía mecánica proviene de fenómenos físicos, como son la fricción y el golpeteo entre sustratos sólidos presentes en el reactor. De esta manera, la mecanoquímica puede ser aprovechada convenientemente para promover reacciones químicas de manera eficiente, reduciendo el costo económico y evitando el potencial daño ecológico asociado con las reacciones que proceden en solución, ya que se evitan los procesos de recuperación de los disolventes utilizados.

Para llevar a cabo reacciones mecanoquímicas, generalmente se utiliza un reactor provisto con balines hechos de diferentes materiales. La mezcla de reacción se agita a alta velocidad de modo que el golpeteo resultante genera la energía requerida para promover la reacción deseada. La dureza de los balines repercute en la cantidad de energía mecánica que se administra a los sustratos químicos, que son las sustancias que reaccionan para dar nuevos compuestos químicos. Como resultado del proceso de molienda, los materiales en el interior del reactor se fragmentan dando lugar a partículas más pequeñas, lo que se traduce en un aumento en la superficie de contacto entre las moléculas que constituyen los sólidos reaccionantes, lo que incrementa la velocidad de la reacción.



Año 310 a.C.

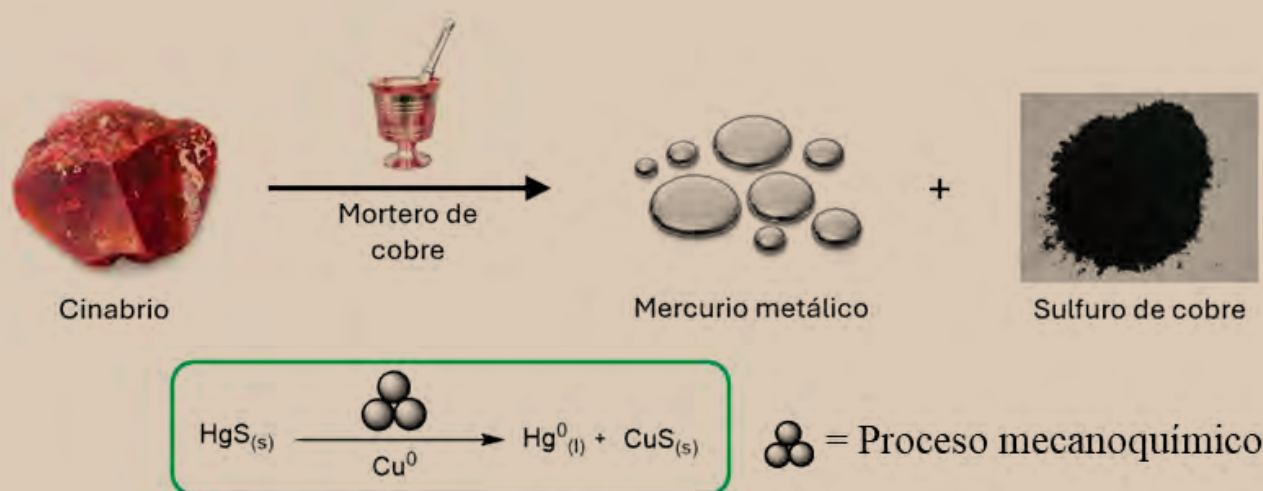


Figura 2. La maceración del cinabrio sólido en un recipiente de cobre da lugar a la formación de mercurio metálico sin la necesidad de utilizar algún disolvente como medio de reacción.

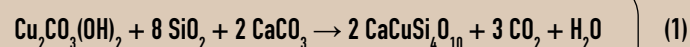
¿Es realmente factible evitar el uso de disolventes en los procesos químicos?

Como consecuencia de lo expresado por Aristóteles, en el sentido de que cualquier transformación de la estructura de las moléculas requiere de un disolvente como medio de reacción, durante mucho tiempo se aceptó como un dogma la idea de que los disolventes son imprescindibles para que una reacción química ocurra. Sin embargo, el desarrollo histórico de la química habría de mostrar que éste no siempre es el caso. Por ejemplo, cuando se frotan dos palos entre sí, se genera suficiente calor para dar lugar al proceso de la combustión. Esta antigua observación muestra que la energía mecánica puede ser utilizada para promover reacciones químicas sin la necesidad de emplear disolventes como medio de reacción.

La historia ha registrado otros ejemplos donde la mecanoquímica claramente entra en acción. Como ya se mencionó arriba, en la antigüedad Aristóteles sostuvo que “ninguna reacción procede en ausencia de disolvente”; sin embargo, su discípulo Teofrasto de Ereso en su obra “Sobre las piedras” (310 a.C.) presenta observaciones que contradicen dicha aseveración. En particular, describe una transformación química sorprendente: al macerar el mineral cinabrio (sulfuro de mercurio,

HgS) en un mortero de cobre, aparecen pequeñas gotas de mercurio metálico (“plata líquida”, como era llamado en la antigüedad). ¡La simple molienda de cinabrio sólido en contacto con el metal cobre permite generar el mercurio y sulfuro de cobre sin necesidad de utilizar disolventes! (Figura 2).

De manera similar, los antiguos habitantes de Egipto aprendieron a producir pigmentos como el llamado “azul egipcio” (cuya fórmula química corresponde al tetrasilicato de calcio y cobre, $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$), mediante la molienda de los minerales precursores. (Ecuación 1).



Estos descubrimientos demostraron que por lo menos en algunos casos, las reacciones químicas pueden ocurrir sin la intervención de disolventes líquidos.

En la química moderna, la mecanoquímica es una técnica de gran relevancia en la síntesis de compuestos valiosos, como son los fármacos, los agroquímicos y los materiales avanzados, permitiendo la obtención de estos productos de manera eficiente y sustentable.

Materiales de molienda

Un aspecto clave para optimizar los procesos mecanoquímicos consiste en comprender la manera en que proceden las reacciones químicas bajo condiciones de molienda. En este contexto, actualmente existe una amplia gama de molinos que permiten realizar reacciones químicas a diferentes escalas, desde procedimientos analíticos hasta la escala de planta piloto y de producción industrial. Estos equipos incluyen desde el tradicional mortero y pistilo hasta molinos “de bolas” vibratorios, molinos planetarios y tornillos de extrusión que funcionan mediante procesos de flujo continuo (Figura 3).

Algunos equipos de molienda incorporan accesorios para el control de la temperatura interna en el reactor, así como monitoreo de la reacción *in situ*; es decir, facilitan la observación de la reacción que se encuentra en curso, lo que hace posible el seguimiento del proceso al paso del tiempo, así como la identificación de posibles intermediarios o productos laterales. Al comprender adecuadamente cómo proceden las reacciones químicas bajo condiciones de molienda, los investigadores pueden optimizar los parámetros del proceso, como son la velocidad de molienda, la temperatura interna de reacción y la proporción ideal entre los reactivos, para mejorar la eficiencia y la selectividad de la reacción.

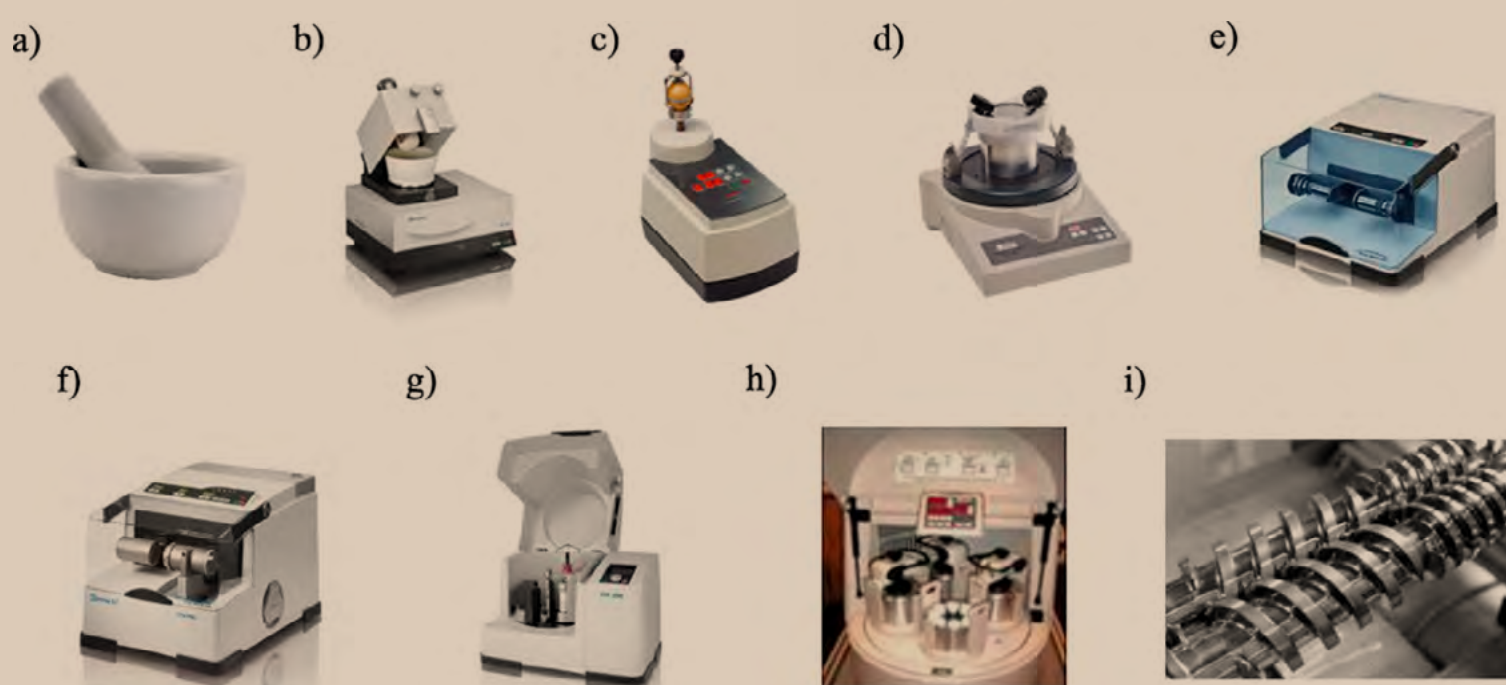


Figura 3. Equipos de molienda más comunes. a) Mortero y pistilo. b) Mini mortero automático (Retsch). c) Mini molino vibratorio vertical (Fritsch). d) Micro molino vibratorio (Fritsch). e) Molino vibratorio de bolas (Retsch). f) Molino vibratorio de bolas con control de temperatura (Retsch, Cryomill). g) Molino planetario de bolas (Retsch). h) Molino con multimuestreador (Automaxion). i) Tornillo gemelo de uso en procesos mecanoquímicos en flujo continuo. Reproducido con permiso de la American Chemical Society (ACS Sustainable Chem. Eng. 2020, 8, 8881).

¿Cómo influye el material del que están hechos los reactores y balines en el resultado de las reacciones mecanoquímicas?

Cuando se realizan reacciones mediante mecanoquímica, se utilizan reactores y balines fabricados con diferentes materiales. En este sentido, se ha encontrado que el material de que están hechos los reactores y balines también juega un papel importante en el desarrollo de las reacciones mecanoquímicas. Estos materiales pueden ser muy duros, como el ágata o el acero inoxidable, o más suaves, como el teflón o el policarbonato. La dureza de estos materiales es importante porque determina cuánta fuerza es necesario aplicar de manera efectiva a las sustancias que se están moliendo y mezclando para inducir la reacción sólido-sólido deseada.





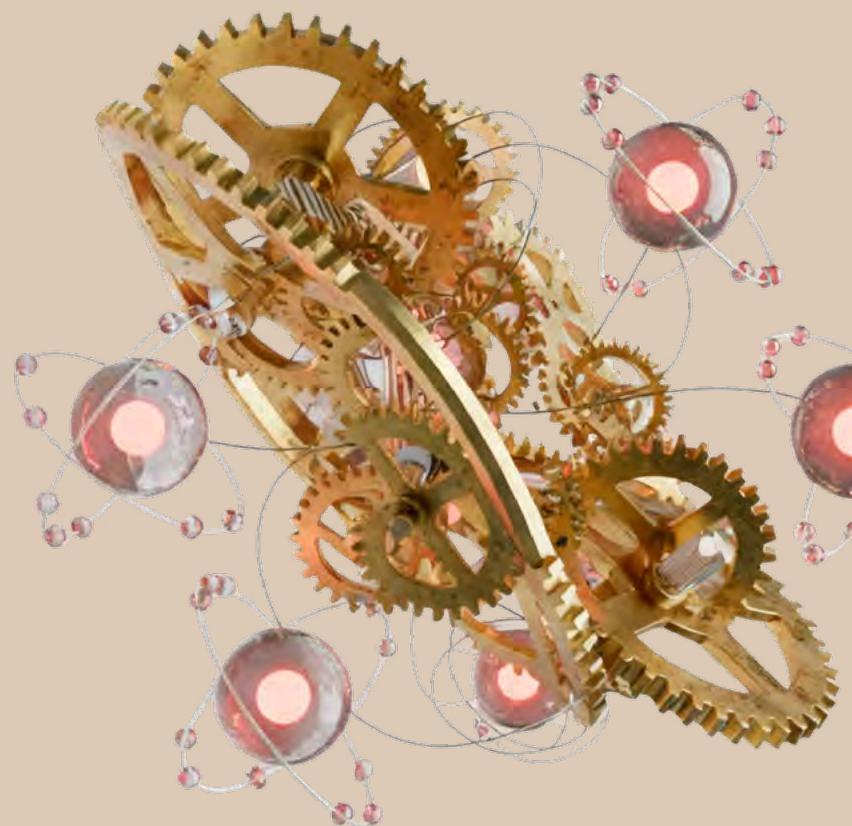
- Amplia variedad de sustratos tipo amida
- Procedimiento simple y libre de disolventes
- Con posibilidad de escalamiento

Esquema 1. Síntesis mecanoquímica del segmento de tioamida con el reactivo de Lawesson.

En un estudio representativo, realizado en nuestro grupo de investigación se encontró que la elección del material de los reactores y balines puede ser un factor clave en la eficiencia de las reacciones mecanoquímicas de tionación de amidas (Esquema 1). El uso de materiales suaves como el teflón puede ser beneficioso puesto que, a diferencia de otros materiales duros como el acero inoxidable o el ágata, que simplemente provocan la fragmentación de las partículas en trozos más pequeños del sólido inicial, los materiales suaves crean pequeñas imperfecciones en las sustancias que se están moliendo, lo que permite que se formen nuevas estructuras polimórficas que promueven las reacciones químicas de manera más eficaz.

Estos defectos o imperfecciones en la estructura cristalina funcionan como sitios activos, permitiendo que las reacciones químicas procedan en dichos defectos estructurales generados por la molienda, en lugar de involucrar un ordenamiento poco reactivo de la red cristalina en el sustrato sólido.

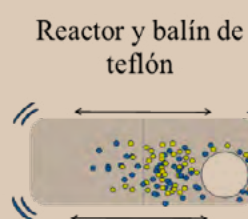
El monitoreo *in situ* de la reacción de tionación mostró que la elección del material de los reactores y balines es un parámetro importante a considerar en el diseño de reacciones mecanoquímicas (Figura 4).



Estado inicial



- Estabilidad de la red cristalina
- Tamaño uniforme



La molienda mecánica activa la reactividad de un sólido al introducir defectos estructurales.

Sustrato en el punto crítico de molienda



Fisuras disruptivas

- Amorfización
- Variación en el tamaño de partícula
- Potencialmente reactivo

Figura 4. Defectos en la estructura sólida en el estado inicial y el punto crítico de molienda.

“Aditivos lubricantes”

En algunas ocasiones, es conveniente agregar a la mezcla de reacción con los sustratos sólidos una cantidad mínima de algún disolvente que actúe como “agente lubricante” de la molienda (LAG, por sus siglas en inglés: Liquid Assisted Grinding). Esto puede mejorar la eficiencia de la molienda y reducir la energía necesaria para lograr la reacción deseada. Los criterios para la elección de dicho aditivo de molienda cumplen también con los principios de la química verde (ver arriba), de modo que se seleccionan aquellos disolventes de mínima o nula toxicidad, que sean biodegradables y no generen residuos peligrosos. De esta manera, se reduce el impacto ambiental de la reacción, con lo que se consigue que el proceso sea más sustentable.

Aplicaciones de la mecanoquímica

La mecanoquímica es una técnica innovadora que actualmente está incidiendo en la manera como se realiza la síntesis de compuestos orgánicos, inorgánicos y poliméricos, entre otros. Como hemos discutido, al utilizar la molienda para realizar reacciones químicas, se reduce o elimina completamente la cantidad de disolventes utilizados en la transformación química de interés. De hecho, una ventaja de la mecanoquímica es que hace posible el manejo y transformación química de compuestos que son *insolubles* en los disolventes tradicionales.

La mecanoquímica es especialmente útil en la implementación de metodologías estereoselectivas, como son la *organocatálisis asimétrica* y la *mecanoenzimología*.

Organocatálisis asimétrica

La organocatálisis es una metodología de síntesis “biomimética” (es decir, que emula a la Naturaleza) en la que se emplean moléculas orgánicas como catalizadores, acelerando las reacciones químicas de manera eficiente y selectiva sin ser consumidas en el proceso. Este desarrollo fue reconocido con el otorgamiento del Premio Nobel de Química 2021 a Benjamin List y David MacMillan. La organocatálisis asimétrica utiliza pequeñas moléculas orgánicas *quirales* como son los aminoácidos naturales en la síntesis enantioselectiva de compuestos

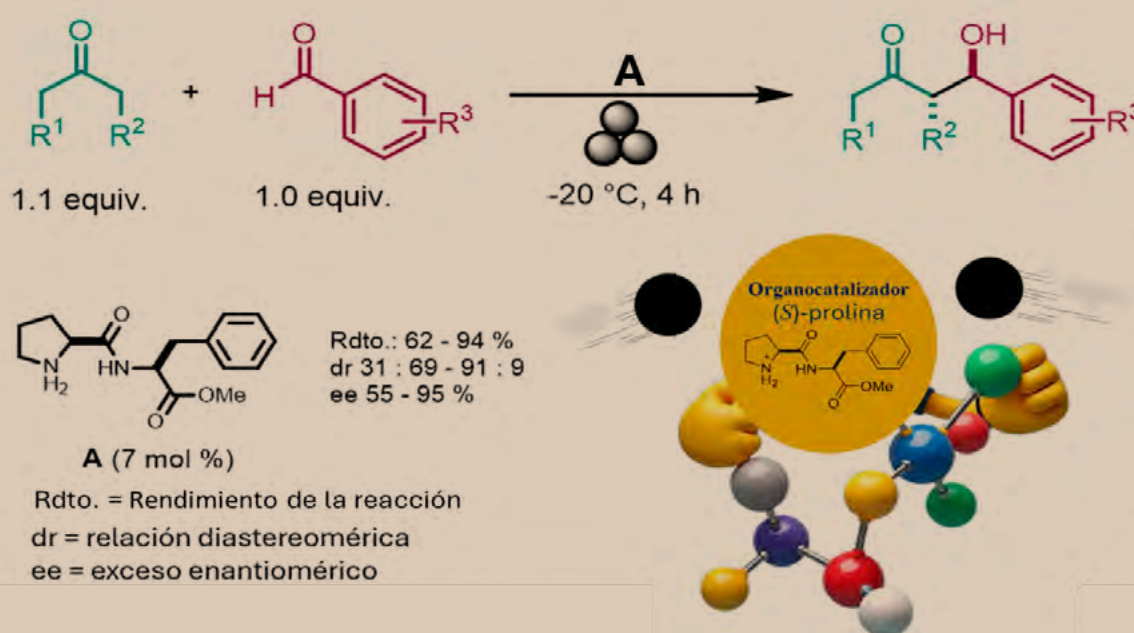


Figura 5. Reacción aldólica asimétrica, mostrando que el organocatalizador dirige la reacción del sustrato hacia un producto quiral de manera estereoselectiva

asimétricos, que son moléculas con propiedades únicas para la industria farmacéutica. [Si deseas conocer más sobre este tema, te invitamos a revisar el número 42 de *Mercurio Volante* “Quiralidad en la Química Farmacéutica: el factor molecular que puede salvar o destruir vidas”].

En este contexto, nuestro grupo de investigación ha estado a la vanguardia en el estudio de reacciones que combinan la organocatálisis asimétrica con la activación mecanoquímica. En especial, se ha explorado el potencial de aminoácidos como la (*S*)-prolina y sus derivados. Un ejemplo destacado es el uso de dipéptidos conteniendo (*S*)-prolina como organocatalizadores en la reacción aldólica asimétrica bajo condiciones de molienda (Figura 5).

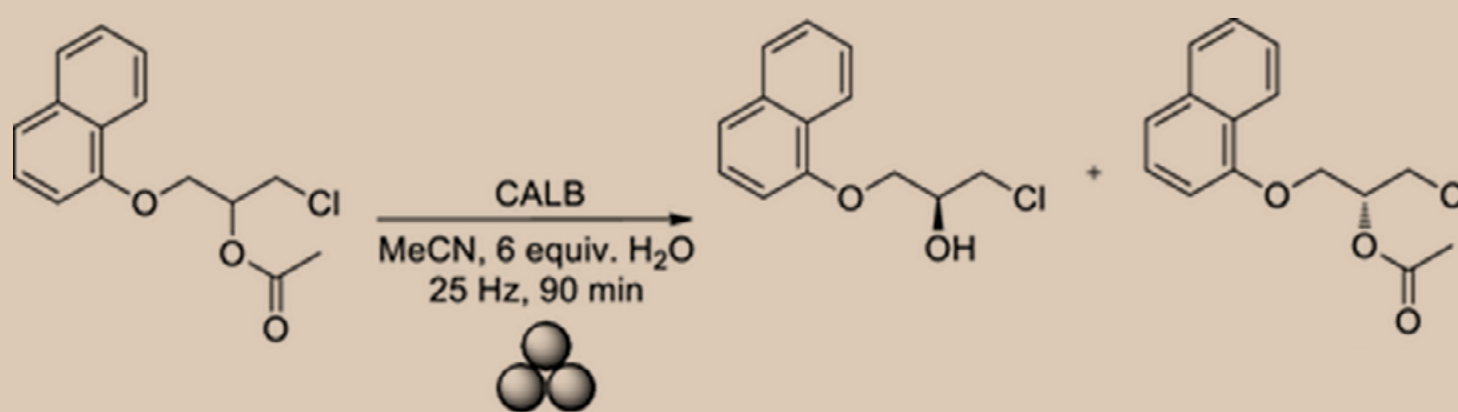


Figura 6. Resolución mecanoenzimática de los precursores del metoprolol vía hidrólisis enantioselectiva.

Mecanoenzimología

Recientemente, la combinación de la catálisis enzimática y la activación mecanoquímica ha dado lugar a un avance significativo en la química sustentable: la *mecanoenzimología*. Las enzimas, conocidas por su capacidad para promover reacciones químicas con altos rendimientos y excelente estereoselectividad, son ideales para su aplicación en la síntesis enantioselectiva de moléculas quirales. Efectivamente, biodegradabilidad y disponibilidad comercial las convierten en una opción atractiva para la síntesis sustentable.

Al emplear enzimas en procesos químicos en ausencia de disolventes, se satisfacen varios principios de la Química Verde, lo que hace de la mecanoenzimología una herramienta poderosa para la síntesis sustentable. En este contexto, una de las enzimas más utilizadas en la industria farmacéutica es la lipasa B de *Candida antarctica* (CALB). En nuestro laboratorio, se ha aprovechado las propiedades de esta enzima para *resolver* mezclas racémicas; es decir, para separar mezclas racémicas en los enantiómeros individuales.

Un ejemplo ilustrativo de la aplicación de la mecanoenzimología se refiere a la preparación de ambos enantiómeros del propranolol, un medicamento quiral muy efectivo para el tratamiento de la hipertensión arterial. Dado que solo uno de los enantiómeros es terapéuticamente efectivo, la separación de los enantiómeros es fundamental para la producción comercial del fármaco (Figura 6).



El futuro de la mecanoquímica

La mecanoquímica es un campo en pleno desarrollo que ofrece enfoques innovadores para la síntesis química, el procesamiento de materiales y la aplicación de medidas de protección del medio ambiente. En especial, el aprovechamiento de las fuerzas mecánicas generadas mediante la maceración de sustratos sólidos para promover reacciones químicas presenta ventajas como la menor dependencia de disolventes potencialmente peligrosos y una mayor eficiencia energética. La mecanoquímica ha demostrado su utilidad en diversas aplicaciones, como la producción de compuestos quirales de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Para su aplicación a nivel industrial, la mecanoquímica enfrenta desafíos como son el escalamiento, y el control efectivo de los parámetros de reacción de los procesos mecanoquímicos. Sin embargo, los avances recientes en la implementación de la mecanoquímica ofrecen vías prometedoras para superar estos retos y potenciar el impacto del campo. La mecanoquímica tiene un gran potencial para impulsar procesos químicos más sostenibles y eficientes, abordar retos globales e impulsar la innovación en múltiples industrias.

Para “cerrar” este artículo, cabe señalar que ¡la IUPAC considera que la mecanoquímica es una de las diez tecnologías emergentes de la química más relevantes en el siglo XXI!



CARLOS NARANJO CASTAÑEDA
Doctor en ciencias del departamento de
Química en el Centro de Investigación y
de Estudios Avanzados (Cinvestav).

EUSEBIO JUARISTI
Profesor-investigador titular de dicho
departamento, pertenece a El Colegio
Nacional.



LECTURAS RECOMENDADAS:

- A. Obregón Zúñiga y E. Juaristi, “Química Verde y sus Doce Principios: Rumbo a Procesos Sustentables”, *Conversus* (Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México), No. 122, 4-5 (2016).
- J. G. Hernández y E. Juaristi, “Reacciones Asimétricas Organocatalizadas en Ausencia de Disolvente: una Estrategia para Hacer mas “Verde” la Organocatálisis”, *Educación Química*, **24**, 96-102 (2013). [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72502-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72502-3)
- F. Gomollón-Bel, “Ten chemical innovations that will change our world: IUPAC identifies emerging technologies in chemistry with potential to make our planet more sustainable”, *Chem. Int.*, **41**, 12-17 (2019). <https://doi.org/10.1515/ci-2019-0203>
- M. Pérez-Venegas y E. Juaristi, “Mechanochemical and Mechanoenzymatic Synthesis of Pharmacologically Active Compounds: A Green Perspective”, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **8**, 8881-8893 (2020). <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c01645>
- E. Juaristi y C. G. Ávila-Ortiz, “Salient Achievements in Synthetic Organic Chemistry Enabled by Mechanochemical Activation”, *Synthesis*, **55**, 2439-2459 (2023). <https://doi.org/10.1055/a-2085-3410>
- C. Naranjo-Castañeda, M. A. Leyva-Ramírez y E. Juaristi, “Liquid-assisted mechanochemical synthesis of thioamide building blocks with the Lawesson reagent: ex situ monitoring and detection of intermediate polymorphs”, *RSC Mechanochemistry*, **1**, 544-552 (2024). <https://doi.org/10.1039/D4MR00013G>
- G. Gamboa-Velázquez y E. Juaristi, “Mechanoenzymology in the Kinetic Resolution of β -Blockers: Propranolol as a Case Study”, *ACS Org. Inorg. Au*, **2**, 343-350 (2022). <https://doi.org/10.1021/acsorginorgau.1c00049>





PACO SÁNCHEZ

ROSALÍA PONTEVEDRA

El astrofísico toledano Francisco Sánchez, a quien le gustaba que le llamaran lisa y llanamente Paco, falleció a los 89 años de edad en Madrid, el 21 de octubre de 2025. Cuando nadie daba un duro por España como pivote de ciencia de clase mundial, en este caso la astronomía, Paco demostró lo contrario.

En 1961 viajó por primera vez al archipiélago canario con el propósito de explorar si la isla de Tenerife era apta para la observación de nuestro contorno cósmico. Él estaba convencido de que sí, pero había que demostrarlo. Con datos duros y don de gentes, tres años más tarde logró que sus amigos de la Universidad de Burdeos instalaran el primer telescopio en el Observatorio del Teide.

Así se fueron agregando otras instituciones de investigación, primero europeas, y luego ultramarinas, como la UNAM. Hoy, dicho observatorio en Tenerife, más el de Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, son considerados sitios de excelencia, de lo mejor que existe en el mundo.

Los astrónomos españoles valoran muchísimo el que desde un inicio Paco se haya preocupado por proteger la ciencia nacional, ya que con las diversas universidades y centros de investigación que aceptaban instalar un telescopio se convino en que un 20% del tiempo de observación debía de reservarse a los astrónomos españoles, incluidos los que colaboran con el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), que Paco también fundó.

Uno de sus grandes logros, además de formar muchas chicas y chicos apasionados de estrellas y planetas, fue la construcción y puesta en marcha del Gran Telescopio de Canarias (GTC) mediante una sociedad anónima (GRANTECAN, S. A.). Desde 2007 promovió la declaración en defensa del cielo nocturno y el derecho que todos los humanos tenemos a la luz de las estrellas. Creó en 2011 la Fundación Starlight a fin de impulsar tal declaración bajo el lema: "Apaga un foco, enciende una estrella".



ROSALÍA PONTEVEDRA
Escritora de ciencia, radica en Madrid.





ACTUALIDADES DEL MERCURIO



John Watson (izq.) y Francis Crick (der.) muestran su modelo del ADN.

John Dewey Watson (1928-2025)

El genetista norteamericano, quien junto con sir Francis Crick aclaró en 1953 la estructura tridimensional, helicoidal, de la cadena del ADN, falleció el 6 de noviembre de 2025 a los 97 años de edad. Debido a su brillante trabajo en colaboración con el mencionado Crick, obtuvo el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1962. Ese galardón lo compartieron con otro personaje fundamental en la creación del campo que ahora conocemos como genética molecular, Maurice Wilkins.

Genios de la química como Linus Pauling (también premio Nobel) andaban detrás de dilucidar dicha estructura, pero nadie había encontrado su verdadera disposición espacial. Fueron contratados muy jóvenes para investigar en el prestigioso Medical Research Council (Cambridge, RU) por el también premio Nobel, Max Perutz (puede verse la charla con él en Mercurio Volante 40, junio de 2025). Su asombroso talento para deducir enigmas de la biología y su contexto químico-físico los hizo ganar la carrera. La leyenda cuenta que, luego de varias pintas de cerveza en el pub *Eagle*, localizado muy cerca del laboratorio donde Crick y Watson trabajaban, un buen día regresaron

con un ¡Eureka! El trabajo independiente de Wilkins corroboró su hallazgo.

Es importante señalar que esta brillante deducción no hubiera sido posible sin el trabajo de otros biólogos moleculares interesados en la genética, quienes ahondaron en este novedoso campo de la investigación científica apoyándose en las placas de rayos X que Rosalind Franklin había obtenido con gran detalle, arriesgando su salud. De hecho, ella perdió la vida en forma prematura debido a la agresividad de tales rayos.

Por desgracia, la personalidad frágil de Watson, genial e irascible, lo llevó a opinar con muy poca fortuna de asuntos que, en efecto, conocía, pero dejándose arrastrar por la soberbia y un oscuro atavismo racista. Sus provocaciones, ironía e ingenio se vieron manchados por su neurótica manía de defender opiniones ideológicas embarradas de argumentos científicos. Eso le ganó el desprecio de la comunidad, por lo que le fueron retirados sus títulos y puestos en centros de enseñanza e investigación. Siempre promovió nuevas generaciones de gente interesada en ciencia; por desgracia, sucumbió a la confusión y perversidad del supremacismo blanco.



ECLIPSE TOTAL DE SOL: JULIETA FIERRO GOSSMAN



El planetario portátil permite entender las constelaciones que observamos en las noches en un cielo despejado y si contaminación lumínica. (Foto: Arturo Orta, DGDC-UNAM).



Foto: Campus Party México - <https://www.flickr.com/photos/campuspartymexico/9416994735/>, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=144648814>

JUAN TONDA MAZÓN

En 1986 pasaría el cometa Halley cerca de nosotros y había que ir a observarlo, porque lo hace cada 76 años. En la Ciudad de México la contaminación de las luces de la ciudad impedían verlo. Había que salir a las faldas del Ajusco para poder admirarlo. En esa época trabajaba en la revista *Ciencia y Desarrollo*, del Conacyt e hicimos un número especial dedicado al Cometa con un “cinito” para entender cómo era la trayectoria del mismo. Al final de la carrera de física llevé a materia de Introducción a la astronomía, con la astrónoma Julieta Fierro Gossman, quien nos había dado la mejor explicación de lo que era un cometa: una bola de hielo sucio de varios kilómetros de diámetro que se acerca periódicamente al Sol y se derrite un poco para formar la vistosa cola que observamos desde nuestro planeta.

Después de cursar la materia de Introducción a la astronomía con Julieta Fierro al final de los años 70 del siglo XX, mis amigos Francisco Noreña y Antonio Ortiz “el Gritón”, quedamos maravillados por la astronomía que más tarde se complementó con José de la Herrán, Christine Allen y Arcadio Poveda.

En 1986 fundamos un grupo pequeño de divulgadores la Sociedad Mexicana de Divulgación de la Ciencia y la Técnica (Somedicyt), y al poco tiempo de fundada se incorporó Julieta Fierro que fue secretaria de la misma de 1989 a 1991. Julieta le aportó de inmediato muchas actividades. Recibimos gracias a ella un curso de ciencia planetaria en el Museo Tecnológico de la CFE que daba el Jet Propulsion Laboratory de la NASA a un nivel bastante elevado para los principiantes.

Poco a poco mi interés por la astronomía crecía. Y a pesar de ser divulgador era visitante frecuente del Instituto para ver a Julieta Fierro, Christine Allen, Miguel Ángel Herrera, Silvia Torres, Irene Cruz, Luis Felipe Rodríguez y, posteriormente, a José Franco, quienes siempre me ayudaban con información de primera mano para mis artículos y libros.

Julieta Fierro además de colega era mi vecina en Residencial Copilco 300. Cuando mis hijos bajaban a jugar al patio, frecuentemente se encontraban a Julieta que les regalaba dulces, cosa que no hace un vecino común y corriente. Yo la visitaba de vez en cuando para que me consiguiera transparencias o me explicara algún fenómeno astronómico.

Julieta explicaba los fenómenos astronómicos de manera accesible. Siempre tenía un pequeño planetario portátil en el que mostraba las constelaciones. Con frutas explicaba los eclipses de Sol y de Luna o con un pequeño dispositivo giratorio cuyas esferas representaban el Sol, la Luna y la Tierra. Explicaba desde la posibilidad de que hubiera vida en otros planetas hasta la teoría más aceptada del origen del Universo.

Al final del sexenio del presidente Miguel de la Madrid, gracias a Jorge Flores se pudo construir en la Estación La Raza del Metro, el Túnel de la Ciencia, en el que con la participación de Julieta Fierro, Mauricio Fortes, José de la Herrán y yo, se montó una exposición con un mapa que hizo Julieta con la trayectoria del eclipse de 1991, a lo largo del túnel de 800 m se puso la exposición de Potencias de 10, para entender las dimensiones desde lo más pequeño y lo más grande el Universo, se montó gracias a José de la Herrán un planetario para conocer las constelaciones y yo me encargué de los hologramas. En ese entonces el Túnel de la Ciencia era uno de los museos más visitados en el mundo, dado que circulaban diariamente 80,000 personas.

Julieta explicaba los fenómenos astronómicos de manera accesible. Siempre tenía un pequeño planetario portátil en el que mostraba las constelaciones. Con frutas explicaba los eclipses de Sol y de Luna o con un pequeño dispositivo giratorio cuyas esferas representaban el Sol, la Luna y la Tierra. Explicaba desde la posibilidad de que hubiera vida en otros planetas hasta la teoría más aceptada del origen del Universo.

En su discurso de ingreso a la Academia Mexicana de la Lengua, en agosto de 2004, Julieta escribió *Imagine-mos un caracol* del que he tomado un fragmento:

“Imaginemos un caracol, un caracol de jardín. Recorramos con la mente la espiral que decora su concha. Pensemos en la manera en que disfruta la humedad después de la lluvia. Parecería que le entusiasma tanto como a algunos de nosotros cuando retozamos entre las olas del mar gozando de las caricias del agua salada.

“Tanto humanos como caracoles tenemos ancestros que surgieron del mar. No solo los primeros organismos vivientes se originaron dentro de lodo salobre y emprendieron la conquista de la emergida; nosotros vivimos nuestros primeros meses dentro del agua y poseemos un mar salado en el interior de la bolsa que es nuestro organismo. De allí nuestro gusto por la sal y el agua.



Julieta Fierro una persona cariñosa, inteligente, divertida, preocupada de los problemas nacionales, de la enseñanza de la ciencia y la divulgación de la misma deja su enseñanza para las futuras generaciones. (Foto: Arturo Orta, DGDC-UNAM).



“Los caracoles y las personas nos adaptamos para vivir en grandes urbes. Anualmente ellos gozan al devorar rosales, los chilangos encontramos en nuestra ciudad sorpresas como las jacarandas en flor; gozamos la libertad para pensar y crear.”

Julieta Fierro, además de ser mi maestra, mi colega en la divulgación de la ciencia, mi jefa en la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, mi coautora en *El libro de las cochinadas*, mi directora de tesis, fue sobre todo una gran amiga con la que comía de vez en cuando.

Julieta era una persona muy generosa y divertida. Estar con ella suponía pasar un rato agradable y reír frecuentemente. Cuando fue nuestra directora en la DGDC se encargaba de hacer reuniones especiales para felicitar y premiar a quienes habían tenido un éxito. Frecuentemente, te regalaba postales con mensajes muy bonitos. Sus conferencias eran épicas, no solo explicaba los fenómenos astronómicos y físicos de manera comprensible, sino que hacía experimentos caseros para entender algún concepto. Para explicar la tercera ley de Newton y la fricción, jalaba rápidamente un tapetito que tenía un florero encima y este no se caía. Iba en patines en las ferias de ciencia. Diseñaba muchos experimentos caseros para entender las leyes científicas que en muchas ocasiones estaban en los Libros de Texto Gratuitos, de los que era autora y asesora. Las maestras de educación básica la adoraban y llenaba enormes salas de conferencias. Cuando terminaban sus pláticas, abría varios libros y salían decenas de mariposas de papel, después regalaba decenas de libros y dulces a la asistencia. Y había colas interminables para firmar sus libros. Sin lugar a dudas, era una gran conferencista, una excelente maestra para niños y grandes, una escritora destacada con alrededor de 50 libros, al parecer uno inédito, una persona de izquierda y feminista. Sólo una mujer mexicana ha obtenido el Premio Kalinga, la distinción de divulgación internacional más importante para una divulgadora: Julieta Fierro Gossman. Ah, como extrañaré a mi querida Julieta.



JUAN TONDA MAZÓN

Físico, editor y divulgador de la ciencia. Obtuvo el Premio Nacional de Divulgación de la Ciencia en 1996. Actualmente es jefe del Departamento de Libros (DGDC-UNAM).

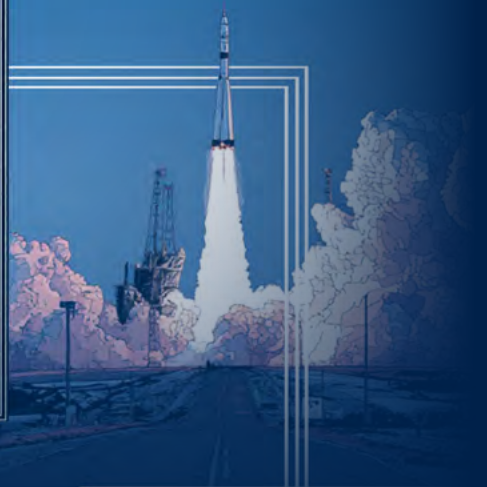
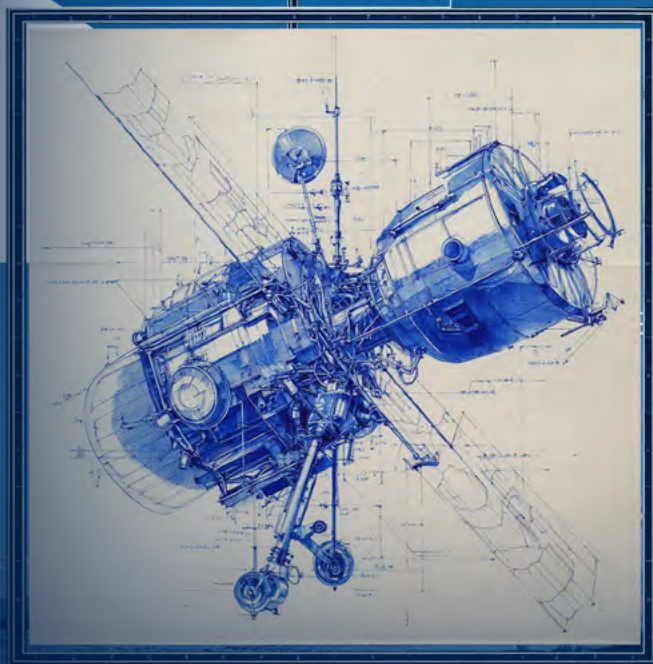
LOS CUATRO FANTÁSTICOS SATÉLITES MEXICANOS

NORMA ÁVILA JIMÉNEZ

La naturaleza es implacable. Así como sus manifestaciones detonan creaciones artísticas, entre ellas *Paricutín* (1949) de Dr. Atl (Gerardo Murillo), *Cataclismo* (1946) de Rufino Tamayo o el poema sinfónico *La tempestad* (1873), de Tchaikovsky, también genera desastres.

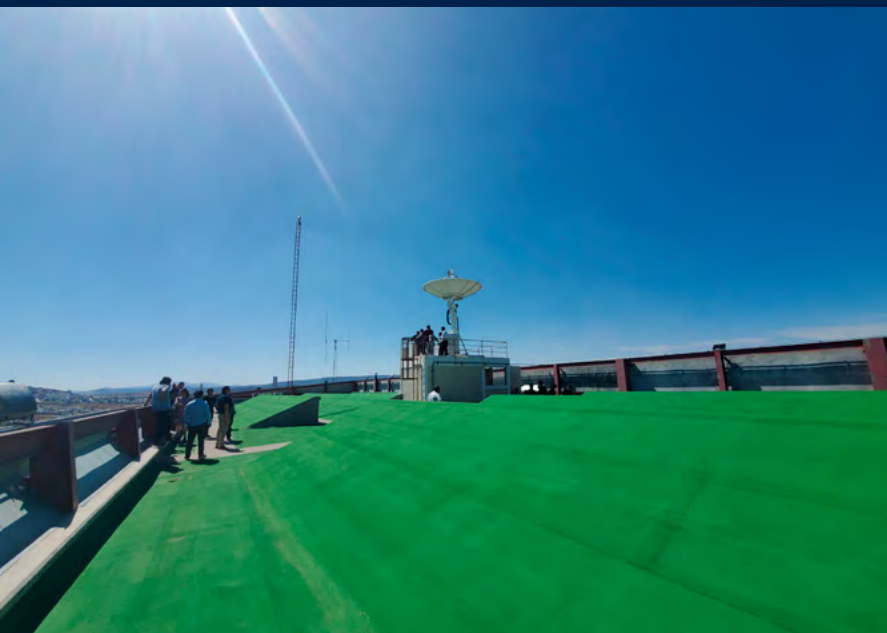
En 2024 los incendios forestales en el país, resultantes de la prolongada sequía y las olas de calor, batieron récord al arrasar 1.6 millones de hectáreas, según los registros de la Comisión Nacional Forestal, mientras que el pasado 2 de septiembre, de acuerdo a las autoridades capitalinas, se registró la caída de 34 millones de metros cúbicos de agua en poco más de 24 horas.

De allí la importancia del monitoreo realizado por los satélites meteorológicos y otros, necesario para determinar qué hacer ante posibles riesgos. El año pasado, 19 entidades gubernamentales pagaron 172 millones de pesos por imágenes del territorio nacional que fueron tomadas por satélites de otros países; este año, el monto ascendió a 250 millones de pesos, debido a la demanda de más de 50 entidades, según señala Juan Luis Díaz de León, subsecretario de Tecnología de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secih-ti), durante su participación en el Seminario Universitario del Espacio, llevado a cabo en marzo pasado, información publicada en *Gaceta UNAM*.



Estación terrena universitaria.

Satélites enlatados colocados en el drone para su elevación a 400 metros de altitud.





¿Por qué pagar esas cantidades si científicos mexicanos cuentan con experiencia para construir nanosatélites, esos mini cubos versátiles y de fácil lanzamiento?

Los cuatro fantásticos mexicanos del Proyecto IXTLI

En agosto de 2024, con el aval del gobierno de México, autoridades de la Secihti se acercaron al Programa Espacial Universitario (PEU) de la UNAM con el objetivo de apoyar un proyecto espacial que beneficiara al país y estuviera relacionado con su soberanía. Esos requisitos los llenó el Proyecto IXTLI. Consiste en la construcción y puesta en órbita, en el lapso de tres años, de cuatro satélites: dos nano -de aproximadamente 6 kilos de peso cada uno- y dos micros -de 10 a 12 kilos-.

“Será una constelación de cuatro artefactos en formación de rombo, lo que ayudará a observar adecuadamente el territorio nacional y cubrirlo en el menor tiempo posible”, aseguró en entrevista el doctor José Francisco Valdés Galicia, coordinador del PEU. En el país, varios especialistas han demostrado dominar la tecnología relativa a la construcción de nanosatélites, en particular los pertenecientes a la Unidad de Alta Tecnología de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, campus Juriquilla. “Ellos han obtenido excelentes resultados, tienen todo el instrumental”, agregó el doctor Valdés Galicia.

Este papalote satelital contará con cámaras de alta re-

solución capaces de detectar posibles incendios para dar aviso inmediatamente a las autoridades, “antes de que sea grave”, subrayó en fecha reciente el doctor Alejandro Farah Simón, secretario de Docencia y Divulgación del PEU, durante la charla dada a los integrantes de la Red Iberoamericana de Telescopios y Radiotelescopios, así como a los que fuimos invitados.

Así, el movimiento del sargazo podrá ser detectado antes de que llegue a nuestras costas, lo cual permitirá tomar medidas preventivas. Otro ejemplo es el crecimiento incesante y descontrolado de las manchas urbanas. Hace poco vi en línea la pintura de Doctor Atl (*Valle de México desde el Tepeyac*) y sobre esta obra, dicho crecimiento, lo que me hizo contener la respiración.

Las cámaras infrarrojas del sistema IXTLI detectarán zonas de minerales, fallas geológicas, cambios en los litorales, y serán un apoyo para mejorar la explotación de nuestros recursos naturales, entre otras funciones. Actualmente no es posible observar las veces que queramos alguna región del país, aunque exista un motivo porque “no tenemos soberanía espacial; a Francia o a Estados Unidos les tenemos pedir que dirijan sus satélites hacia un punto, lo cual tiene un costo. No solo eso, tal vez no puedan orientarlo en el momento en que se requiere, sin olvidar que las imágenes que nos envían ya fueron procesadas”, afirmó el doctor Alejandro Farah.

Satélites enlatados colocados en el drone.



Nanosatélites durante pruebas en la Unidad de Alta Tecnología de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

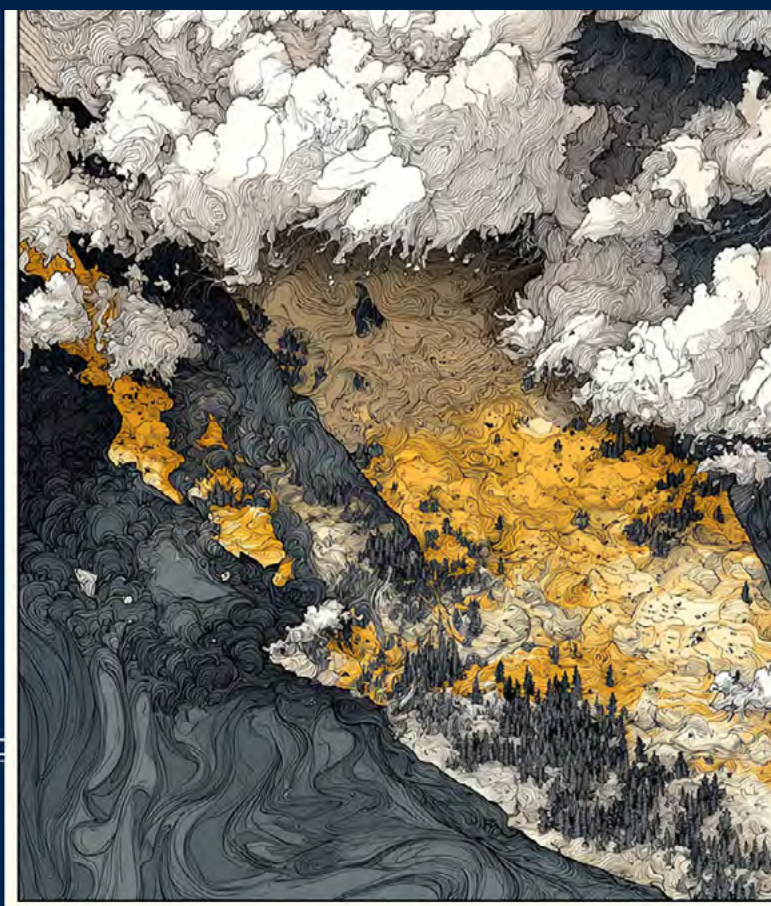
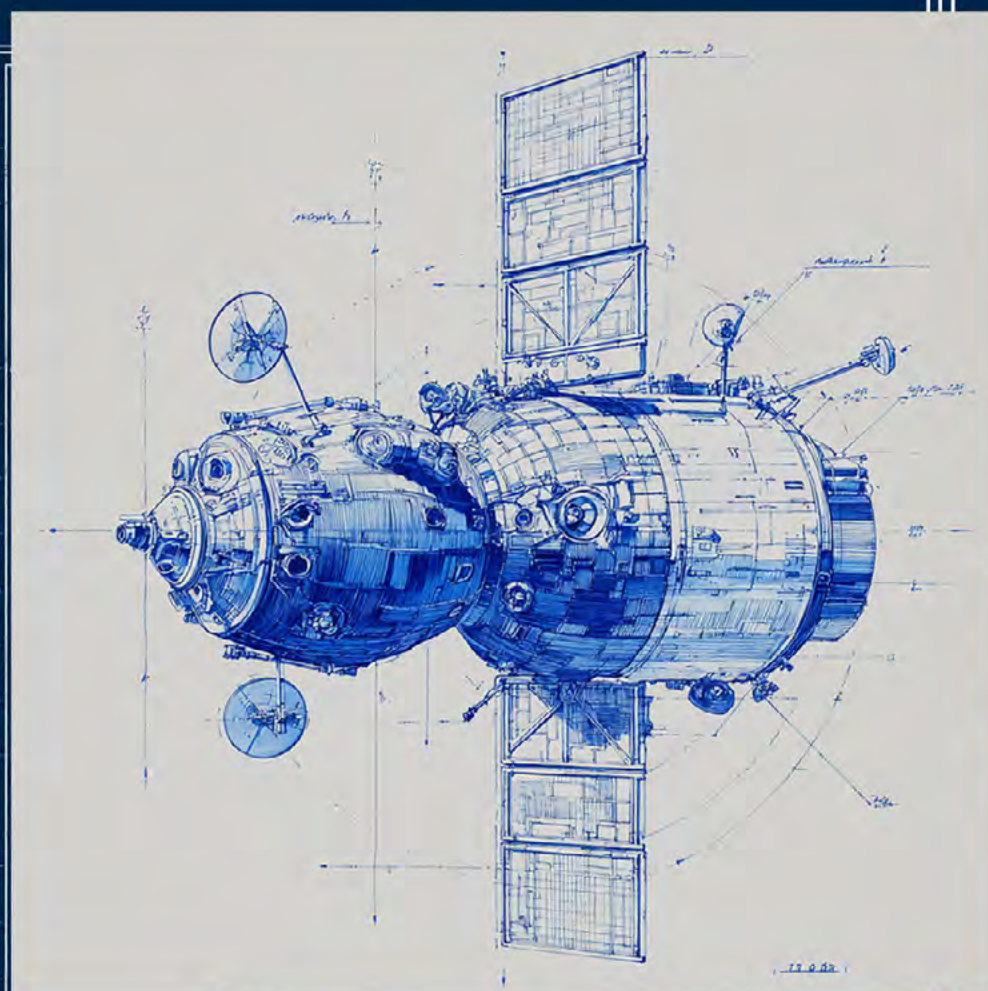


En el futuro cercano nuestro gobierno podrá mover a conveniencia la constelación resultante del desarrollo de la tecnología nacional, “seremos soberanos”, recalcó el doctor Farah, “además de que se podrá generar una red meteorológica y de prevención de incendios”.

En febrero de este año, la Secihti le pidió a la UNAM que el IPN se uniera al proyecto. “Ellos llevarán la gestión, esto es, el liderazgo mientras que a nosotros –la UNAM– nos toca hacer todos los cálculos, el diseño y estar en contacto con las empresas que colaborarán” para lograr que el primer satélite sea lanzado en 2026 y el segundo en el 2027. El Centro de Investigación, Ciencia y Educación Superior de Ensenada y la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla se han integrado al proyecto.

Los dos expertos coinciden en que la mayoría de las partes electrónicas actualmente tiene que comprarse en el extranjero, porque todavía no hay quien la fabrique en México; aspiran a que a partir de la construcción del segundo satélite, éstas se irán sustituyendo con materiales hechos en el país. La constelación estará en órbita baja, esto es, entre los 500 y 750 kilómetros de altura. ¿Eso significa un peligro respecto a la basura espacial, compuesta por pedazos de otros satélites y cohetes, tornillos y otros residuos?, o ¿qué pasa si los nano y micro chocan contra asteroides?

“Cuando se construye un satélite, hay que tomar precauciones; no es como un coche que sale de la agencia, y si se descompone, se puede regresar a ésta. Por ello se hacen pruebas exhaustivas. Además, se construyen tres modelos por cada satélite: el de vuelo, que es el que se lanza, el de ingeniería, que es una réplica, y el llamado satélite plano”.



Para calcular su órbita se tomarán en cuenta las estadísticas de la ubicación de la basura espacial, monitoreo realizado por otros satélites que la detectan con ayuda de ondas de radio. Respecto a los asteroides, siempre existen riesgos, aun cuando se hagan cálculos previos. De los riesgos ningún satélite se salva. La constelación satelital tiene su plan de desorbitación para cuando finalice su tiempo de vida, y lo más seguro es que los cuatro satélites se quemen al entrar a la atmósfera.

Algo que nos dolió, como mexicanos, fue enterarnos de que, en 1996, un cohete ruso fue lanzado con el satélite UNAMSAT, pero desafortunadamente explotó. ¿Qué se hizo entonces, y qué puede hacerse si se repitiera la historia? Ojalá y no sea así. José Francisco Valdés explicó: "Cuando se construye un satélite, hay que tomar precauciones; no es como un coche que sale de la agencia, y si se descompone, se puede regresar a ésta. Por ello se hacen pruebas exhaustivas. Además, se construyen tres modelos por cada satélite: el de vuelo, que es el que se lanza, el de ingeniería, que es una réplica, y el llamado satélite plano".

La idea es que con el proyecto IXTLI y el impulso a la nueva agencia espacial mexicana, que, por cierto, no va a desaparecer, como creen algunos, se genere todo un plan espacial nacional.

"Es importante que despeguemos, empecemos a mandar satélites propios que además, darán lugar al desarrollo de innovadoras tecnologías en los terrenos de la educación, la telemedicina y las comunicaciones, entre otras", subrayó el coordinador del PEU.

Todo cabe en una lata sabiéndolo acomodar

El doctor Farah nos dijo que una manera divertida para enseñar la tecnología espacial satelital es mediante el concurso CanSat. Se invita a estudiantes de preparatoria y licenciatura a que construyan toda la electrónica para emitir comunicación a una estación terrena, dentro de un contenedor semejante en forma y tamaño a una lata de refresco.

"El CanSat, además, debe medir la presión y la temperatura, así como tomar fotografías que procesará adentro de la 'lata' para que queden en 3D, mientras caen de una altura de 400 metros después de ser soltadas por un dron. A los 200 metros deberán abrir unas hélices para amortiguar su caída con el 'astronauta' que lleva adentro". ¿Cómo es eso? "Es un huevito que no debe romperse al tocar tierra", aclaró el doctor Farah. "Generalmente gana el equipo que logra que su astronauta sobreviva", añadió con su alegría característica.

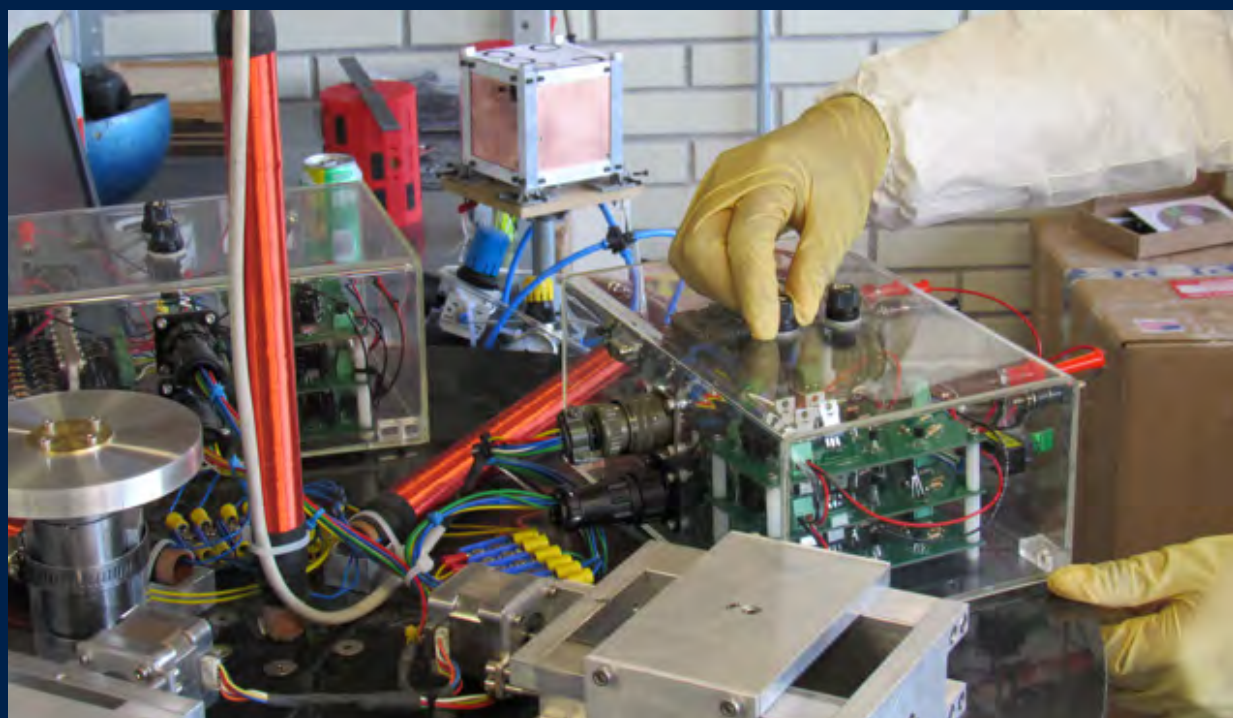
Si quieres registrarte junto con tu equipo, aquí está el vínculo de la convocatoria: <https://peu.unam.mx/cansat2026.html> ¡Cierra el 28 de noviembre!



Ensamble del autogiro de uno de los satélites enlatados en competencia.



Estación terrena de la UNAM ubicada en la Unidad de Alta Tecnología en Juriquilla, Querétaro.



Integración de tarjetas electrónicas para nanosatélites en la UAT-FI-UNAM.

NORMA ÁVILA JIMÉNEZ

Desde hace más de 20 años se dedica al periodismo de ciencia. Es Premio Nacional de Periodismo 2015 por el Club de Periodistas de México. En 2013 recibió reconocimiento de la televisora alemana Deutsche Welle y mención especial Pantalla de Cristal por la serie televisiva 13 Baktun, coproducida por Canal 22 y el INAH. Es autora del libro El arte cósmico de Tamayo (Ed. Praxis / Instituto de Astronomía, UNAM / Conacyt).

AMISTADES PELIGROSAS

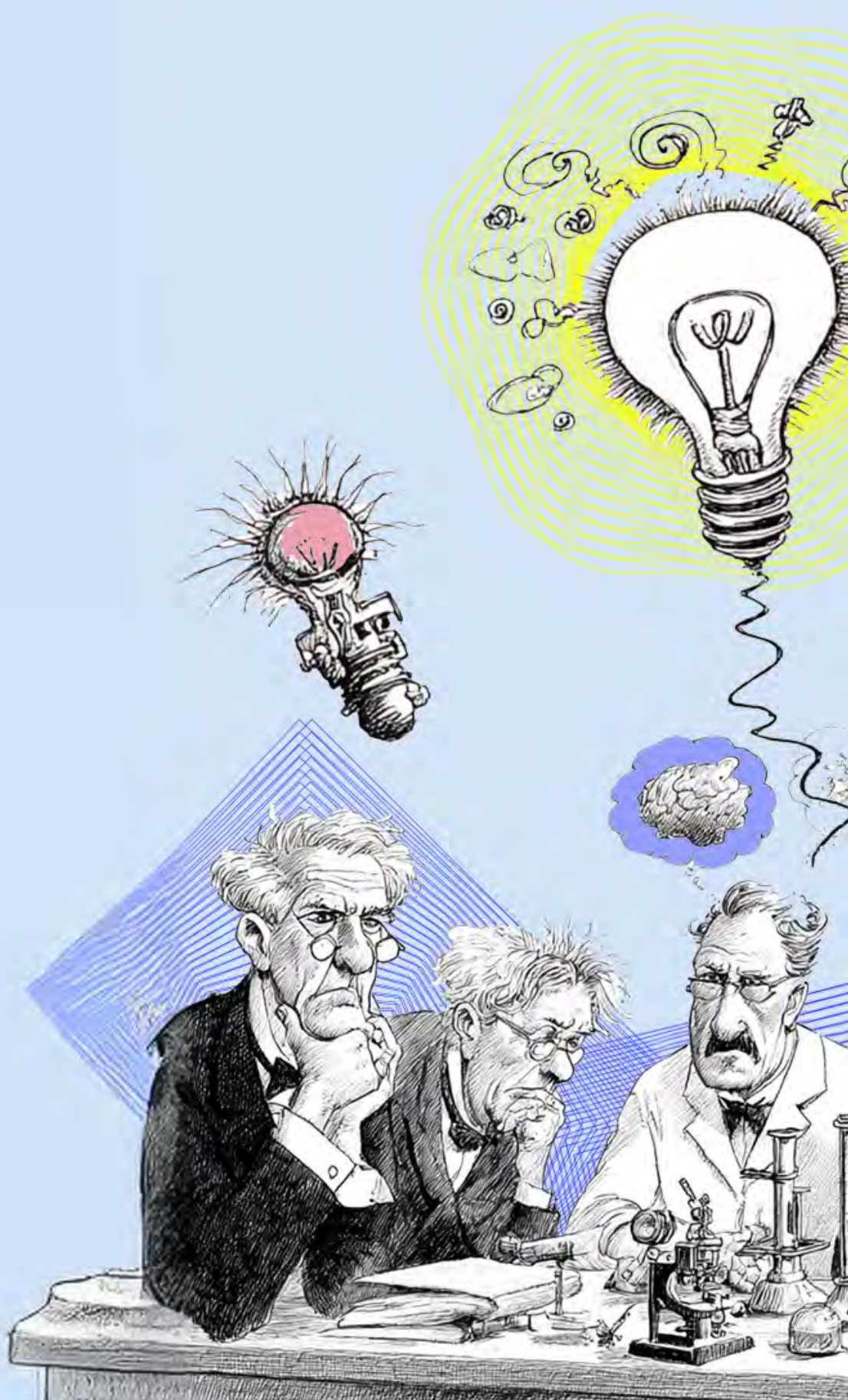
*La siniestra oficina
se humanizaba por las noches
se oía un leve teclado.
Las máquinas se escribían
-unas a otras-
cartas de amor.*

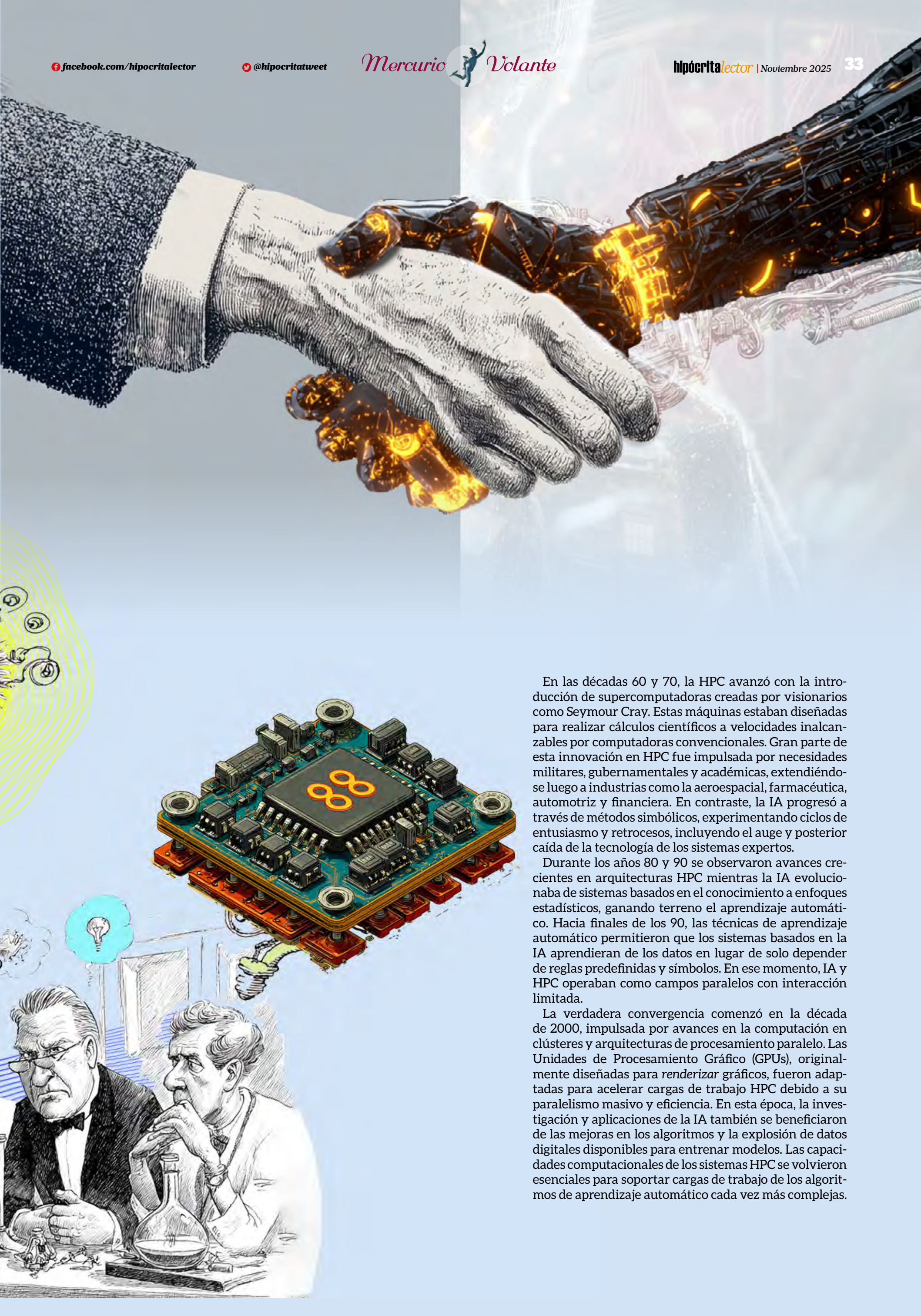
G. Fuertes

ULISES CORTÉS

La historia de la relación beneficiosa entre la Inteligencia Artificial (IA) y la Computación de Alto Rendimiento (por sus siglas en inglés, HPC, *High Performance Computing*) es una narrativa de evolución paralela y convergencia eventual, impulsada por avances tecnológicos que han transformado la ciencia, la industria y la sociedad. Desde sus desarrollos iniciales a mediados del siglo XX, la IA y la HPC surgieron como dominios distintos, pero con el tiempo se han fundido, cada uno expandiendo las posibilidades del otro.

Los orígenes de la Computación de Alto Rendimiento se remontan a la década de 1940 con proyectos pioneros como la Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC¹), una de las primeras computadoras electrónicas de propósito general, desarrollada en la Universidad de Pennsylvania. Después de ENIAC, en los años de 1950 se avanzó con la serie de computadores Illinois Automatic Computer (ILLIAC), que impulsó las capacidades computacionales paralelas hacia la supercomputación moderna. Durante la misma época, la IA surgió como disciplina científica a mediados de los años 50, enfocada en el estudio de la IA simbólica y el desarrollo de sistemas basados en reglas, que buscaban emular la toma de decisiones humanas codificando conocimiento experto y lógica en máquinas².

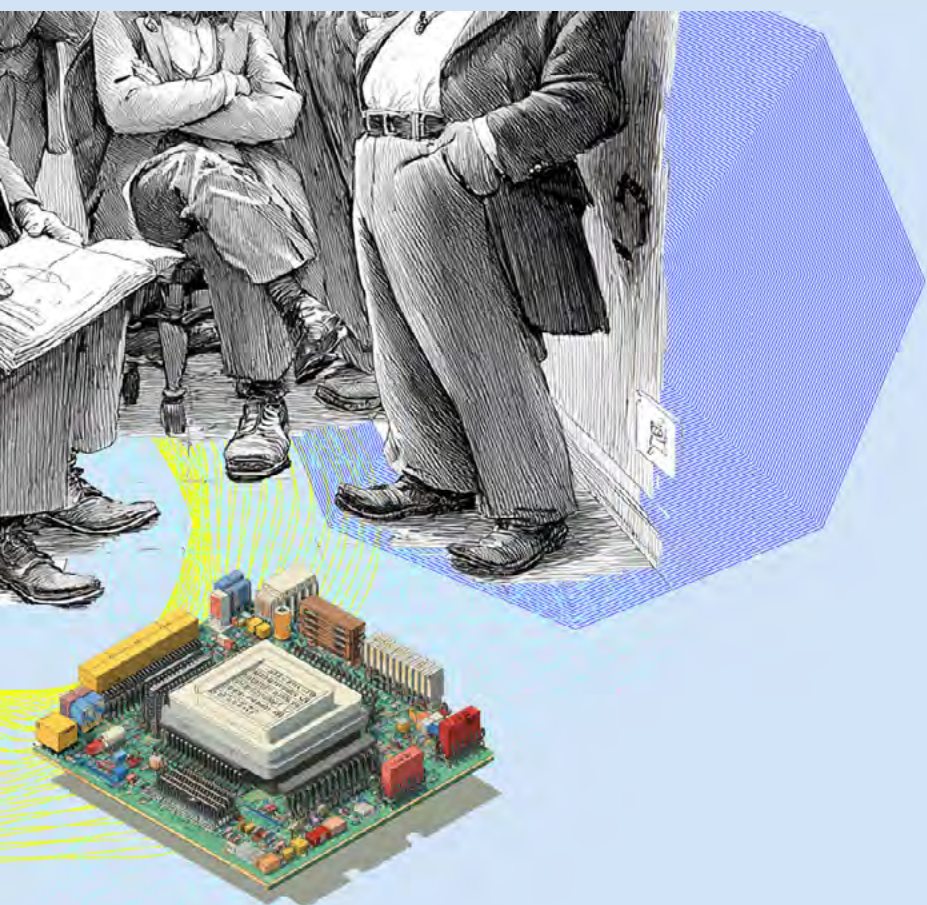




En las décadas 60 y 70, la HPC avanzó con la introducción de supercomputadoras creadas por visionarios como Seymour Cray. Estas máquinas estaban diseñadas para realizar cálculos científicos a velocidades inalcanzables por computadoras convencionales. Gran parte de esta innovación en HPC fue impulsada por necesidades militares, gubernamentales y académicas, extendiéndose luego a industrias como la aeroespacial, farmacéutica, automotriz y financiera. En contraste, la IA progresó a través de métodos simbólicos, experimentando ciclos de entusiasmo y retrocesos, incluyendo el auge y posterior caída de la tecnología de los sistemas expertos.

Durante los años 80 y 90 se observaron avances crecientes en arquitecturas HPC mientras la IA evolucionaba de sistemas basados en el conocimiento a enfoques estadísticos, ganando terreno el aprendizaje automático. Hacia finales de los 90, las técnicas de aprendizaje automático permitieron que los sistemas basados en la IA aprendieran de los datos en lugar de solo depender de reglas predefinidas y símbolos. En ese momento, IA y HPC operaban como campos paralelos con interacción limitada.

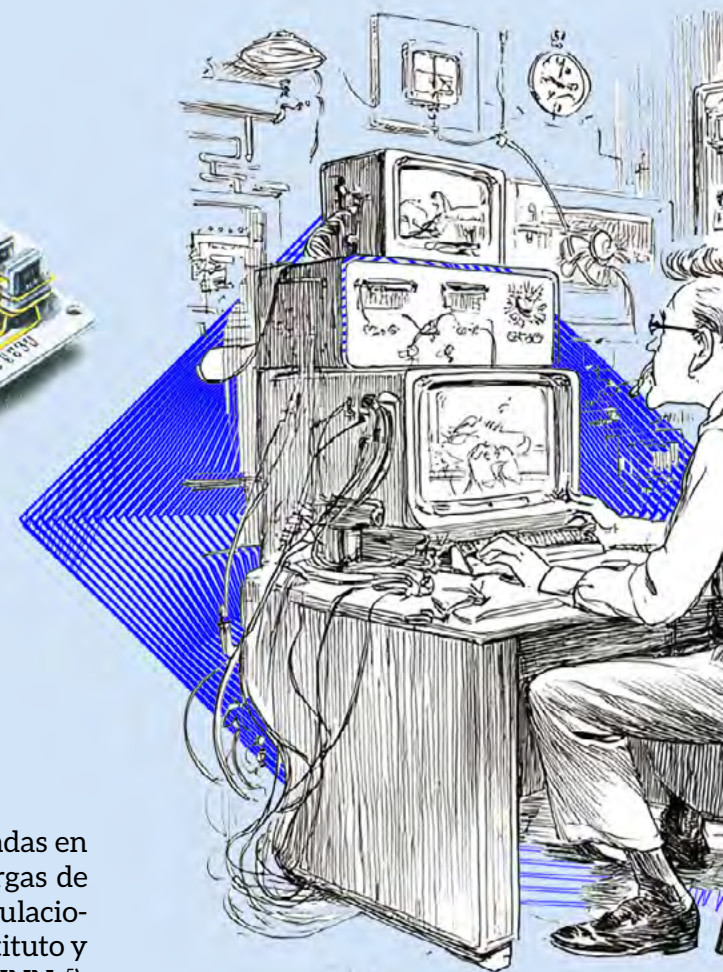
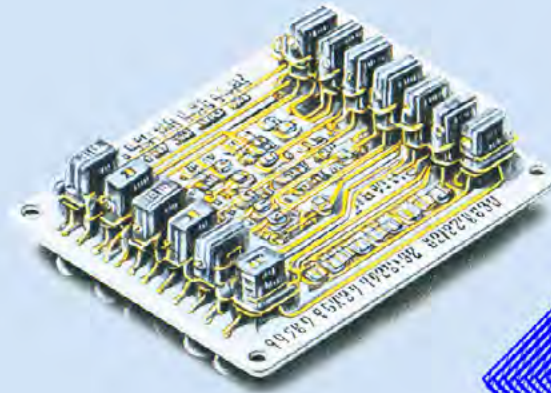
La verdadera convergencia comenzó en la década de 2000, impulsada por avances en la computación en clústeres y arquitecturas de procesamiento paralelo. Las Unidades de Procesamiento Gráfico (GPUs), originalmente diseñadas para *renderizar* gráficos, fueron adaptadas para acelerar cargas de trabajo HPC debido a su paralelismo masivo y eficiencia. En esta época, la investigación y aplicaciones de la IA también se beneficiaron de las mejoras en los algoritmos y la explosión de datos digitales disponibles para entrenar modelos. Las capacidades computacionales de los sistemas HPC se volvieron esenciales para soportar cargas de trabajo de los algoritmos de aprendizaje automático cada vez más complejas.



Los primeros años de la década de 2010 marcaron un avance crucial para la IA con la irrupción del aprendizaje profundo (DL), simbolizado por el concurso ImageNet³ de 2012 en el que las redes neuronales convolucionales (CNNs) superaron a los modelos anteriores en tareas de reconocimiento de imágenes. Entrenar estas redes neuronales profundas requirió un poder computacional vasto que solo podía ser alcanzado a través de HPC. Este hito consolidó el papel de la HPC como la columna vertebral computacional del aprendizaje profundo, permitiendo el entrenamiento rápido de modelos a gran escala.

En 2025, los elementos industriales más notorios de la IA y el HPC están vinculados de forma indisoluble. Los sistemas HPC proveen la infraestructura y la potencia computacional necesarias para entrenar y ejecutar modelos masivos lenguaje, incluyendo la vanguardia de la llamada *IA generativa* con millones de millones de parámetros. Un hito reciente en esta relación es la introducción por parte de Nvidia de su supercomputadora DGX Spark⁴, antes conocida como Digits. Con un precio de \$3,999 y equipada con el nuevo chip Grace Blackwell GB10, 128 GB de memoria y 4 TB de almacenamiento, DGX Spark es capaz de entrenar modelos con hasta 200 mil millones de parámetros. Esta innovación populariza el acceso a extraordinarias capacidades de entrenamiento de modelos basados en la IA, permitiendo a organizaciones e investigadores desarrollar y probar modelos de manera eficiente sin depender de grandes centros computación. Fabricantes líderes como Acer, Asus, Dell y HP han anunciado planes para lanzar sus propias versiones de este sistema, ampliando el acceso a la computación de alto rendimiento para el aprendizaje profundo y sus aplicaciones.





Más allá de estos avances, las aplicaciones basadas en la IA se usan cada vez más para mejorar las cargas de trabajo de HPC, optimizando la eficiencia de simulaciones y análisis de datos mediante el modelado sustituto y las Redes Neuronales Informadas por la Física (PINNs⁵). Esta sinergia resulta transformadora en campos científicos como la investigación en energía de fusión, donde la combinación de IA y HPC acelera los ciclos de descubrimiento y diseño, prometiendo avances en tecnologías de energía limpia.

La acelerada evolución tecnológica de la IA y el HPC está teniendo impactos extraordinarios en la economía, la sociedad y el medio ambiente. En lo económico, los avances combinados han transformado industrias al permitir decisiones más rápidas y basadas en datos, optimizando cadenas de suministro, mejorando diagnósticos médicos y habilitando la creación de sistemas autónomos, todavía en entornos reducidos y controlados. Esta productividad impulsada por la tecnología fomenta nuevos modelos de negocio y grandes ecosistemas tecnológicos, aunque también provoca disrupciones en el mercado laboral, requiriendo adaptación en la fuerza de trabajo hacia roles cada vez más automatizados y centrados en datos⁶. También, implica la destrucción de puestos de trabajo.

En el ámbito social, las tecnologías potenciadas por aplicaciones conjuntas de la IA y el HPC ofrecen promesas y desafíos. Han mejorado la calidad de vida mediante avances en la investigación médica y servicios de medicina de precisión, pero también generan preocupaciones éticas, legales y de gobernanza sobre la privacidad, el sesgo y la transparencia en la toma de decisiones. La concentración del poder computacional en grandes corporaciones y la naturaleza compleja de las decisiones que pueden tomar los sistemas basados en la IA llaman a una regulación robusta y marcos políticos adecuados.

Ambientalmente, la rápida expansión de la infraestructura HPC y las cargas de trabajo de entrenamiento de estos masivos del lenguaje (e.g. DeepSeek, Gemini, etc) plantean desafíos relacionados con el consumo energético y la sostenibilidad. No existe un control del número de modelos que se entrenan ni se puede contabilizar de manera fehaciente su costo pues las grandes corporaciones poseen también las fuentes energéticas que los alimentan. Aunque el HPC e la IA apoyan la modelización ambiental y las ciencias climáticas, la naturaleza intensiva en energía de los centros de supercomputación subraya la necesidad de tecnologías de computación más verdes y algoritmos más eficientes.

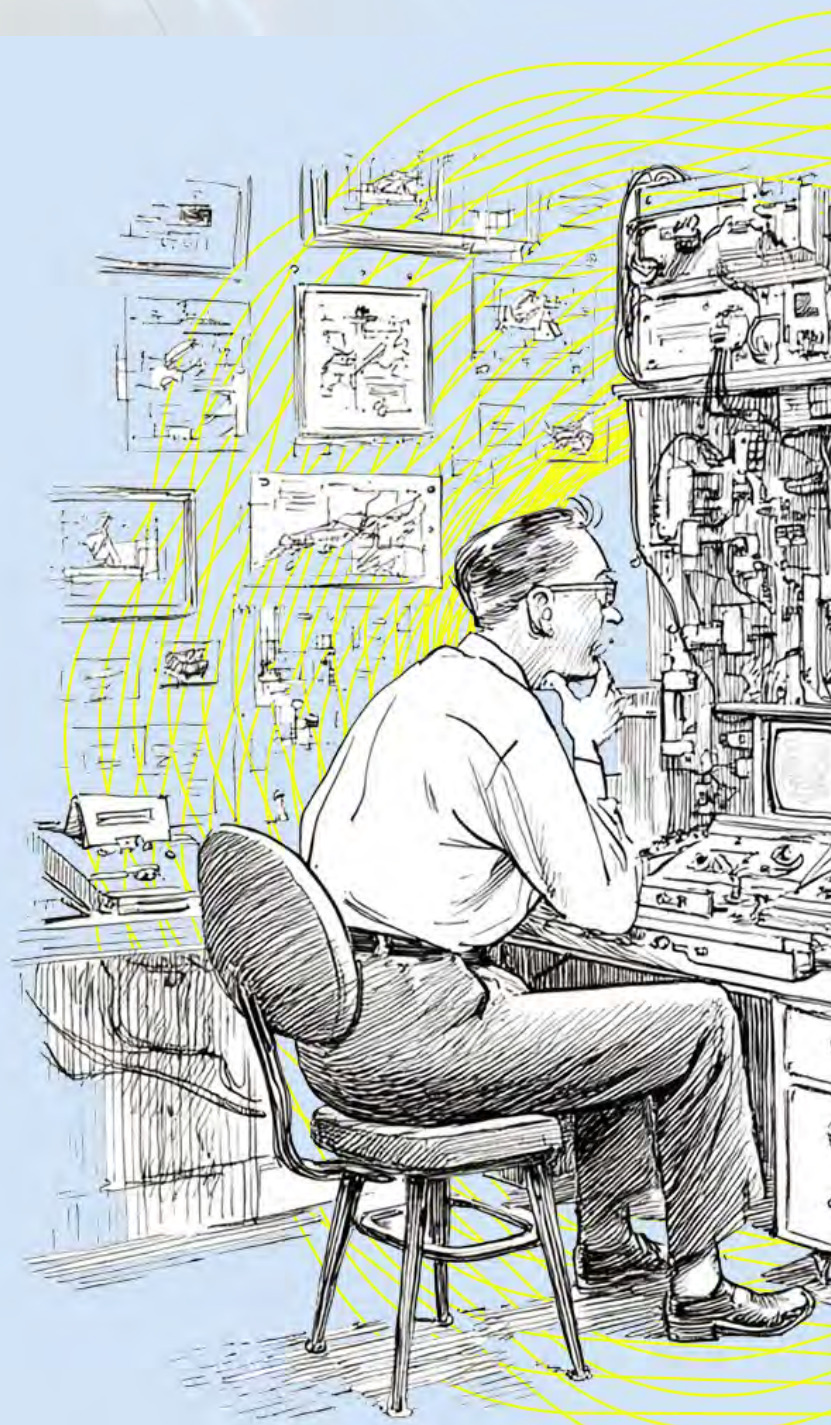


En México, la carencia de infraestructura de supercomputación dedicada al uso científico sigue siendo una limitación estructural para el desarrollo de la ciencia y la innovación tecnológica. Hasta el momento, YUCA —instalada en la Universidad de Sonora— es la máquina más potente del país, con una capacidad de 2.3 petaFlops. Aunque constituye un avance relevante, su potencia resulta insuficiente para las necesidades crecientes de investigación en campos como la inteligencia artificial, la biología computacional, la física de altas energías o la modelación climática, donde países como Brasil ya operan sistemas de cientos de petaFlops.

En México, la carencia de infraestructura de supercomputación dedicada al uso científico sigue siendo una limitación estructural para el desarrollo de la ciencia y la innovación tecnológica. Hasta el momento, YUCA⁷ —instalada en la Universidad de Sonora— es la máquina más potente del país, con una capacidad de 2.3 petaFlops. Aunque constituye un avance relevante, su potencia resulta insuficiente para las necesidades crecientes de investigación en campos como la inteligencia artificial, la biología computacional, la física de altas energías o la modelación climática, donde países como Brasil ya operan sistemas de cientos de petaFlops.

Por otro lado, acuerdo con la opinión del MsC F. López Durán, la industria apostó, desde 2007, por la instalación de centros de datos con proyectos en Querétaro⁸ y, después en Monterrey, en Guadalajara, en Toluca, en Guanajuato -hay ahí un proyecto de 800 millones de USD, iniciativa de Layer9⁹-, en Aguascalientes, y en la ciudad de México.

Según la Asociación Mexicana de Centros de Datos¹⁰, hay 160 centros de datos operando hoy en México, y 73 en proyecto, de aquí a 2030, totalizando unos 9,000 millones de USD de inversión. Sin embargo, aun cuando la expansión de esta infraestructura privada representa una oportunidad económica, no necesariamente contribuye al fortalecimiento de la capacidad de cálculo científico nacional. Los centros de datos comerciales están orientados a servicios de almacenamiento y gestión de información, no a la investigación o simulación científica de alta demanda computacional.



La historia de la IA y el HPC refleja una relación que evolucionó desde orígenes paralelos hasta un presente simbiótico. A medida que las tecnologías conjuntas de la IA y el HPC continúan acelerándose y moldeando la economía global, la sociedad y el ambiente, es vital gestionar este crecimiento con responsabilidad, equilibrando la innovación con consideraciones éticas y de sostenibilidad para alcanzar su máximo impacto beneficioso para México y la humanidad. Apostar por esta infraestructura es apostar por el porvenir de la educación, la innovación y la ciencia mexicana.

En el futuro se vislumbra una integración aún mayor y un potencial transformador a escalas antes inimaginables, haciendo de la relación entre la IA y el HPC, una amistad a la vez atractiva y peligrosa, siendo una de las narrativas definitorias del avance tecnológico del siglo XXI, pero, ya se sabe, *no todo lo que reluce es oro*.



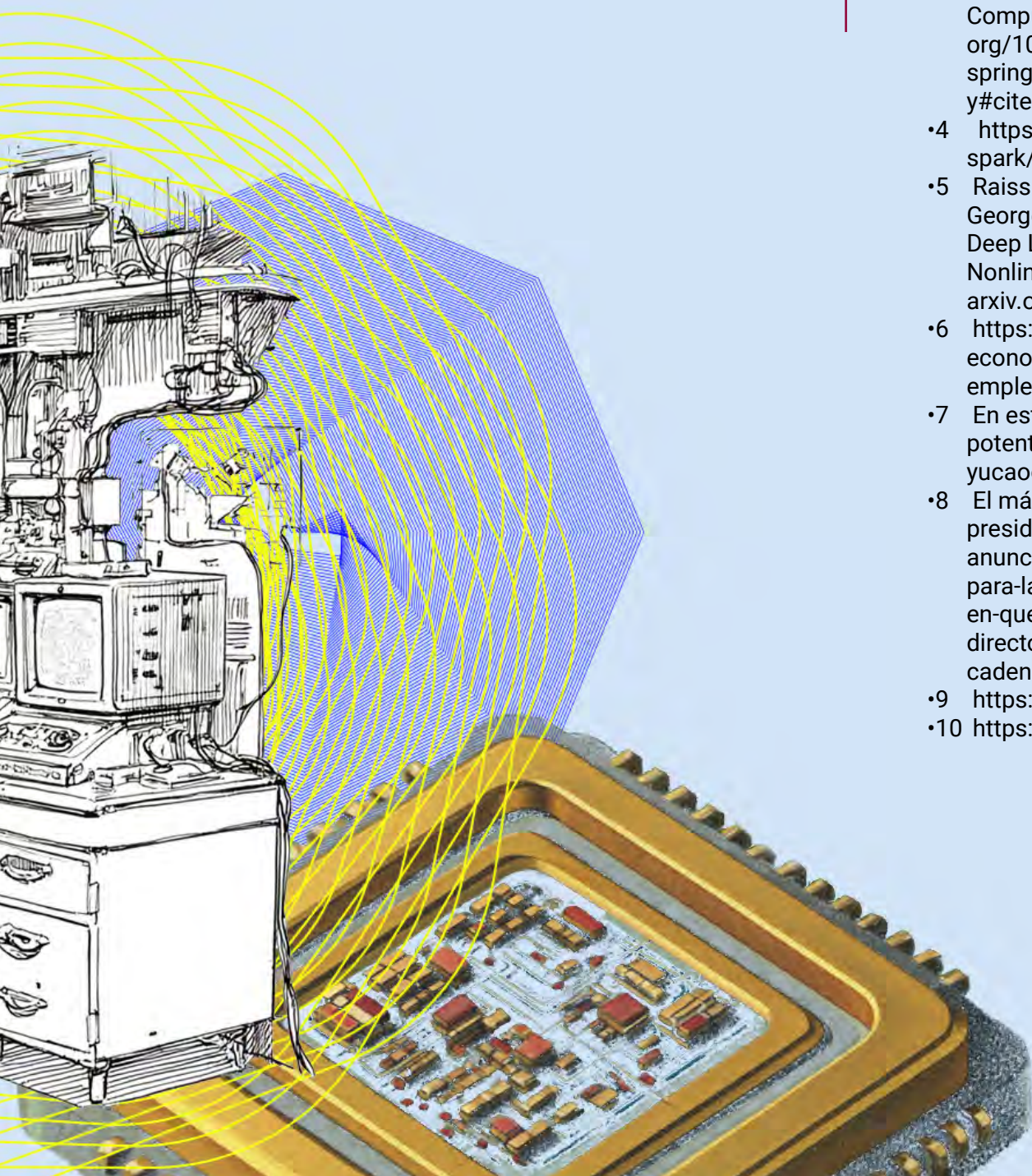
ULISES CORTÉS

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.



NOTAS

- 1 <https://www.computerhistory.org/revolution/birth-of-the-computer/4/78>
- 2 Simon, Herbert A. 1996. The Sciences of the Artificial (3rd ed.). Cambridge, MA: MIT Press. ISBN 978026219374
- 3 Russakovsky, O., Deng, J., Su, H. et al. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. Int J Comput Vis 115, 211–252 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y> <https://link.springer.com/article/10.1007/s11263-015-0816-y#citeas>
- 4 <https://lmsys.org/blog/2025-10-13-nvidia-dgx-spark/>
- 5 Raissi, Maziar; Perdikaris, Paris; Karniadakis, George Em (2017-11-28). "Physics Informed Deep Learning (Part I): Data-driven Solutions of Nonlinear Partial Differential Equations. <https://arxiv.org/abs/1711.10561>
- 6 <https://cnnespanol.cnn.com/2025/10/28/economia/amazon-acaba-recortar-14-000-empleos-trax>
- 7 En este momento YUCA es la máquina de más potente en México con 2.3 PetaFlops <https://yucaood.acarus.unison.mx>
- 8 El más reciente es este <https://www.gob.mx/presidencia/prensa/plan-mexico-avanza-se-anuncia-inversion-de-4-mil-800-mdd-de-cloudhq-para-la-construccion-de-6-centros-de-datos-en-queretaro?idiom=es-MX#:~:text=El%20director%20de%20operaciones%20de,las%20cadenas%20de%20suministro%20mexicanas.>
- 9 <https://layer9dc.com>
- 10 <https://asmexdc.com>



TERAPIA ELECTROCONVULSIVA: de Hipócrates a Jack Nicholson

MARIO DE LA PIEDRA WALTER

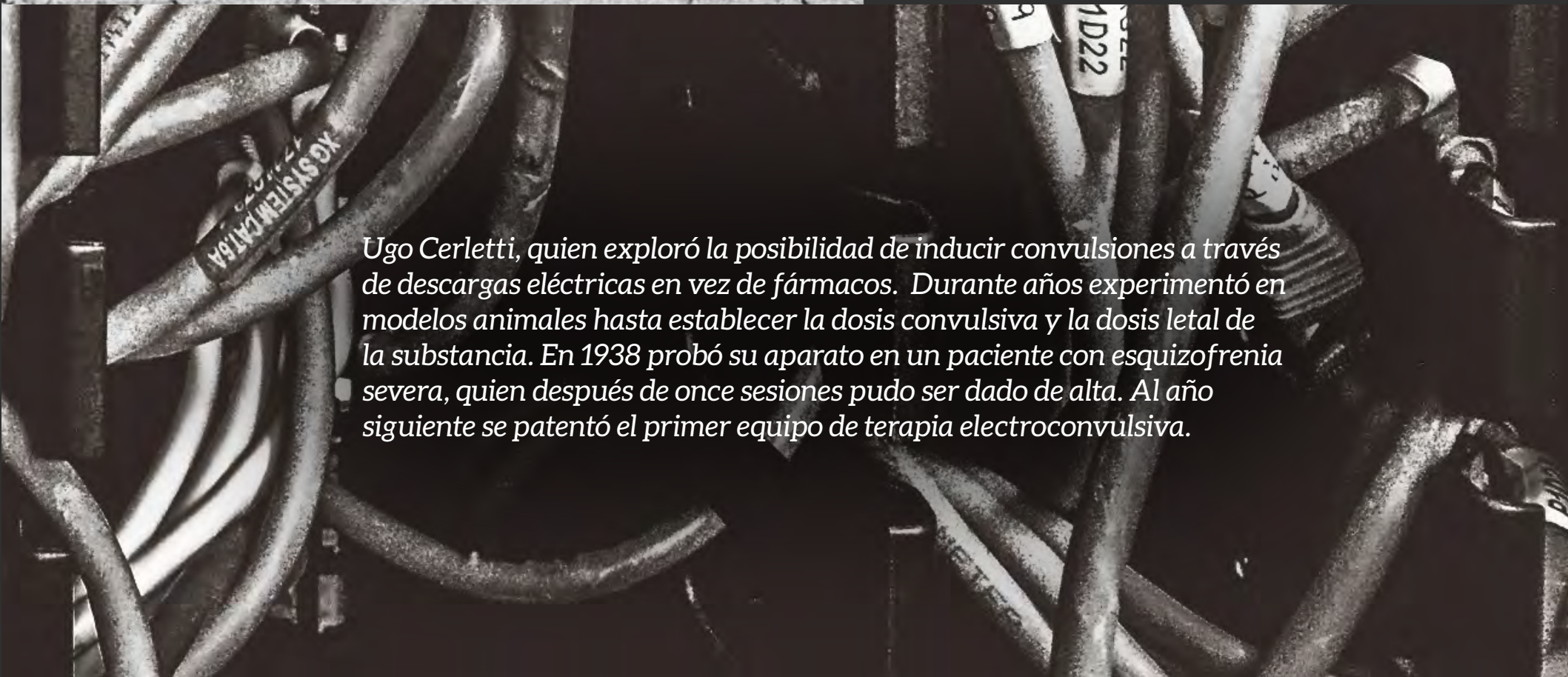
A tado de sus cuatro extremidades, Randle McMurphy (Jack Nicholson), forcejea sobre una cama blanca de manera inútil. Un grupo de médicos y enfermeros refuerzan las ataduras y lo aprisionan contra el colchón gastado. Una enfermera le coloca un pedazo de caucho entre los dientes y, sobre su cabeza, un médico acerca dos bulbos metálicos a los costados de su frente. Justo cuando la mirada desafiante de McMurphy comienza a transformarse en angustia, una descarga eléctrica le transita todo el cuerpo. La mandíbula se clava en el caucho y los músculos de todo su cuerpo se tensan hasta formar un arco con la espalda. Apenas unos segundos después, el cuerpo de McMurphy se contorsiona ferozmente, con un ritmo pulsante y violento que cesa después de un minuto. Casi inconsciente, lo desatan y entre varios enfermeros lo arrastran de vuelta a la estación. Por los siguientes días, McMurphy es más un zombi que un ser humano.

A más de sesenta años de la publicación de la novela de Ken Kesey, *One flew over the Cuckoo's Nest* (Atrapado sin salida en Latinoamérica), y a cincuenta años de la adaptación cinematográfica que se llevó el Oscar a la mejor película y le valió a Jack Nicholson su primera estatuilla; esta escena estigmatizó por varias generaciones la imagen de los institutos psiquiátricos. La terapia electroconvulsiva, a su vez, se usó como ejemplo para ilustrar el barbarismo de la psiquiatría a mitades del siglo XX. Considerándola un método tan antiguo como desproporcionado que privaba a los pacientes de cualquier vestigio de humanidad.

Fue en la misma década que psiquiatra sudafricano, David Cooper, acuñó el término de *antipsiquiatría*. Un movimiento que desafiaba las teorías y prácticas fundamentales de la psiquiatría convencional, incluida la terapia electroconvulsiva, y afirmaba que la psiquiatría se había convertido en una herramienta de control social más que una práctica médica. Con el desarrollo de nuevos fármacos psiquiátricos casi se consideró obsoleta. Sin embargo, su larga historia no ha terminado.



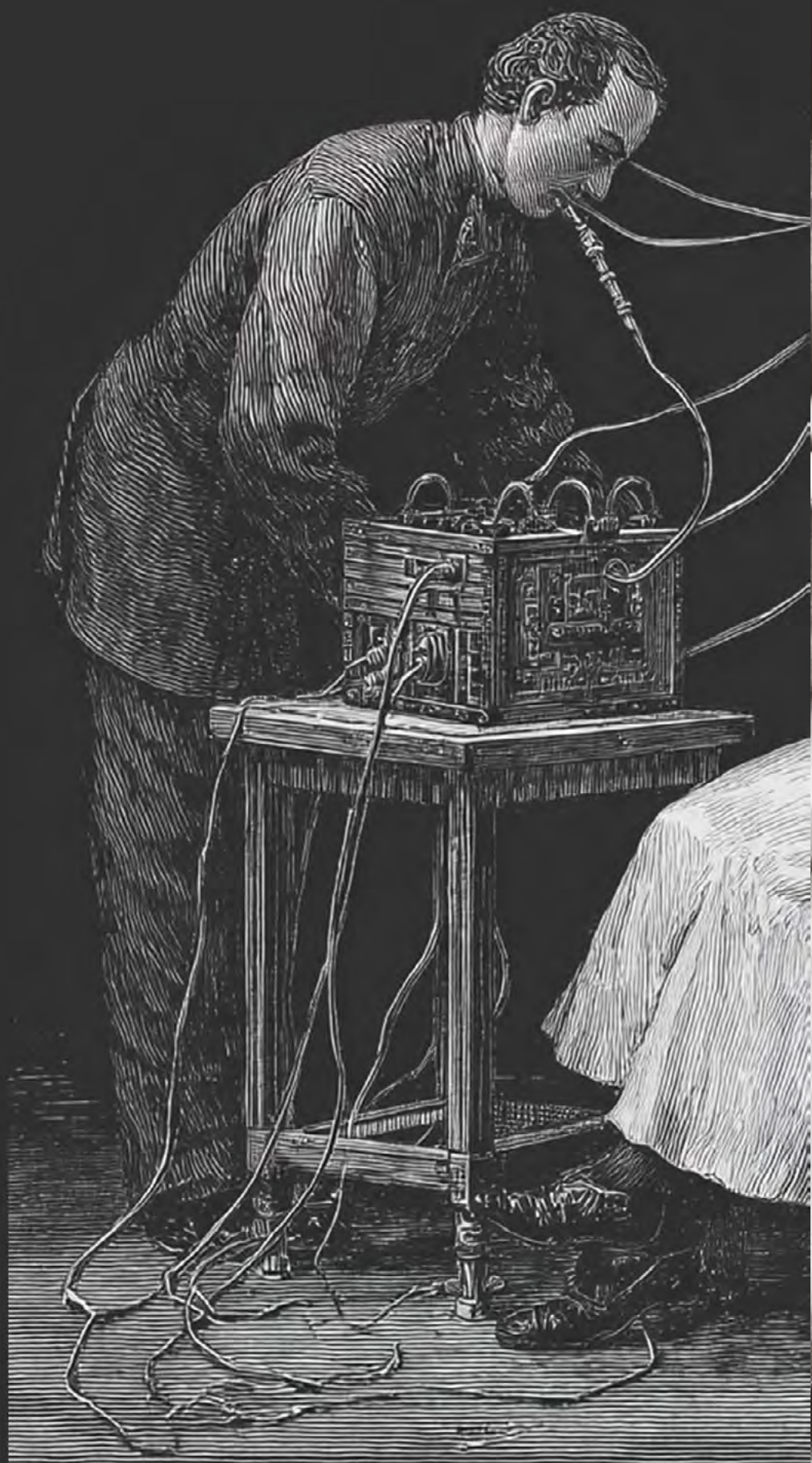
En el siglo cuatro a.c., Hipócrates observó que los individuos con *melancolía* (probablemente depresión severa) mejoraban después de sufrir un ataque epiléptico. Inspirado por estas observaciones, Paracelso (padre de la farmacología moderna) administró en el siglo XVI aceite de alcanfor a una persona con una enfermedad mental para provocarle una convulsión: la primera terapia convulsiva de la historia. En 1934 un médico húngaro, Ladislav Meduna, administró el mismo compuesto de forma intramuscular a un paciente en estupor catatónico (estado de inmovilidad extrema y falta de respuesta a estímulos externos) y a cinco pacientes con esquizofrenia para inducir una crisis convulsiva. En todos los casos reportó una mejoría inmediata y dio el alta a casa. En los meses siguientes distintos médicos probaron este método revolucionario que, a falta de medicamentos psiquiátricos, fungía como la panacea. Otros compuestos como el metrazol, que tenía un efecto más inmediato, comenzaron a utilizarse en busca de mayor eficacia. Fue un médico italiano, Ugo Cerletti, quien exploró la posibilidad de inducir convulsiones a través de descargas eléctricas en vez de fármacos. Durante años experimentó en modelos animales hasta establecer la dosis convulsiva y la dosis letal de la sustancia. En 1938 probó su aparato en un paciente con esquizofrenia severa, quien después de once sesiones pudo ser dado de alta. Al año siguiente se patentó el primer equipo de terapia electroconvulsiva. Durante las décadas siguientes, la terapia electroconvulsiva se expandió por la mayoría de los países occidentales como el tratamiento estándar en casos de depresión severa y esquizofrenia. Sin embargo, con el advenimiento de los fármacos psiquiátricos cayó en desuso. Hoy en día se considera un tratamiento de última línea en casos de depresión severa o esquizofrenia, cuando las opciones farmacológicas han sido agotadas. Pese a esto, hay quienes argumentan – tanto por los avances técnicos en su modo de aplicación como por su eficacia – que debería ser un tratamiento de primera línea en muchas condiciones psiquiátricas. En especial en los casos severos donde se necesita una respuesta rápida, a contrario del efecto de los fármacos que suele demorar algunas semanas.



Ugo Cerletti, quien exploró la posibilidad de inducir convulsiones a través de descargas eléctricas en vez de fármacos. Durante años experimentó en modelos animales hasta establecer la dosis convulsiva y la dosis letal de la sustancia. En 1938 probó su aparato en un paciente con esquizofrenia severa, quien después de once sesiones pudo ser dado de alta. Al año siguiente se patentó el primer equipo de terapia electroconvulsiva.

En la actualidad, la terapia anticonvulsiva se administra sólo bajo el consentimiento informado de los pacientes, donde se aclaran los posibles riesgos y beneficios, además de terapias alternativas. Se considera un procedimiento de muy bajo riesgo, que se realiza en una sala de operaciones con monitoreo continuo y un equipo de anestesiólogos. Al conducirse bajo anestesia, el paciente no percibe la descarga. Se inicia administrando oxígeno hasta alcanzar una saturación alta en sangre, lo que aumenta la sensibilidad cerebral a la descarga y mantiene una oxigenación adecuada por el tiempo que el paciente permanece inconsciente. Después de inducir la anestesia con fármacos de acción corta como el metohexital, propofol o etomidato; se administra un relajante muscular para evitar convulsiones musculoesqueléticas, lo que protege a los pacientes de cualquier tipo de lesión. Con electrodos se monitorea la actividad cerebral y muscular durante las descargas. Las convulsiones suelen durar de quince a setenta segundos. Al finalizar las convulsiones, y cuando el efecto del anestésico cede, el paciente despierta sin queja alguna.

Este tipo de terapia es altamente efectiva (tasas de respuesta mayores al 80%) en condiciones como el trastorno depresivo mayor, la depresión, la catatonía y la manía aguda en el trastorno bipolar. Sin embargo, no está exenta de efectos adversos y de riesgos. Los más significativos son: estado confusional agudo (que típicamente dura de treinta a sesenta minutos después de la descarga), problemas pasajeros de memoria (amnesia retrograda y anterógrada), dolor de cabeza, dolor muscular y náuseas. Esta técnica está contraindicada en ciertas enfermedades cardíacas y se considera segura durante el embarazo, en especial en casos donde el tratamiento farmacológico puede ser un riesgo para el desarrollo del feto.

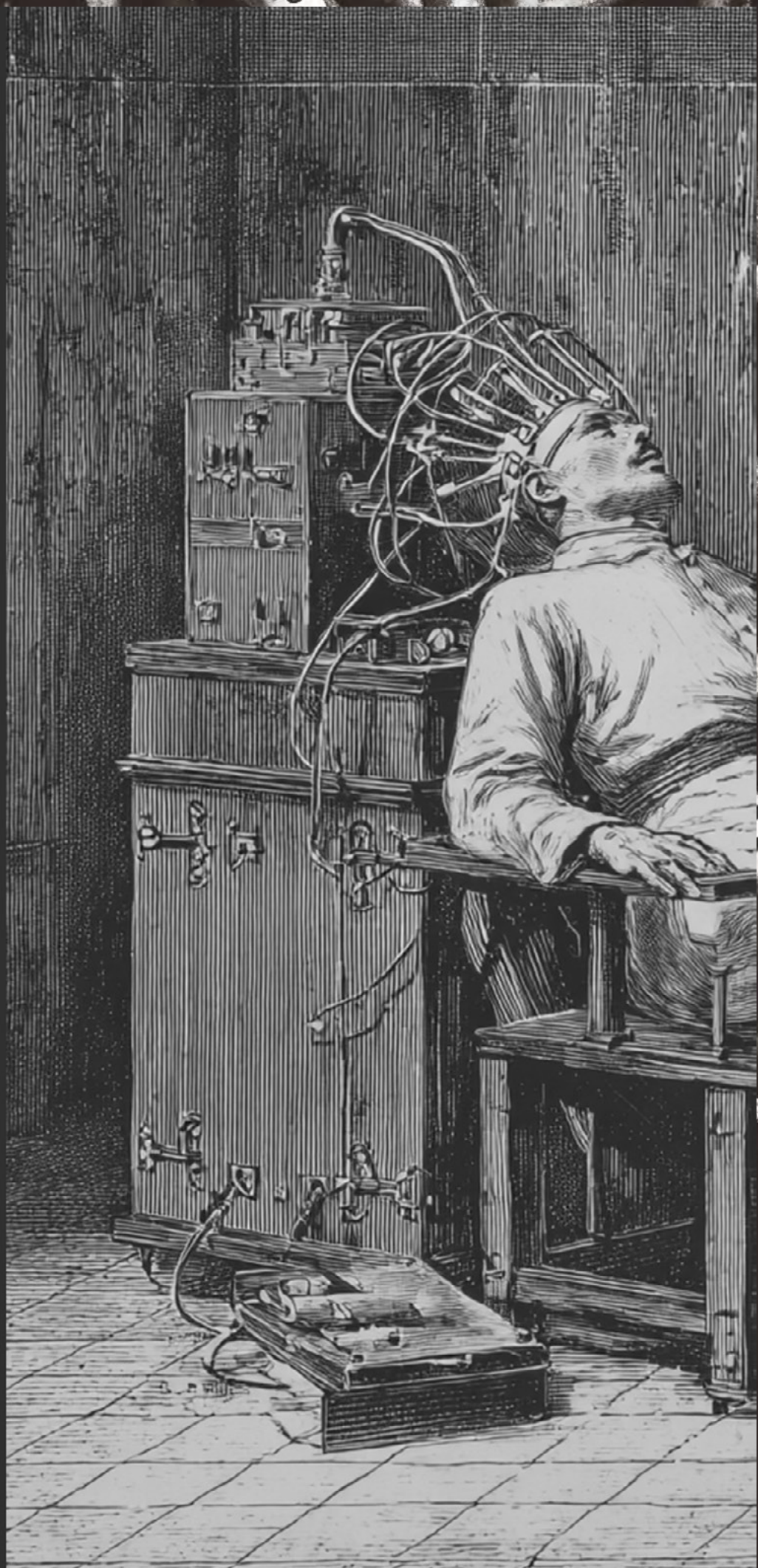


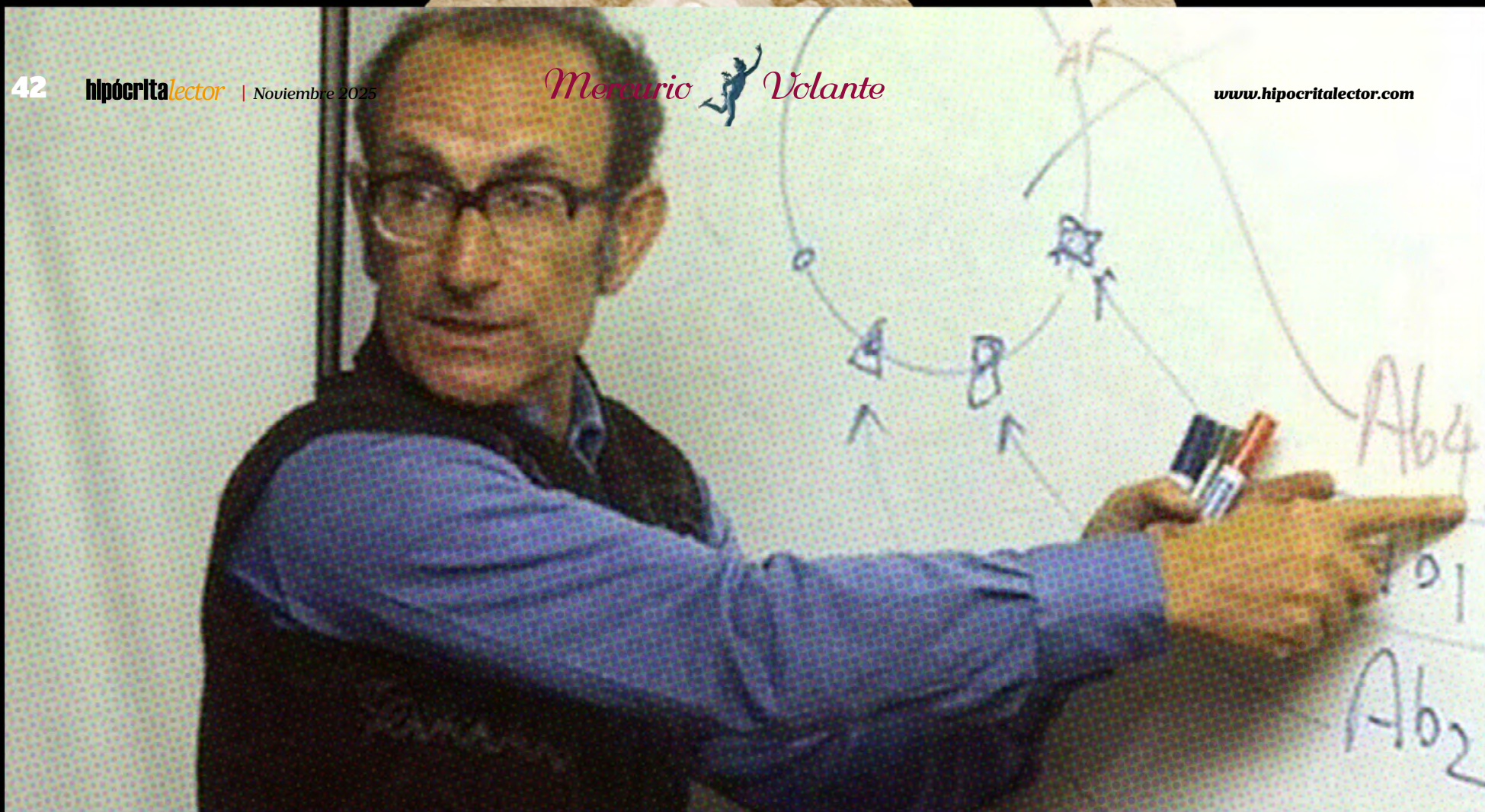
Pese a que la eficacia de la terapia electroconvulsiva es ampliamente reconocida, no existe un consenso sobre los mecanismos biológicos de su efecto terapéutico. Se cree que la descarga eléctrica conlleva a una liberación masiva de neurotransmisores como la serotonina, la norepinefrina y la dopamina, además de aumentar la sensibilidad de sus receptores en las neuronas. Al igual que con los fármacos antidepresivos, esto ayudaría a reestablecer el balance de neurotransmisores en el cerebro. Además, puede estimular áreas del cerebro como el hipotálamo y la hipófisis, que a su vez liberan neurohormonas que afectan múltiples sistemas del cuerpo humano, en especial los que regulan la respuesta al estrés. Estudios más recientes señalan que aumenta los niveles en el cerebro de sustancias como el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), que es esencial para el crecimiento de las neuronas y la formación de nuevas conexiones (neuroplasticidad). Existen indicios de que, además, reajusta la conectividad funcional de redes neuronales de gran escala, interrumpiendo patrones patológicos de actividad cerebral. Algo así como reiniciar una computadora.

Si bien la terapia electroconvulsiva representa uno de los tratamientos psiquiátricos más antiguos, puede decirse con certeza que le espera un largo futuro. En combinación con los medicamentos, es una herramienta muy efectiva para tratar condiciones psiquiátricas severas. En el futuro será posible identificar marcadores que nos ayuden a predecir qué pacientes se beneficiarán de este procedimiento y se podrán establecer terapias mucho más específicas. Procedimientos alternativos como la Esketamina o la estimulación magnética transcraneal (TMS) podrán combinarse para ampliar las posibilidades terapéuticas en varias enfermedades mentales. En una obra más cercana a la realidad, tal vez hubiéramos visto a Randle McMurphy cumpliendo sus sesiones sin agonia y reintegrándose a la sociedad; aunque Jack Nicholson tuviera que esperar por el Oscar.



***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).





Leyendas del Nobel

CÉSAR MILSTEIN:

LA MÚSICA POR TODAS PARTES

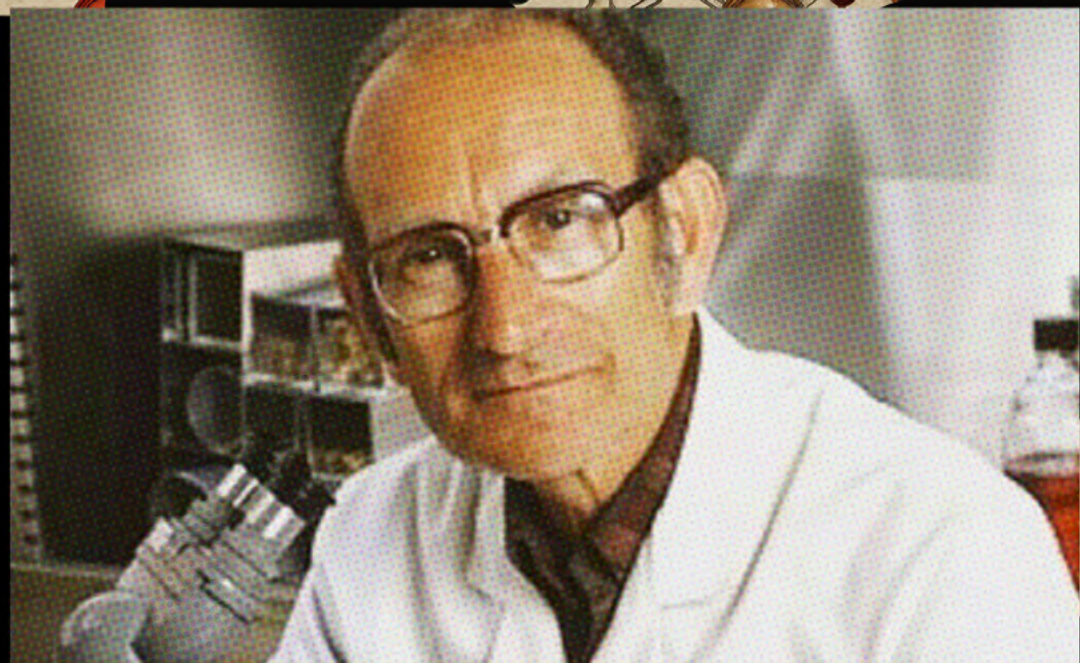
CARLOS CHIMAL

César Milstein obtuvo el Premio Nobel en 1984 por su aportación al torrente de conocimiento que hoy nos permite afrontar la vida cotidiana con relativa facilidad frente a nuestros microscópicos depredadores, virus, y algunos hongos y bacterias. Fue pionero del senderismo con mochila en la espalda, disfrutaba mucho andar en bicicleta, llevaba la música por dentro. Al cabo de varias charlas con él, descubrí que la trayectoria de este benefactor de la humanidad parecía haber salido de una obra musical sobre la lucha humana por vivir mejor.

El periodista argentino, Mario Gabrielli, amigo del profesor Milstein, cuenta que, a la menor provocación, improvisaba ocurrentes letras (muchas de ellas muy agudas) y las cantaba mientras iban a cualquier parte. Hasta el final de su vida inspiró la creación musical. Así, investigadores de química de la Universidad Nacional del Sur en Bahía Blanca, Argentina, aficionados al género folklórico, compusieron una bella melodía dedicada al periplo del profesor Milstein.

César Milstein gustaba de llevar a cabo largas caminatas a través de las calles de Cambridge, su entrañable poblado del Reino Unido. Su madre padeció una afección cardíaca y él había heredado esa condición. Como dije antes, caminaba largos trechos en la región austral. Pero aquí, en Cambridge, con la carga de trabajo de laboratorio y la obligación de pastorear estudiantes de posgrado, no era nada fácil. Armado de disciplina, seguía una dieta estricta y caminaba de manera rutinaria largos tramos.

"Usted es de los míos", le dije. "Vos sos de los míos", contestó él.



Y no podía faltar la bicicleta, según Gabrielli.

Un par de ocasiones caminé con él desde el Medical Research Council hasta Market street, donde nos sentamos frente al mercado instalado en la plaza. Habíamos completado poco más de cuatro kilómetros. Sus múltiples ocupaciones lo mantenían estudiando el complejo campo de la inmunología con bases químicas. Aun así, estuvo dispuesto a contarme su historia, salpicada de los momentos convulsos que sacudieron la nación argentina. Estuvo dispuesto a hablar de algo que a él y a muchos otros argentinos lastimó profundamente. Su exilio, entre voluntario y forzado en Reino Unido, estuvo determinado por su convicción política, su talento para la ciencia, su pasión por la música y la poesía que ésta conlleva.

El profesor Milstein supo interpretar la revisión epistemológica de la biología en los años de 1960, cuando los inmunólogos consiguieron visualizar de manera azimutal las formas de vida microbiana y viral. Eso llevó a la genética molecular al primer plano de la bioquímica. Asimismo, ayudó a consolidar una ciencia híbrida, mezcla de biología y química tradicionales.

Sin embargo, el profesor Milstein experimentó un proceso accidentado de conciencia política antes de de-

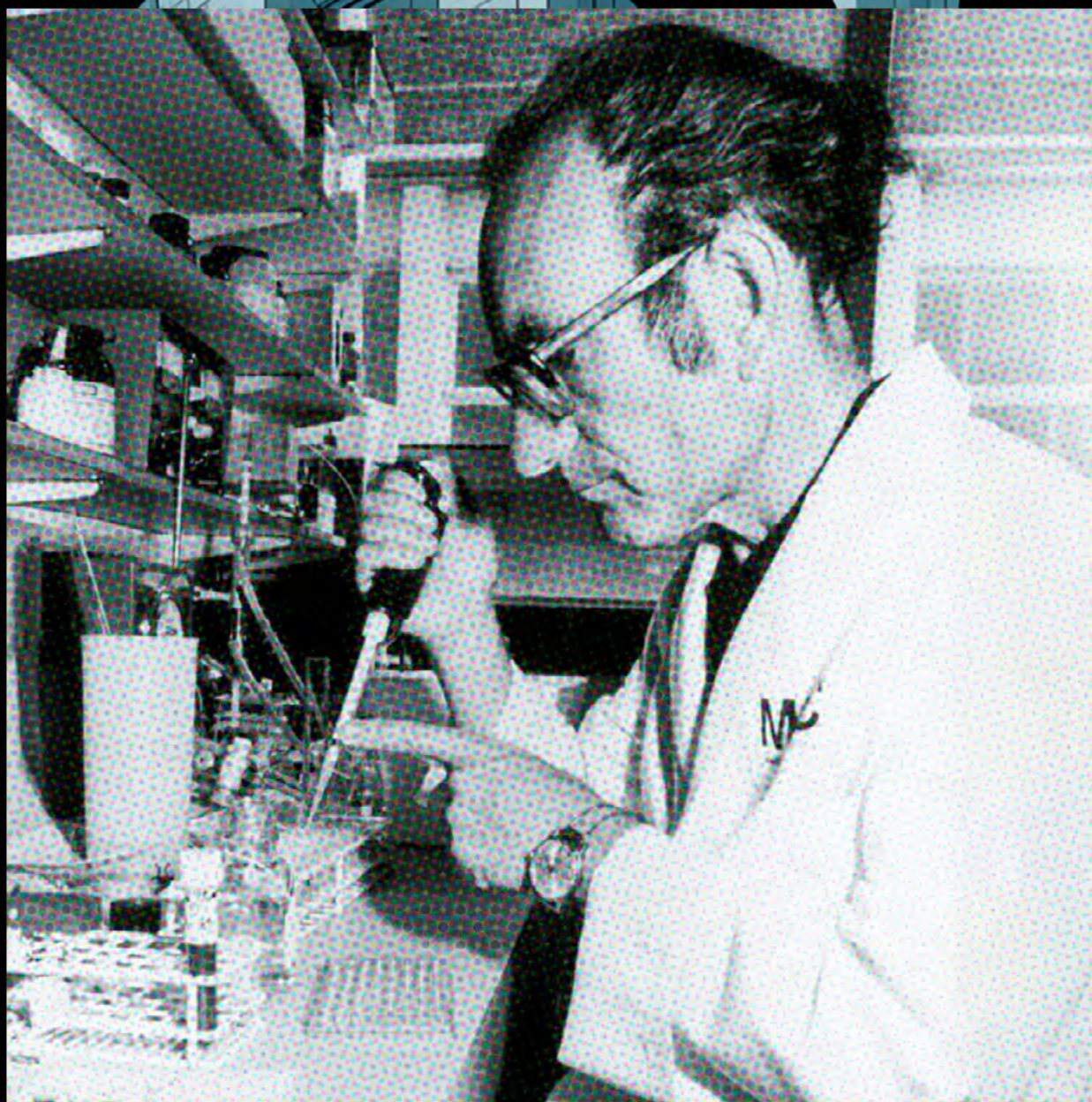
dicarse a la ciencia. Tan rabioso era su desacuerdo con el gobierno de Juan Domingo Perón que estuvo a punto de abandonar sus estudios universitarios por la lucha política. Su madre lo convenció de no cometer ese error, lo cual le trajo una felicidad extra.

“Estudié ciencias químicas en la Universidad de Buenos Aires”, me dijo, “en cuyas aulas conocí a mi compañera de toda la vida, Celia Prilleltensky. Si hubiera desertado, me habría perdido de una persona extraordinaria”.

Celia fue una connotada pianista, trayendo la música a la intimidad del hogar.

Luego de obtener un primer doctorado en bioquímica, el profesor Milstein ganó una beca a fin de proseguir sus investigaciones tempranas en Cambridge. En el legendario laboratorio Henry Cavendish conoció a otra leyenda, Fred Sanger, quien ya había sido galardonado con su primer premio Nobel por idear un método para secuenciar proteínas y, de esa manera, esclarecer la secuencia de la insulina. La charla con Fred apareció en este suplemento (Agosto de 2025), así como en las páginas de *Hipócrita Lector*.

“Fred me indujo a indagar en el alucinante mundo de los anticuerpos monoclonales, esas extrañas moléculas cuya estructura acababa de ser descubierta por Gerald



Edelman y Rodney Porter (1962), lo que les valió el Nobel una década más tarde”, dijo el profesor Milstein.

Un anticuerpo típico es una molécula en forma de Y, con un par de cadenas pesadas por un lado y un par de cadenas ligeras por el otro. Pero, en ese entonces, las bases de su insospechado polimorfismo permanecían inéditas. El profesor Milstein no hubiera contribuido al campo si hubiera permanecido en Argentina. Y es que, antes, en 1961, había regresado a su país para encargarse de la división de Biología Molecular en el Instituto Malbrán. Pero el golpe militar del año siguiente contra el gobierno de Arturo Frondiz le resultó “intolerable”, confesó, así que se vio obligado a hacer las maletas y mudarse en forma definitiva a este pueblo al norte de Londres. El azar empuja una tragedia que se transforma en algo bueno para la humanidad.

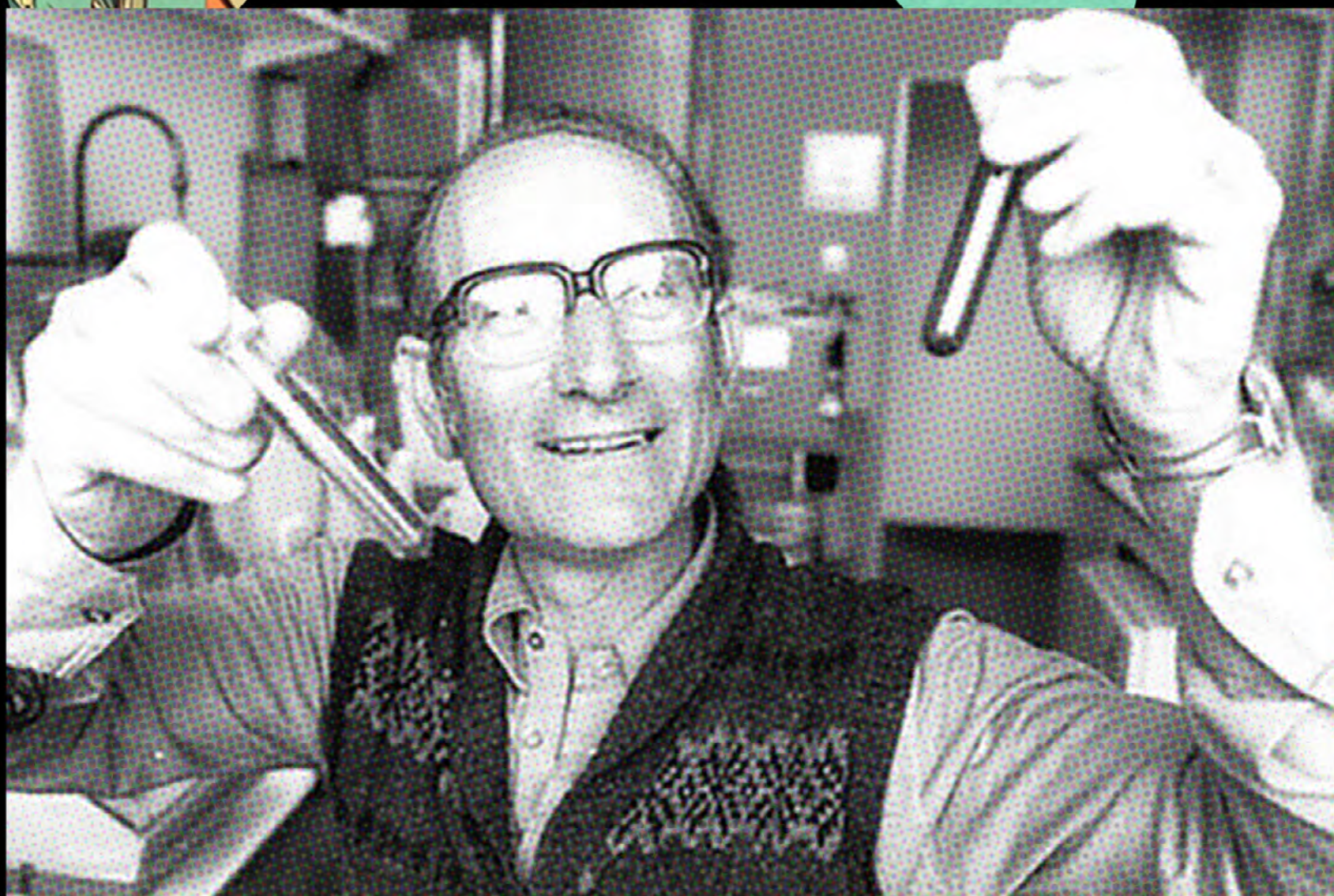
¿Cómo llegó a dilucidar la base estructural del polimorfismo de los anticuerpos?

“La diversidad en el sistema inmune es un proceso darwiniano”, contestó, “la genética molecular es una ciencia compleja, de enorme utilidad tanto para comprender la evolución de las especies como para entender los mecanismos que las sustentan. Pero no solo eso, pone a prueba nuestra inventiva, pues es necesario diseñar las herramientas al vuelo durante la intensa aventura de desentrañar semejantes misterios”.

Como un Sherlock Holmes de nuestros días, me atreví a soltar el símil. Él rio de buena gana. Y recordó:

“En aquel entonces la polémica se centraba en saber si en las regiones Y de dichos anticuerpos había uno o múltiples genes. Cuando comencé a investigar en este campo me enteré de las dudas que se planteaban acerca de la naturaleza del anticuerpo: ¿Se trataba de una proteína o la proteína era una especie de portadora de alguna otra cosa? No se sabía si los anticuerpos formaban una familia o eran una sola proteína que cambia de forma, según el antígeno con el cual se combine. Hacia 1975, con la revolución introducida por la cristalografía, supimos que no estábamos frente a una proteína de mieloma, sino que realmente eran anticuerpos que podían ser inducidos”.

Los anticuerpos monoclonales, también conocidos como inmunoglobulinas, son glucoproteínas especializadas que forman parte del sistema inmune; los producen las células B, las cuales se caracterizan por reconocer y eliminar otras moléculas específicas, antígenos peligrosos para la vida humana y de otras especies. En la actualidad representan una herramienta esencial, muy útil en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas, inmunológicas y neoplásicas, así como para estudiar interacciones entre el organismo patógeno y el hospedero. Se emplean cuando se desea marcar, detectar y cuantificar diversas moléculas en el cuerpo.





Existen más de 25 anticuerpos monoclonales aprobados para su uso humano. Con ellos es posible atacar enfermedades como el botulismo, la difteria, la enfermedad de Kawasaki, hepatitis B, rabia, tétanos, varicela zóster, al igual que diversos tipos de cáncer, entre otros males. Su trascendencia en la medicina es enorme, incluso hoy se producen para defender de SARS-CoV-2 a pacientes que sufren Covid-19 no muy fuerte ni prolongado. Sin duda, se trata de una de las áreas de mayor crecimiento en las industrias biotecnológica y farmacéutica.

“Sentí que la química proteica no era suficiente, había que ir más allá de la secuenciación de proteínas de mieloma si queríamos llegar a entender el mecanismo subyacente a la diversidad funcional de los anticuerpos”, afirmó. “Tuvimos que aventurarnos; era imperante descubrir el péptido que actúa como señal, como bandera de las proteínas secretadas en las cadenas ligeras. Además, junto con Sidney Brenner, a quien también usted conoce como la ‘chispa neozelandesa’, al igual que con el gran Fred Sanger, astuto como ninguno, nos atrevimos a ofrecer hipótesis acerca del papel que desempeñaba la polimerasa de baja fidelidad en la generación de dicha diversidad en los anticuerpos”.

Milstein encontró que las cadenas ligeras tenían una parte química constante y otra variable. ¿Cómo podía explicarse esto?, ¿cómo era posible que millones de estructuras incluyeran una secuencia invariable de ami-

noácidos codificados para uno o más genes, si uno de los dogmas establecidos en la biología molecular era que cada proteína o polipéptido codificaba para un solo gene? Entonces William Dreyer y C.J. Bennett sacudieron a la comunidad de inmunólogos al proponer que dos genes codifican un polipéptido.

“Esta fue una conclusión inevitable”, siguió él, “al quedar demostrado que tres genes codifican para la parte variable de las cadenas ligeras de los seres humanos, cualquiera de ellas capaz de enlazarse con la parte constante, producto de un solo gene. Algunos miembros de mi laboratorio se dedicaron a aprender y refinar técnicas, lo cual nos llevó crear el primer híbrido entre un mieloma y una célula productora de anticuerpos. Tal híbrido produjo un anticuerpo en particular de manera indefinida. Esta fue la primera forma de generar anticuerpos monoclonales. Pronto nos dimos cuenta de que sus consecuencias prácticas eran enormes”.

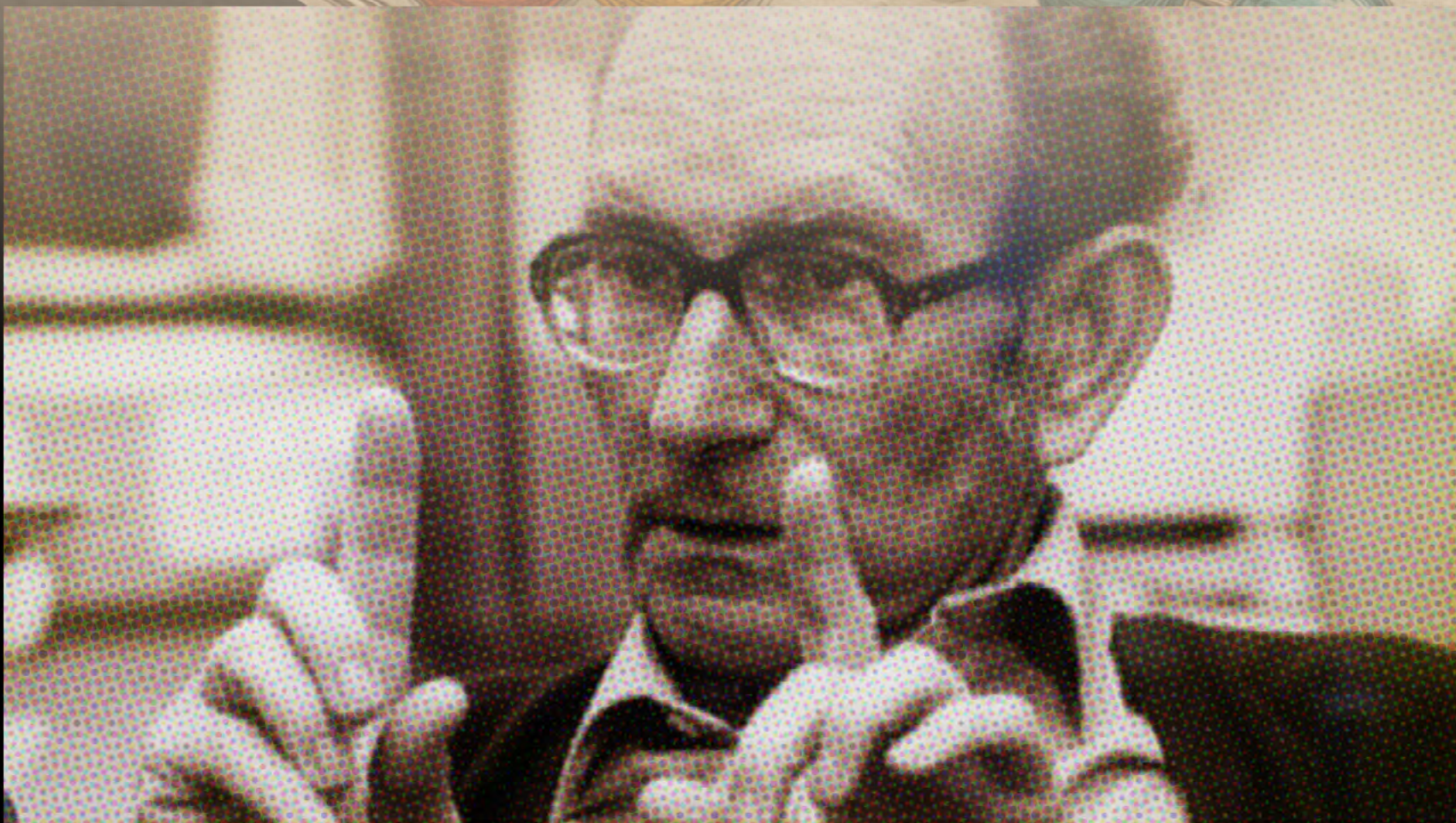
Y agregó:

“Sugería que podíamos fabricar anticuerpos para identificar antígenos de diferenciación en células humanas. Por selección del antígeno fuimos mejorando la estructura, un proceso genuinamente darwiniano. Consistió en introducir un pequeño cambio mediante mutación, que no se apartara de la realidad, esto es, que siguiera la selección determinada por el medio ambiente. Tampoco dejaría de ser heredado debido a que la célula mantuvo su propia estructura”.

En 2010 la cineasta Ana Fraile, sobrina-nieta de Milstein, realizó un documental biográfico intitulado “Un fueguito: la historia de César Milstein”, en sus palabras, “un homenaje a un hombre que encendió millares de fueguitos a lo largo de su vida”.

Como dije antes, obtuvo el galardón de la Academia Sueca por haber descubierto la naturaleza existencial de los anticuerpos monoclonales y su producción en laboratorio mediante esa técnica, conocida como hibridoma. Hubo otros dos premiados, que es muy importante mencionar. Uno de ellos, su alumno, Georges J. F. Köhler. El tercero fue Niels Kaj Jerne, el inmunólogo danés que también prendió fueguitos al consolidar las ideas de Frank Macfarlane Burnet sobre una teoría de la ancestral inmunidad basada en la selección clonal. Esto ha sido fundamental para combatir, por ejemplo, el VIH y su síndrome de inmunodeficiencia.

Es importante señalar también que la técnica ideada por Milstein y Köhler, más las contribuciones de aquellos que aportaron todo su ingenio y talento en el manejo de instrumentos y procedimientos, así como de quienes establecieron marcos teóricos que aclaran rumbos, como Kaj, nunca se patentaron, permitiendo así que la comunidad científica pudiera servirse de ella libremente, potenciando el conocimiento en beneficio de la humanidad.



PORTADA :
IMAGEN ORIGINAL:
EL RAPTO DE PSIQUE
(PIERRE-PAUL PRUDHON)

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 LATAPÍ 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 Indautor, Licitud y Contenido:
En trámite Todos los materiales son
responsabilidad exclusiva de quien los firma.