Mercurio Volante

41 SUPLEMENTO ESPECIAL
hipócritalector
Año III, Julio 2025

LA SOMBRA PORTÁTIL

CONEXIONES CUÁNTICAS

ONDAS VIAJERAS

GUITARRAS CÚBICAS

MECÁNICA DE LA DESINFORMACIÓN

LA PESTE DEL INSOMNIO

JACK STEINBERGER: DESCUBRIR LO INIMAGINADO

Mitos cuánticos

Entrelazamiento universal

Gerardo Herrera Corral

El entrelazamiento cuántico nació de un planteamiento pensado en los años treinta del siglo pasado, cuando Albert Einstein, Nathan Rosen y Boris Podolsky intentaron mostrar que el principio de incertidumbre de la mecánica cuántica estaba equivocado.

Albert Einstein tenía 54 años cuando llegó al Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, en Estados Unidos. Ahí el gran físico siguió ocupándose de sus intentos por unificar la gravitación y el electromagnetismo sin grandes resultados. Lo que sí logró en la nueva institución fue inspirar el futuro científico de quienes estaban cerca.

Boris Podolsky, inmigrante ruso en los Estados Unidos, había sido descrito por Einstein como "uno de los jóvenes más brillantes que ha trabajado y publicado con Paul Dirac", y Nathan Rosen, un israelita norteamericano que fue contratado como asistente de Einstein, son ejemplo del efecto local que Albert Einstein tuvo en los Estados Unidos. Entre los tres escribieron un trabajo publicado en mayo de 1935, de manera que se cumplieron ya 90 años del trabajo seminal que acabaría hoy con el nombre de entrelazamiento cuántico. La idea central era mostrar, con un ejemplo de experimento imaginado, que el principio de Heisenberg no se cumplía.

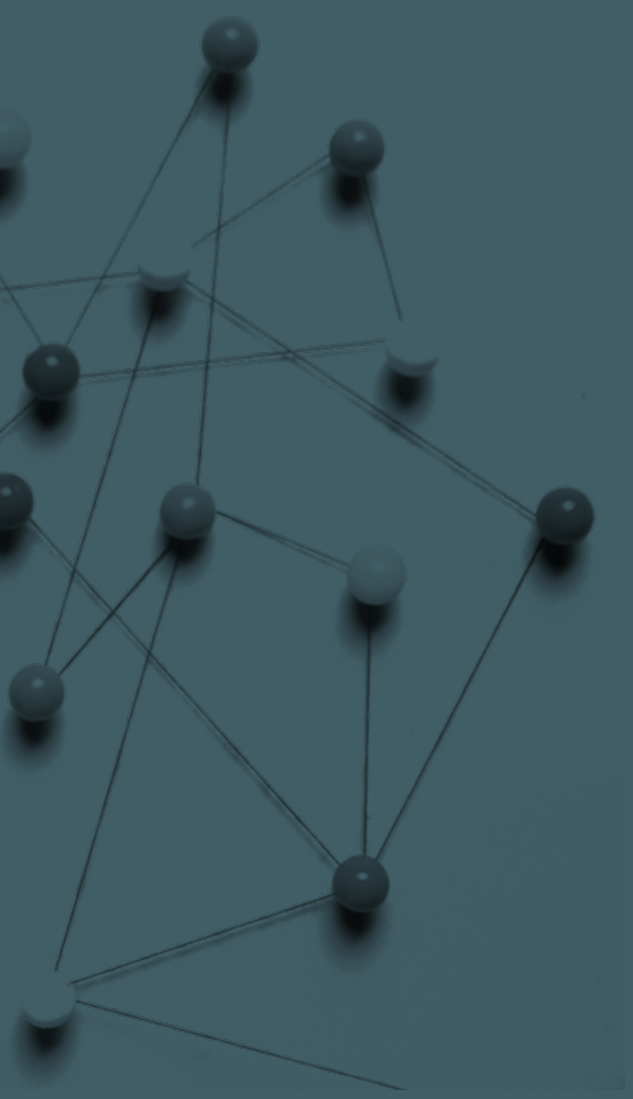
Nathan Rosen y Albert Einstein.

El principio de incertidumbre es fundacional y esencial de la mecánica cuántica. Plantea la imposibilidad de medir velocidad y posición de una partícula al mismo tiempo y con precisión arbitraria. Si medimos la posición de un objeto con gran precisión, entonces la velocidad de éste quedará muy indeterminada. Viceversa, si logramos medir la velocidad de un cuerpo con exactitud, entonces no podremos saber dónde se encuentra.

Ante esa limitación extraordinaria que la naturaleza nos impone, los físicos escépticos de Princeton propusieron un experimento pensado. Los inmigrantes pensaron que si se pudiese tener una partícula que súbitamente se desintegre, generando dos que salgan volando en direcciones opuestas, entonces uno podría medir en una de ellas la velocidad y en la otra la posición para tener toda la información del sistema, sin que nada impida que contemos con la velocidad y posición al mismo tiempo y gran precisión.

De esa manera, pensaron estos disidentes de la mecánica cuántica, quedaba descalificado el principio de incertidumbre porque había manera de conocer ambas, posición y velocidad, de manera simultánea. La propuesta se llegaría a conocer como experimento EPR, por las siglas en los apellidos de sus autores: Einstein, Podolsky y Rosen.

Boris Podolsky.



Tendría que pasar mucho tiempo para que se verificara en el laboratorio que, al medir la posición de uno de los objetos, la velocidad de la otra era efectivamente perturbada, haciendo imposible su medición. Contrario a lo que creían Einstein y sus amigos, se mostró que ambas están entrelazadas y que, al observar a una, se modifica la otra, independientemente de la distancia a la que se encuentre para que se verifique el principio de incertidumbre. El experimento EPR quedaba superado porque la naturaleza realiza lo que era impensable. Al observar uno de los objetos se modifica el otro.

El "experimento EPR" se transformó entonces en la "paradoja EPR", pues resulta inexplicable que efectuar una acción en un punto apartado del espacio provoque algo en otro de manera instantánea. El problema se agudizó. Parece indicarnos la existencia de fantasmas que le dicen a una de las partículas que la otra fue observada. Da la impresión de una acción instantánea a distancia.

Desde entonces se han construido muchos mitos. Un razonamiento común en nuestros días considera que, puesto que todas las partículas fueron creadas después del Big Bang en un estado que, posiblemente, se encontraba en equilibro, bien podemos pensar que todas están entrelazadas. Puesto que todo lo que vemos se formó a partir de alguna sustancia en condiciones estables y con números cuánticos definidos, entonces el Universo entero se encontraría entretejido. No sabemos exactamente qué puede significar esto, pero a muchas personas les mueve a pensar que hay algo místico detrás de las cosas, que existe una interconexión cósmica invisible y que en todo esto hay misterio y profundidad como para cultivar y predicar algún tipo de filosofía.

Mucha gente encuentra fascinante la posible existencia de un enredo universal. Un mundo interconectado en que la localidad no tiene sentido y lo más alejado del Universo afecta nuestro día a día. Algunos consideran que estar entrelazado es una especie de conexión, cuando lo que la mecánica cuántica establece es que el entrelazamiento cuántico genera una correlación entre los estados posibles de un sistema. Cuando decimos que las partículas entrelazadas con las que tratamos en el laboratorio están enredadas al máximo significa que están máximamente correlacionadas.

Aunque hay razones para pensar que el grado de entrelazamiento cambia con cada interacción posterior, la idea es popular y se lleva a niveles de imaginación insospechadas. Una sola interacción aleatoria alterará el estado entrelazado de tal manera que la correlación ya no sea detectable. Se podría decir que el entrelazamiento ha cambiado, pero no sabemos cuál es ese cambio, por lo que se ha perdido parte de la información.

Ahora mucha gente habla del amor en términos de entrelazamiento de las almas, y se explican las coincidencias en términos del efecto que el incomprendido efecto cuántico puede tener en nuestras vidas. Un mito surgió desde las entrañas de una teoría que busca entender el mundo microscópico.

***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).

Ondas viajeras en tu cerebro

Elías Manjarrez

Tu rostro ya no es el mismo porque siempre viaja en el
tiempo y el espacio,
pálpalo,
y siente cómo se transforma.

La intuición nos enseña que todo cambia con el tiempo y en el espacio. Sin embargo, no siempre comprendemos que muchos de esos cambios se deben a procesos ondulatorios, ni valoramos lo suficiente la importancia de las ondas que se desplazan de un punto a otro en la materia no viva, o en la materia viva. Aquí te explicaré que en nuestro cerebro existen ondas viajeras que permiten la comunicación entre regiones anatómicas distantes, tanto durante el sueño como en la vigilia.

La física y la química nos han mostrado que la materia exhibe vibraciones propagantes. La luz, por ejemplo, está compuesta por ondas electromagnéticas viajeras, mientras que el sonido se transmite mediante ondas mecánicas. Por su parte, la biología nos enseña que los seres vivos han desarrollado sensores celulares especializados, como la vista y el oído, para detectar esas ondas. Pero, ¿qué sensores se emplean para detectar las ondas viajeras cerebrales?

La respuesta es que las ondas viajeras cerebrales se pueden detectar con un dispositivo amplificador que registra la actividad eléctrica mediante pequeños sensores metálicos llamados *electrodos*, que se colocan sobre el cuero cabelludo con respecto a un electrodo de referencia que se posiciona en la piel de las orejas.

A este dispositivo se le conoce como amplificador de electroencefalografía (EEG). Los sensores metálicos del amplificador de EEG, al estar en contacto con un gel conductor, captan las señales eléctricas de miles de millones de neuronas. Desde que Hans Berger introdujo el dispositivo de EEG para uso clínico en la década de 1920 [1], sabemos que el cerebro genera patrones eléctricos rítmicos conocidos como oscilaciones.

Aunque el interés por las ondas cerebrales es antiguo, solo con el desarrollo del EEG de alta densidad fue posible observar que muchas de estas oscilaciones no son estáticas. En realidad, se propagan a través de la corteza como si fueran ondas viajeras. Registros más recientes, como la electrocorticografía (ECoG), donde los electrodos se colocan directamente sobre el cerebro durante cirugías, y los registros intracerebrales, han permitido estudiar estos fenómenos con mayor precisión.

Así, casi doscientos años después, la neurociencia nos está mostrando de manera más precisa cómo algunas de estas oscilaciones se desplazan en el espacio cortical como si fueran ondas viajeras, revelando una nueva forma de comunicación entre regiones anatómicas.

Uno de los hallazgos más llamativos fue reportado por Massimini y colaboradores (2004) [2], quienes observaron que durante el sueño profundo las oscilaciones lentas del cerebro se propagan desde la zona frontal hacia la parte posterior de la cabeza. Esto sugiere que el sueño no es una desconexión, sino una forma organizada de actividad cerebral que puede influir en la plasticidad sináptica.

Es metafórico comparar el ritmo del sueño profundo con el oleaje del mar. Mientras una ola marina aparece cada siete segundos, el cerebro dormido produce una onda cada segundo o incluso más lento, en un ritmo inferior a 1 Hz.

En 2017, Kurth y su equipo [3] replicaron los hallazgos de Maximini y colaboradores en niños de distintas edades. Encontraron que las ondas cerebrales viajeras durante el sueño recorren distancias más cortas en los más pequeños, lo que sugiere que este fenómeno está vinculado al desarrollo de la mielina, una sustancia esencial para la transmisión rápida de señales neuronales. De manera metafórica podríamos decir que el cerebro de los niños más pequeños durante el sueño se

Uno de los hallazgos más llamativos fue reportado por Massimini y colaboradores (2004) [2], quienes observaron que durante el sueño profundo las oscilaciones lentas del cerebro se propagan desde la zona frontal hacia la parte posterior de la cabeza. Esto sugiere que el sueño no es una desconexión, sino una forma organizada de actividad cerebral que puede influir en la plasticidad sináptica.

comporta como una bahía pequeña en que las olas son más cortas, y el de los adultos a una playa de mar abierto en que las olas son más amplias.

Estudios más recientes en adultos despiertos, como los de Zhang et al. (2018) [4] y Mohan et al. (2024) [5], han mostrado que las ondas en frecuencias theta y alfa también se propagan por la corteza. Su dirección cambia según la tarea cognitiva que se esté realizando. Cuando aprendemos, viajan de atrás hacia adelante, y cuando recordamos, lo hacen en sentido contrario. Esto indica que las ondas viajeras ayudan a coordinar la actividad cerebral de forma dinámica.

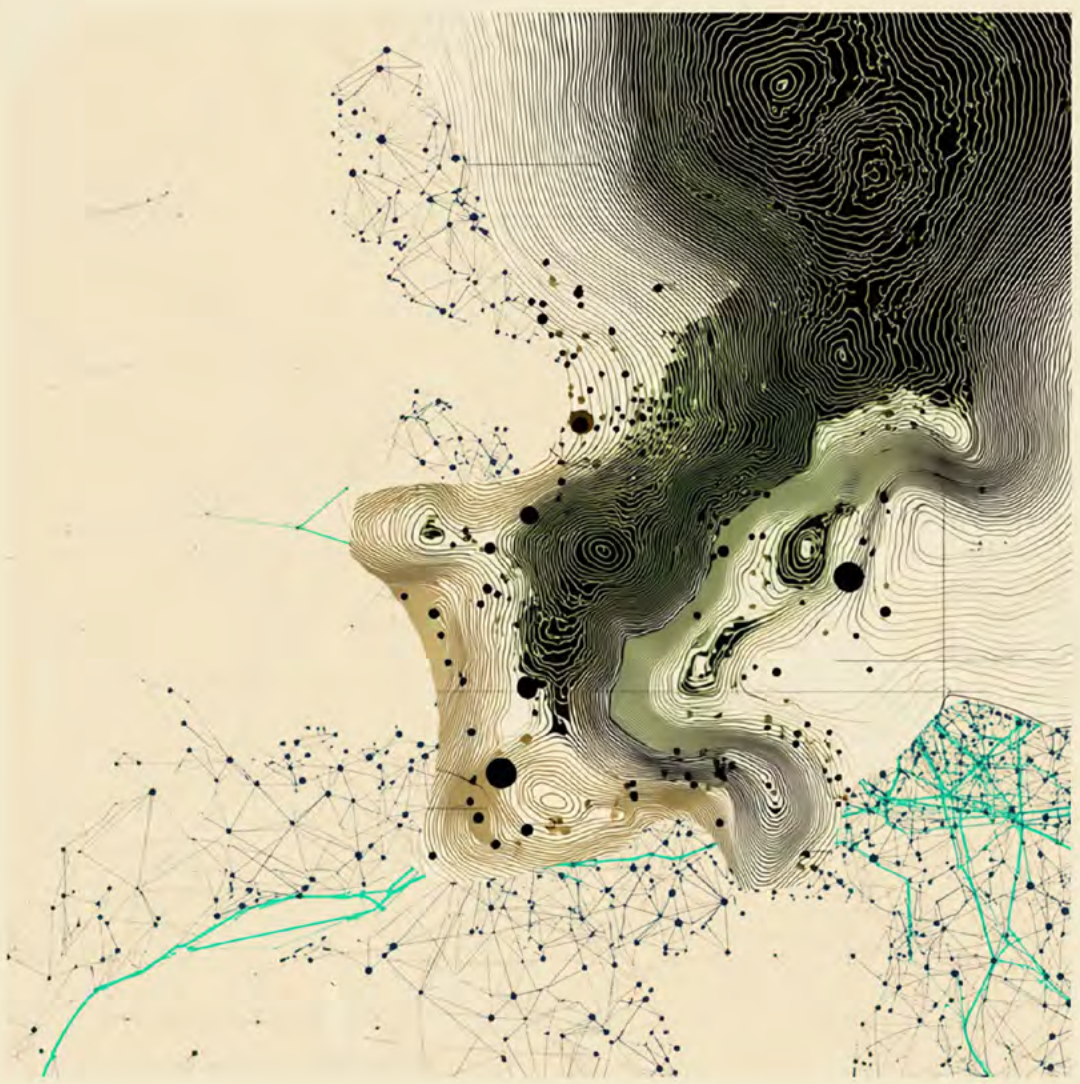
Algo importante es que el estudio de las ondas cerebrales viajeras es prometedor en la clínica médica, ya que podrían usarse como biomarcadores del grado de afectación neurológica. Por ejemplo, Sihn y Kim (2024) [6] encontraron que las personas con esquizofrenia exhiben ondas alfa viajeras que no siguen su trayectoria habitual, lo que puede estar relacionado con la desconexión funcional que caracteriza al trastorno.

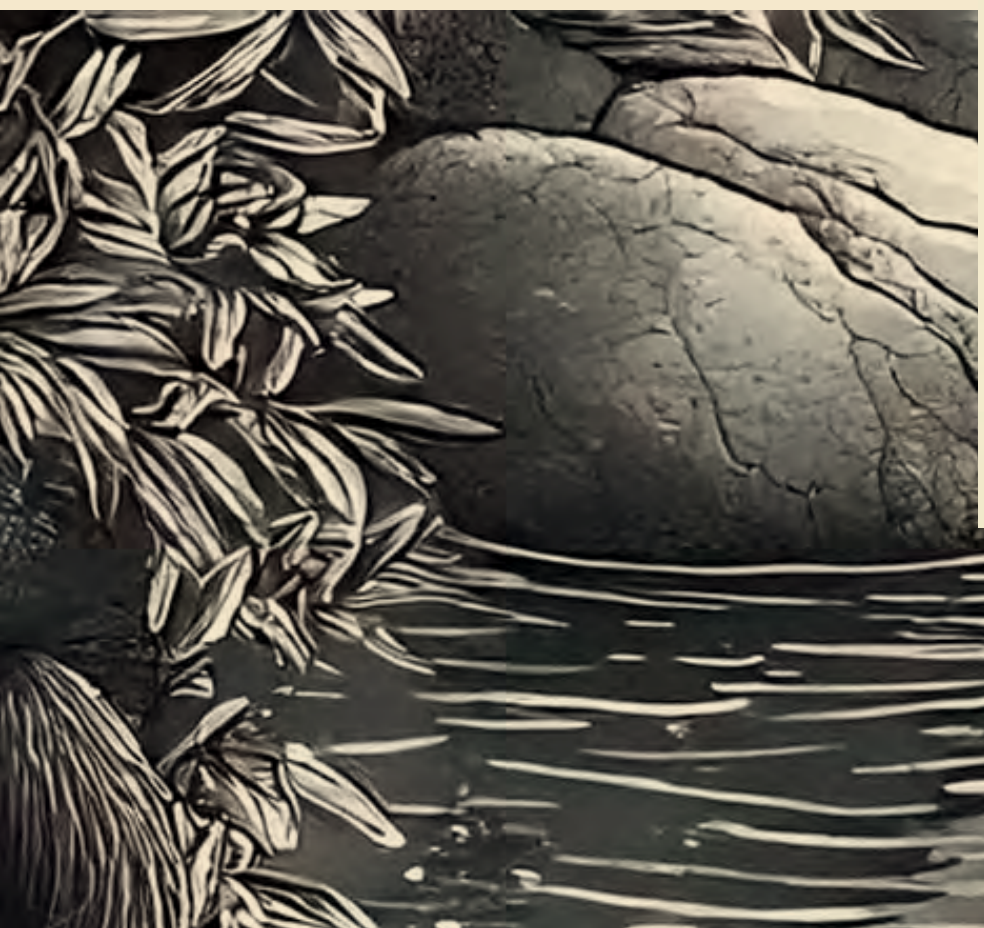
Del mismo modo, Guo y colegas en el 2025 [7] propusieron que, en personas jóvenes con depresión, las ondas viajeras alfa en el hemisferio izquierdo inducidas por estímulos visuales intermitentes de 10 estímulos fóticos por segundo (10 Hz) podrían predecir si responderán o no a un tratamiento. Estos hallazgos abren la puerta a una medicina más personalizada y preventiva.

Los estudios recientes en animales permiten verificar que la propagación de ondas cerebrales en humanos no es un fenómeno secundario y tienen un papel funcional. En 2023, Zabeh y su equipo [8] mostraron que los monos exhiben ondas beta que viajan entre áreas del cerebro relacionadas con la toma de decisiones. Lo más interesante fue que estas ondas eran más evidentes después de una recompensa, y que su propagación parecía influir en las decisiones del animal en la siguiente tarea.

Esta investigación es muy reveladora. En el experimento, los monos debían mirar un punto en una pantalla y luego hacer un movimiento rápido de los ojos hacia un nuevo punto que aparecía inesperadamente en la misma pantalla para obtener jugo como recompensa. A este movimiento rápido de los ojos se le llama movimiento sacádico.

Los estudios recientes en animales permiten verificar que la propagación de ondas cerebrales en humanos no es un fenómeno secundario y tienen un papel funcional. En 2023, Zabeh y su equipo [8] mostraron que los monos exhiben ondas beta que viajan entre áreas del cerebro relacionadas con la toma de decisiones. Lo más interesante fue que estas ondas eran más evidentes después de una recompensa, y que su propagación parecía influir en las decisiones del animal en la siguiente tarea.





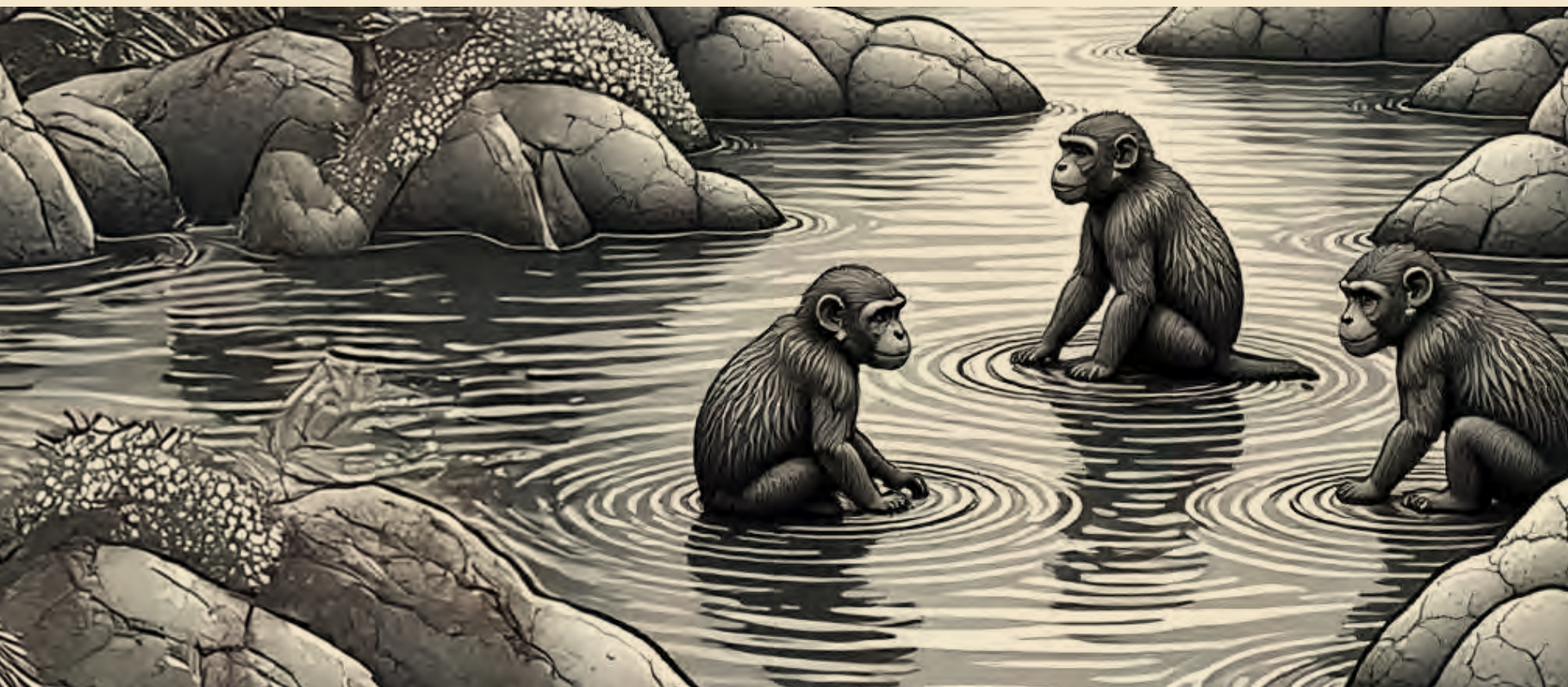
Como resultado, el mono recibía o no una recompensa, de forma probabilística (por ejemplo, un 70 % de posibilidad de obtener jugo si miraba correctamente el nuevo punto emergente). ¿Por qué esto es interesante? Aunque la recompensa era aleatoria, los monos cambiaban su comportamiento dependiendo de si habían recibido jugo en la prueba anterior. Por ejemplo, si habían sido premiados, era más probable que respondieran con mayor rapidez o precisión en la siguiente sacada. Si no habían recibido jugo, podían dudar o reaccionar de forma distinta, como si recordaran que no funcionó antes.

Lo interesante es que las ondas viajeras aumentaban durante estos cambios de comportamiento asociados a la recompensa, sobre todo en la zona frontal. Esto sugiere que el cerebro estaba procesando el historial de recompensas para influir en la siguiente decisión.

De forma similar, Liang y colegas, también en el 2023 [9], demostraron que en monos que realizaban tareas motrices, la dirección de propagación de las ondas en la corteza motora se relacionaba con la dirección del movimiento que iban a ejecutar. Es decir, las ondas viajeras portan información conductual precisa.

Otros trabajos recientes han mostrado que los modelos computacionales aportan una base para entender cómo se producen y se mantienen las ondas viajeras en el cerebro, además de servir para diseñar nuevas tecnologías de estimulación cerebral más precisas.

En el 2024, Koller y su equipo [10] propusieron que las ondas viajan siguiendo patrones dictados por la conectividad estructural del cerebro (el conectoma), como las redes de fibras de sustancia blanca. De manera análoga, en este 2025, Butler y Cruz [11] simularon redes de neuronas con plasticidad sináptica y observaron que las ondas viajeras pueden formar rutas preferidas en la red, reforzando conexiones a lo largo de su trayectoria. Esto sugiere que las ondas viajeras cerebrales podrían tener un papel activo en el aprendizaje en el humano.



Cabe destacar que casi todos estos trabajos emplean una medida basada en el cambio de fase entre señales propagantes; es decir, analizan la diferencia temporal entre la aparición de una señal eléctrica en diferentes electrodos, ordenándola en el tiempo para inferir su propagación. Sin embargo, en nuestro laboratorio propusimos una alternativa para medir estas ondas con un método basado en el cálculo del centro de masa [12].

En ese trabajo [12] desarrollamos un algoritmo innovador que calcula el centro de masa de las ondas viajeras en el cerebro humano. Usando registros de EEG con 30 electrodos, este método permitió estimar no solo la dirección y trayectoria completa de cada onda viajera, sino también su velocidad instantánea, algo que no ofrecen los métodos tradicionales.

En lugar de asumir una propagación uniforme, el algoritmo reconstruye cómo las ondas realmente se desplazan por la corteza, desde su punto de inicio hasta su destino, identificando trayectorias como frontal-occipital, occipital-frontal o lateral-lateral, entre otras trayectorias. Aunque esta herramienta aún no se ha difundido de forma amplia, puede complementar los enfoques actuales y aportar una perspectiva más detallada sobre el dinamismo cerebral. Ahora mismo estamos trabajando sobre este tema en el laboratorio.

Así, las ondas viajeras no son una curiosidad eléctrica, sino una forma de comunicación cerebral que influye en funciones clave como la memoria, el sueño, el movimiento y la emoción de una recompensa. Además, representan un campo emergente con potenciales aplicaciones médicas.

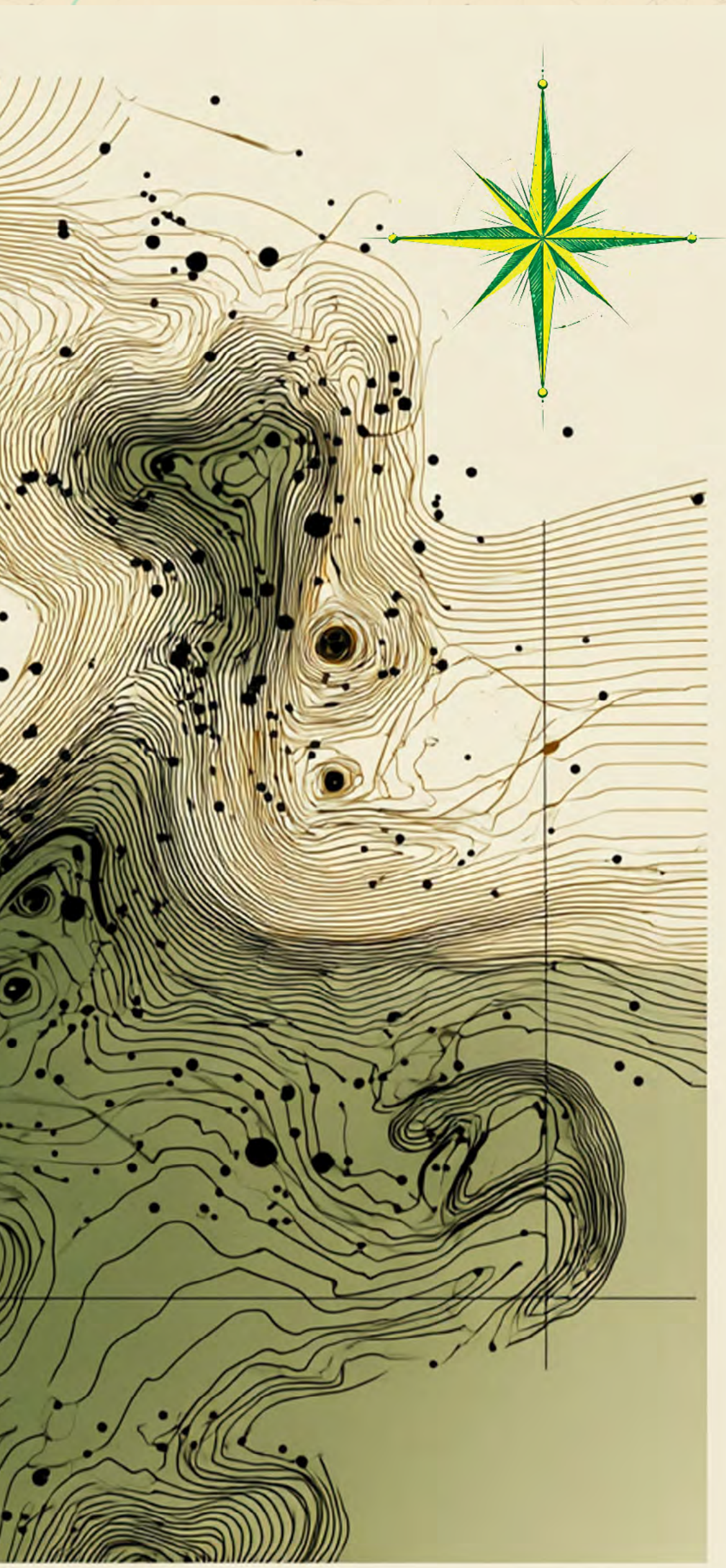
Para finalizar, me gustaría reflexionar que mientras todo cambia en el tiempo y el espacio las ondas viajeras crean rutas en la materia cerebral, y la despiertan, para mantener un diálogo entre regiones anatómicas, ya sea durante el silencio del sueño o en el bullicio del pensamiento despierto, desplegando en cada cerebro un interior de agitadas olas eléctricas con caminos preestablecidos.

Por eso, así como tu rostro, también tu cerebro ya no es el mismo cada instante. Porque allá adentro hay un mar inquieto, propagante. Pálpalo con el oxígeno de tu respiración profunda, y siente cómo se transforma.

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] Berger H. “Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. 1st report”. *Arch Psychiat Nervenkr.* 1929;87:527–570.
- [2] Massimini M, Huber R, Ferrarelli F, Hill S, Tononi G. “The sleep slow oscillation as a traveling wave”. *J Neurosci.* 2004;24(31):6862-6870. doi:10.1523/JNEUROSCI.1318-04.2004
- [3] Kurth S, Riedner BA, Dean DC, et al. “Traveling Slow Oscillations During Sleep: A Marker of Brain Connectivity in Childhood”. *Sleep.* 2017;40(9):zsx121. doi:10.1093/sleep/zsx121
- [4] Zhang H, Watrous AJ, Patel A, Jacobs J. “Theta and Alpha Oscillations Are Traveling Waves in the Human Neocortex”. *Neuron.* 2018;98(6):1269-1281.e4. doi:10.1016/j.neuron.2018.05.019
- [5] Mohan UR, Zhang H, Ermentrout B, Jacobs J. “The direction of theta and alpha travelling waves modulates human memory processing”. *Nat Hum Behav.* 2024;8(6):1124-1135. doi:10.1038/s41562-024-01838-3
- [6] Sihn D, Kim SP. “Disruption of alpha oscillation propagation in patients with schizophrenia”. *Clin Neurophysiol*. 2024;162:262-270. doi:10.1016/j.clinph.2024.02.028
- [7] Guo X, Zhang H, Zeng B, et al. “Electroencephalography Alpha Traveling Waves as Early Predictors of Treatment Response in Major Depressive Episodes: Insights from Intermittent Photic Stimulation”. *Biomedicines.* 2025;13(4):1001. Published 2025 Apr 21. doi:10.3390/biomedicines13041001
- [8] Zabeh E, Foley NC, Jacobs J, Gottlieb JP. “Beta traveling waves in monkey frontal and parietal areas encode recent reward history”. *Nat Commun.* 2023;14(1):5428. Published 2023 Sep 5. doi:10.1038/s41467-023-41125-9
- [9] Liang W, Balasubramanian K, Papadourakis V, Hatsopoulos NG. “Propagating spatiotemporal activity patterns across macaque motor cortex carry kinematic information”. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2023;120(4):e2212227120. doi:10.1073/pnas.2212227120
- [10] Koller DP, Schirner M, Ritter P. “Human connectome topology directs cortical traveling waves and shapes frequency gradients”. *Nat Commun.* 2024;15(1):3570. Published 2024 Apr 26. doi:10.1038/s41467-024-47860-x
- [11] Butler K, Cruz L. “Neuronal traveling waves form preferred pathways using synaptic plasticity”. *J Comput Neurosci.* 2025;53(1):181-198. doi:10.1007/s10827-024-00890-2
- [12] Manjarrez E, Vázquez M, Flores A. “Computing the center of mass for traveling alpha waves in the human brain”. *Brain Res.* 2007;1145:239-247. doi:10.1016/j.brainres.2007.01.114

¡ABRID LOS PARAGUAS!

Rosalía Pontevedra

El verano aprieta. Es momento de sacar uno de los inventos tecnológicos más ingeniosos y útiles que se le han ocurrido a la humanidad. Providencial, milenario y sabio como los antiguos chinos, el paraguas, la sombra que puedes llevar a todas partes, fue concebida al menos unos once siglos antes de nuestra era durante el imperio de la dinastía Qin.

En el museo de los carros jalados por caballos de terracota y bronce de Beijing, puede verse un gran parasol ofreciendo sombra a sus notables conductores en el primero de ellos, realizado con minucioso realismo en dicha aleación metálica. Nadie sabe los nombres de los chinos de la Antigüedad que idearon la pólvora, el papel, las cometas o papalotes y los hicieron realidad. Lo mismo sucedió con la sombrilla/paraguas.

Imaginemos el asombro temprano ante semejante ingenio tecnológico, tanto así que se convirtió de inmediato en un objeto del deseo, signo de estatus alto entre las clases pudientes de Egipto, y más tarde de Grecia y Roma. Vaya manera de burlar el Sol y la lluvia. Se dice que el emperador chino iba protegido con cuatro niveles de sombrillas, todas ellas muy elaboradas, y que los gobernantes de Siam y Birmania ostentaban sombrillas de ocho a veinticuatro capas.

Un invento notable dispara la creatividad de otros, aguza sus sentidos prácticos y estéticos, en este caso de los artesanos del bambú, la madera, el hueso y las telas, así como de aquellos expertos en tratarlas. Se trata de uno de esos artefactos trascendentales para vivir mejor que, al verlo, de primera impresión luce sencillo. Y lo es, su larga historia de cálculo ingenieril y conocimiento artesanal lo corrobora.

Los paraguas no solo tenían que ser eficaces, ya desde la antigüedad china ligeramente impermeables, sino que también debían de ostentar belleza. Sin embargo, durante los oscuros años de la Edad Media las sombrillas se cerraron en Europa para volver a abrirse en los albores del Renacimiento debido a la expansión de la ruta de la seda, no así en Oriente. Durante el reinado de Luis XIV las clases acomodadas lo redescubrieron; comenzaron entonces a utilizar enormes sombrillas como paraguas en los días lluviosos parisinos a fin de evitar que se arruinaran sus atuendos costosos y vistosas pelucas, pero eran tan pesados e incómodos que no fueron muy socorridos.

Fue así que a principios del siglo XVIII un fabricante de bolsos y carteras, Jean Marius, tuvo a bien innovar el artefacto, haciéndolo plegable y utilizando tela de tafetán un tanto impermeable. Para cerrarlo había que apretar un botón y para abrirlo debía extenderse el mango. En la década de 1760 se popularizó su uso, de manera que si a alguien no le era posible costear la compra de uno, tenía la opción de rentarlo por horas. A pesar de su evidente utilidad, los varones se negaban a usarlo por considerarlo algo propio del "sexo débil". No fue sino hasta que a mediados del siglo XVIII el excéntrico comerciante aventurero, Jonas Hanway, decidió usar la cabeza para demostrar a los prejuiciosos caballeros londinenses cuán equivocados estaban al soportar estoicamente la lluvia, arruinando de manera gratuita sus sombreros y ropajes.

JONAS HANWAY

(THE FIRST ENGLISHMAN WHO EVER CARRIED AN UMBRELLA)

El paraguas en la cultura de masas

Singin' in the Rain
1952

Mary Poppins
1964

Batman regresa
1992

El paraguas más común presenta costillas de metal que se doblan bajo la copa, y fue vendido por el inglés Samuel Fox en 1852. Los modelos compactos y colapsables han estado disponibles desde los años de 1930, mientras que hacia mediados del siglo XX se empezó a utilizar nylon, material que no se pudre y es más resistente que el tafetán, lo cual impulsó la producción de paraguas en general y en particular el estilo palo de golf, que comenzó a comercializarse de manera masiva a partir de los años de 1970. La primera tienda dedicada a vender tales ingenios, James Smith and Sons, es famosa porque abrió sus puertas en New Oxford Street de Londres, en 1830, y aún lo hace hoy en día.

A pesar de su sencillez, está hecho de varias partes. La contera es la parte superior que, dependiendo del tipo de paraguas y el uso que se le da, puede ser plana, puntiaguda o cónica, fabricada ya sea en madera, metal, fibra de vidrio o plástico. El toldo que brinda la protección deseada, por lo común está hecho de tela pongee, ni muy ligera ni muy pesada. Algunos paraguas incluyen un toldo ventilado con un par de capas superpuestas; el dosel deja que el viento fluya a través de sus capas. Esto evita que se voltée en un ventarrón.

La muesca se fija al eje del paraguas y conecta las nervaduras a dicho eje mediante el corredor. Algunas muescas se fabrican de metal, pero la mayoría es de plástico. Las costillas o nervaduras le dan la rigidez necesaria con objeto de protegernos, formando la silueta característica de una sombrilla o paraguas cuando se despliega. Una camilla se agrega a las nervaduras, cuya función es estirar la capota al abrirlo. El manejar es un aditamento que muchas personas aprecian particularmente; algunos mangos son curvos, otros rectos, incluso telescópicos. El anillo de manija también es un detalle estético y funcional, pues

Juegos del calamar
2021

Umbrella Academy
2019

Kingsman:
El Servicio Secreto
2014

Resident evil
-videojuego-.
1996

es la parte donde termina y se recarga el dosel cuando se abate. Una docena de partes más constituyen este milenario objeto tecnológico.

Hay inventores que aun hoy persisten en tratar de innovarlo, por ejemplo, para soportar vientos de 100 kph. O creando prototipos siguiendo un dibujo serpenteante a fin de hacerlo más aerodinámico. Ante los frecuentes incidentes cuando nuestro paraguas se voltea y se rompe, inventores han pensado en colocar los brazos de metal arriba de la copa, en vez de abajo.

Otros inventores japoneses han ideado un paraguas sin copa. En su lugar, despediría aire caliente a través del mango, lo cual desviaría las gotas de lluvia antes de que caigan en la cabeza del usuario. Aún más futurista es el prototipo del inventor británico, Stephen Collier. Ideó lo que él llama "Raindershader", una especie de casco probado para soportar fuertes vendavales. Hay quien se ha inspirado en los diseños origami. El ocio creativo humano parece no tener límites.

ROSALÍA PONTEVEDRA
Escritora de ciencia, radica en Madrid.

FISICOACÚSTICA

Mensaje del maestro Roncador

El cubo

Maestro Roncador

He leído una novela en la que aparece una guitarra con la caja de forma cúbica –dice Ave, mientras los demás la contemplan extasiados.

—Pues yo tengo una guitarra cúbica, —asegura Cram, —el problema es que tiene mástiles en cada uno de los seis lados, con una única cuerda y para tocarla se necesitan seis intérpretes.

—Qué dices, —salto yo—, no puede ser que exista una guitarra cúbica, es la peor forma para hacer sonido. La caja de resonancia con un cubo por volumen, no es de recibo, ya que las frecuencias propias coinciden en los tres ejes del espacio y por ello se favorecen más unas notas en detrimento de las otras.

—Pues aquí está, —dice Cram, —aquí la tienes.

De una extraña funda saca una guitarra de seis cuerdas pero con seis mangos, cada uno con una única cuerda

En esto que Sora, aparece llamando a la puerta acompañada de Al quien dice que no puede interpretar música porque no sabe, en cambio, Sora, que ya es una magnífica pianista como Cram, intenta ahora aprender ukelele.

Tsemon, que está a mi lado, dice que ella sí, que puede tocar la guitarra, e interpretar la melodía, aunque a ella se le da mejor tocar los acordes.

—Pues esto es lo que tenemos, —digo yo mirándome de reojo ese extraño instrumento.

—¿Y como va a sonar la interpretación? —Pregunta Sora.

—Hay que escucharlo, porque va a depender de los sonidos que le saquemos los seis intérpretes. Si estamos totalmente de acuerdo, entonces quizás salga algo positivo.

Lo acabo de decir y no sé si estoy del todo convencido de ello. Pienso que si los intérpretes no están de acuerdo, será muy difícil que salga algo.

Al quisiera programar la interpretación.

—He encontrado esta partitura en internet, que es para guitarras cúbicas —dice, y prosigue—: Aquí tenemos una canción que puede interpretarse con los seis participantes que somos. Es el *Ave María* de Schubert.

A mi lado todos realizan una expresión extraña, sorprendidos de que alguien haya realizado una versión de dicha obra para una guitarra con seis mangos con una cuerda por mango, para seis intérpretes.

—Pues vamos a ello —digo yo—, pongámonos a tocar esta guitarra.

En eso que los seis nos ponemos a tocar ese instrumento. No sé cómo lo hacemos para que todos quepamos a la vez, y resulta que el sonido que le sacamos es …

En este momento me despierto y observo que a mi lado están todos mis familiares y amigos con las manos en los oídos debido a mis fuertes ronquidos.

Estoy tendido en la cama del hospital, y todos esperan la llegada de los médicos Dr. Joseph Lenam y la Dra. Taber con los resultados de las pruebas y analíticas que me han practicado.

Cram tiene una extraña funda en sus manos, y saca una guitarra de seis cuerdas, pero con seis mangos, cada uno con una única cuerda.

¡La caja de resonancia de esa guitarra es cúbica!

Por la puerta aparecen unos jóvenes *teenagers*: Timar y Repe. Este último lleva un ukelele en la mano. La caja de resonancia también es cúbica.

No entiendo nada. Debe ser la medicación que me han suministrado. Que yo sepa no existen guitarras cúbicas con seis mangos y una única cuerda por mango, ni ukeleles con la caja de resonancia cúbica.

Miro el reloj situado encima de la puerta. También tiene la forma cúbica, y en cada lado las agujas avanzan con velocidades diferentes, marcando horas distintas. Empiezo a observar que las personas y objetos se van transformando en versiones cubistas. Parece que Picasso haya tomado las riendas y lo transforme todo a su capricho. Cierro los ojos e intento relajarme a pesar de las conversaciones de todos los presentes. Me llegan voces que pierden sus significados y se convierten en extraños sonidos complejos.

¿Lo estoy soñando también?

Abro los ojos. La habitación del hospital es distinta a la de mis sueños. Me pellizco. Es real.

El Dr. Lenam y la Dra. Taber me observan de cerca. Ella de pie. A pesar de su juventud es ya una eminencia en su área.

Mientras, el médico se ha sentado a mi lado y tiene en sus manos los resultados de mis pruebas. Su cara es siempre afable. Podría ser mi mejor amigo, aunque es más joven que yo. Quizás nos llevamos unos diez años.

Ambos me miran, ahora con una mirada condescendiente.

No son necesarias las palabras. Es increíble cuando uno comprende que el silencio ya lo expresa todo. En mi vida profesional, la importancia del silencio siempre ha sido muy valorada. Pero cuando te lo debes aplicar a tu caso resulta extremadamente dolorosa.

En el pasillo escucho la inconfundible voz de Niadu.

—¿He oído algo referente a una guitarra cúbica? ¡Eso es una desfachatez!

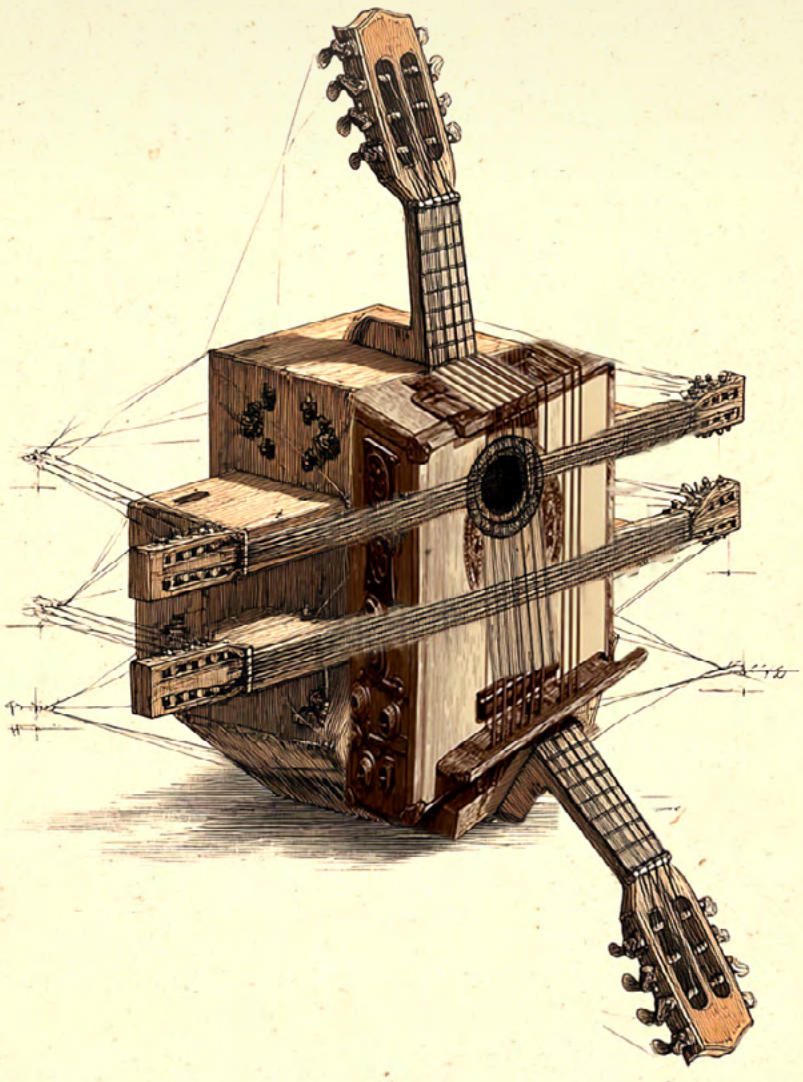
Los doctores estaban sorprendidos, ya que quien había hablado era la directora de planta, que se encontraba en el pasillo, mirándome fijamente.

Pero Niadu no se callaba, porque seguía insistiendo.

—No es posible que exista una guitarra cúbica, solamente si el luthier que la fabricara se hubiera vuelto loco.

Tanto el Dr. Leman como la Dra. Taber se miraron entre sí y prefirieron mantener silencio y no volver a hablar de ese extraño instrumento que también habían visto antes.

Entiendo que no tengo remedio. Que la intervención no ha solucionado mis problemas y que mis ronquidos me perseguirán hasta el final de mi vida.



Vamos a ver los grandes almacenes. Se acerca Navidad y todo el ambiente es festivo, engalanado de luces tintineantes y de colores, así como de sonidos de campanas y músicas. Timar y Repe me acompañan para que no tenga ningún problema con mi ausencia de voz en medio de la muchedumbre que nos acompaña.

—Maestro –dice Timar–, en esta tienda tienen todos los juegos de ordenador del mundo. El escaparate es realmente espectacular, lleno de cajas, volantes, pedales, mandos manuales tipo *joystic* y otros elementos impresionantes. Pero en medio de todo ello, presidiendo el centro de atención e iluminado con unos potentes haces de luz láser de color rojo, aparece una caja cúbica de medio metro de lado, que ostenta la palabra KUBIK.

Me acerco a leer la descripción de la caja, mientras Repe entra en la tienda a preguntar por ella. Entro en la tienda con Timar y veo a Repe junto a un mostrador. El empleado tiene una de las KUBIK encima del mismo, la ha abierto, y antes de que yo llegue, extrae su contenido. Es como un cubo de Rubik, pero de unos cuarenta centímetros, con muchísimos elementos por cara. Tantos, que no creo que alguien sea capaz de poner en orden cada uno de los seis colores.

Repe tiene la boca abierta. Le seduce la posibilidad de removerlo y dejarlo desordenado. Mientras, Timar tiene en sus manos el manual de instrucciones.

Yo no sé lo que hago, pero pregunto el precio

No hace falta que me lo piense, porque Repe lo ha tomado en sus manos y ya lo ha desordenado en un instante en que el empleado y Timar estaban hablando.

El empleado me obliga a comprarlo.

Sin voz no puedo discutir, y debo admitir que estaba atraído por todo lo que me recordaba esa forma.

Pues bien, ya tengo mi cubo.

MAESTRO RONCADOR
Experto en psicoacústica y aprendiz de lo que sea menester.

La mecánica de la desinformación

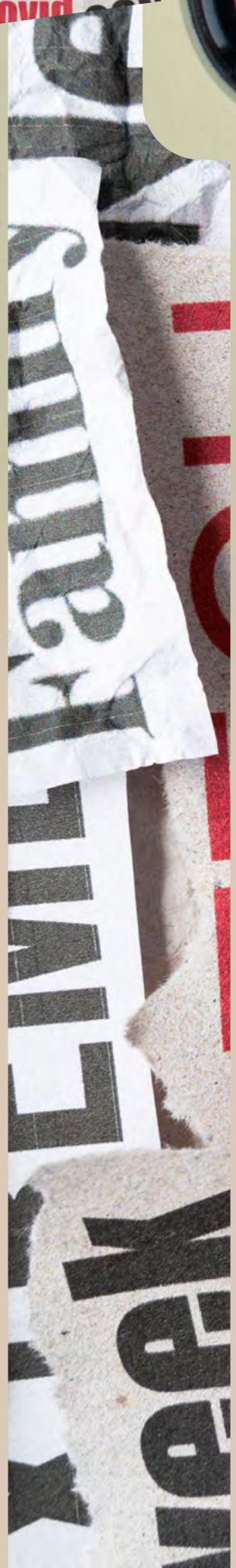
Ulises Cortés

Dadme un punto de apoyo y moveré la Tierra
Arquímedes

La pulsión de los seres humanos por transformar su realidad nos ha llevado a realizar obras increíbles de ingeniería, desde la construcción de Stonehenge a los primeros asentamientos en Jericó, Çatal Hüyük, Göbekli Tepe o Uruk, *etc*. La tradición oral nos ha dejado ecos de la historia de esas magníficas ciudades, la epopeya de Gilgamesh aún resuena en nuestros oídos y en otros textos.

Entonces, los mensajes de los gobernantes, verdaderos o no, estaban inscritos en piedra y fueron pensados para perdurar a través de los siglos. Solo basta pensar en el impacto y en la prolongada permanencia entre nosotros del código de Hammurabi y sus 228 normas. En aquella época, fijar una idea requería de un tiempo y de una capacidad económica y tecnológica nada despreciable. Ya desde entonces el medio era el mensaje.

El cambio a soportes más asequibles, el barro, el papiro, el pergamino, el papel y, desde allí, a los formatos digitales, ha sido vertiginoso, como también lo ha sido la popularización de la enseñanza de la escritura y la lectura. Tal como McLuhan argumentó con razón, el impacto de la imprenta permitió la producción masiva de libros, lo que llevó de forma paulatina a una mayor alfabetización de la población y a la difusión de ideas, así como a un cambio en la forma en que la gente percibía el mundo. Este cambio tecnológico, según él, favoreció la estandarización, la uniformidad cultural, la automatización de la difusión del conocimiento y la investigación científica, todo un fenómeno social y cultural al que denominó la Galaxia Gutenberg[1].



Hoy, la tecnología que soporta las redes sociales, como ya había predicho McLuhan, ha llevado la evolución de las tecnologías de la comunicación a un nuevo extremo: cualquier mensaje, sin importar su veracidad o relevancia, puede propagarse de forma instantánea y alcanzar a millones de personas en cuestión de segundos. Si antes inscribir una idea en piedra era un privilegio de pocos, ahora la inmediatez y el alcance de los medios digitales han *popularizado* la expresión, al tiempo que han facilitado la posibilidad de influir en la opinión pública. Pero también han abierto las puertas al abuso y la desinformación[2]. El hombre más poderoso del mundo en 2025 es desinformador contumaz. En este contexto, el medio sigue siendo el mensaje, pero el reto actual para el receptor es discernir entre la verdad y la manipulación en un océano de información efímera y viral.

Los humanos persistimos en mudar la realidad, esta vez sin hazañas ingenieriles. No hay que mover grandes piedras, basta con *desinformar* al vecino y que éste propague un bulo, o una imagen o noticia falsa.

Las mecánicas de la desinformación comprenden un conjunto de técnicas y estrategias diseñadas para manipular la percepción pública y dislocar nuestra concepción del mundo. La desinformación opera en las redes sociales y los medios de comunicación a través, por ejemplo, de usar la *negación* para desacreditar la información objetiva que resulta perjudicial para los intereses del emisor, utilizando argumentos endebles o ataques personales a fin de restar credibilidad a fuentes legítimas.

También se usa la *distorsión* que implica modificar o tergiversar hechos y datos, presentando versiones alteradas de la realidad para confundir a la audiencia y justificar acciones propias; o la *distracción* que funciona desviando la atención del público de temas relevantes o incómodos, introduciendo información falsa o irrelevante que capte el foco mediático y social, desplazando así el foco del debate; otra técnica consiste en provocar la *inquietud* sembrando dudas, miedo o incertidumbre, alimentando la polarización y la desconfianza en las instituciones, los medios o los actores políticos, para desestabilizar sociedades y dificultar la reacción coordinada frente a la desinformación. Todo esto mediante múltiples canales, formatos y algoritmos para maximizar su impacto y dificultar su detección y refutación.

Los humanos persistimos en mudar la realidad, esta vez sin hazañas ingenieriles. No hay que mover grandes piedras, basta con desinformar al vecino y que éste propague un bulo, o una imagen o noticia falsa.

La irrupción de las tecnologías de Inteligencia Artificial Generativa como ChatGPT, DALL-E, DeepVoice, Midjourney y Synthesia han acelerado y transformado radicalmente la producción y difusión de relatos, multiplicando de manera exponencial la generación de artefactos discursivos que resultan cada vez más indistinguibles al ojo humano y, por tanto, difíciles de diferenciar de la verdad. Las grandes cantidades de información publicadas cada segundo y su acelerada difusión hace que la moderación manual de los contenidos resulte inviable, en particular si se trata de amenazas de alto riesgo.

Un aspecto sórdido en esta cuestión es saber por qué las compañías que producen estas tecnologías no etiquetan sus resultados con una *marca de agua* indeleble que evite la desinformación. Tampoco me queda claro por qué los gobiernos no les obligan a hacerlo. Según Byung-Chul Han, vivimos en una *sociedad de la información* que ha sacrificado la narrativa profunda y reflexiva en favor de una comunicación instantánea, fragmentaria y superficial. La prisa por ser el primero en publicar o comentar no solo acelera la circulación de mensajes, sino que contribuye a una cacofonía digital donde el sentido se diluye y la verdad se hace *difusa*.

En este espacio digital saturado, las voces de los gobiernos no son menores. Bien al contrario, algunos aprovechan los recursos tecnológicos, en especial las herramientas basadas en IA, para manipular narrativas y modelar la opinión pública. El discurso de odio se usa a menudo con la intención de manipular a las masas, especialmente en el ámbito político, y generar desprecio en la población hacia determinados grupos o personas, habitualmente en función de su raza, género, religión u orientación sexual.

La irrupción de las tecnologías de Inteligencia Artificial Generativa como ChatGPT, DALL-E, DeepVoice, Midjourney y Synthesia han acelerado y transformado radicalmente la producción y difusión de relatos, multiplicando de manera exponencial la generación de artefactos discursivos que resultan cada vez más indistinguibles al ojo humano y, por tanto, difíciles de diferenciar de la verdad.

Una exposición reiterada a este tipo de contenido contribuye en la deshumanización de las comunidades implicadas, tal y como se mostró en el genocidio cometido en Myanmar, en 2017, cuando Facebook[3] amplificó la difusión de mensajes de incitación a la violencia hacia el pueblo Rohingya, lo que dio como resultado la muerte de más de 10000 civiles. Así, mediante estrategias comunicativas y psicológicas, logran distraer, inquietar o polarizar a la sociedad, profundizando el ruido informativo y debilitando la capacidad colectiva de construir un relato común y veraz. Cada vez la Galaxia Gutenberg está más alejada.

La reciente entrada en vigor del reglamento europeo de IA (AI Act[4]) y su próxima aplicación integral representan, creo yo, un avance decisivo hacia la protección del espacio público digital. Este marco normativo obliga a etiquetar los contenidos generados o manipulados por IA —en particular los denominados *deepfakes*[5]— y exige a las plataformas el desarrollo de herramientas de detección y transparencia, así como la habilitación de canales accesibles para denunciar intentos de desinformación. Estos esfuerzos de regulación representan unos primeros brotes verdes bien fundados para la esperanza

No podemos olvidar la advertencia que Gabriel García Márquez formuló mucho antes de la existencia de las redes sociales: *Dadme un prejuicio y moveré el mundo*. Esta frase cobra hoy una relevancia especial, pues evidencia cómo los prejuicios y la desinformación pueden propagarse con una velocidad y alcance sin precedentes en el entorno digital. Por ello, aunque el AI Act es un paso crucial, la verdadera protección del espacio público requiere no solo de leyes y tecnología, sino también de una ciudadanía crítica y consciente del poder que tienen quienes poseen los medios en la era de la inteligencia artificial.

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

REFERENCIAS

•1 McLuhan, Marshall. *The Gutenberg galaxy. The Making of Typographical Man*, Toronto (1962). https://www.ocopy.net/wp-content/uploads/2017/10/mcluhan-marshall_the-gutenberg-galaxy-the-making-of-typographic-man.pdf
•2 La desinformación es información falsa o engañosa que se difunde de manera intencionada. Esto se diferencia de la información falsa o engañosa que se crea y difunde por error o sin ánimo de engañar
•3 https://www.amnesty.org/es/latest/news/2022/09/myanmar-facebooks-systems-promoted-violence-against-rohingya-meta-owes-reparations-new-report/
•4 https://artificialintelligenceact.eu/
•5 Un *deepfake* es un archivo de video, imagen o audio generado o manipulado mediante una aplicación basada en tecnologías propias de la inteligencia artificial, en particular, usando técnicas de aprendizaje profundo (*deep learning*), con el objetivo de crear contenido falso que resulta extremadamente realista y difícil de distinguir del original.

LA PESTE DEL INSOMNIO

Mario de la Piedra Walter

"Si no volvemos a dormir, mejor",
decía José Arcadio Buendía, de buen humor,
"así nos rendirá más la vida".
Gabriel García Márquez

En *cien años de soledad,* la novela transgeneracional de Gabriel García Márquez, Úrsula presiente el destino trágico que envuelve a su familia. Cuando nace un nuevo miembro, revisa primero su parte trasera con temor de encontrar una cola de cerdo. Si bien sus hijos no muestran el estigma de la relación con su primo, José Arcadio Buendía, heredan de su padre las extravagancias.

"'No tienes de qué quejarte', le decía Úrsula a su marido. 'Los hijos heredan las locuras de sus padres'".

Al domingo siguiente de esta conversación llega a casa de los Buendía —de manera inesperada— un nuevo miembro de once años: Rebeca, que solo entiende la lengua de los indios y se llena la boca con la tierra húmeda del patio. Al poco tiempo se integra a sus demás hermanos y deja de comer tierra. Una noche, Visitación, una india guajira que llega junto con su hermano a Macondo y vive con los Buendía, encuentra a Rebeca despierta en el mecedor. Sus *"ojos alumbrados como los de un gato en la oscuridad"* le revelan los síntomas de la enfermedad que devastó a su aldea y de la que viene huyendo: la peste del insomnio.

Los habitantes de Macondo, en un principio, no parecen alarmarse. José Arcadio, uno de los fundadores del pueblo y esposo de Úrsula, se ríe ante lo que considera supersticiones de los indígenas. Visitación le advier-

te que a la vigilia incesante le acompaña la pérdida de la memoria. Que primero se borran *"los recuerdos de la infancia, luego el nombre y la noción de las cosas, y por último la identidad de las personas y aun la conciencia del propio ser, hasta hundirse en una especie de idiotez sin pasado"*. Al cabo de varias semanas, José Arcadio se encuentra una noche dando vueltas en la cama sin poder dormir. *"Los niños también están despiertos, dijo la india con su convicción fatalista. Una vez que entra en la casa, nadie escapa la peste"*.

Los primeros días se alegraron de no poder dormir, y trabajaron tanto que pronto no tuvieron nada más que hacer. Para combatir el olvido, marcaron cada objeto con su nombre. La victoria fue parcial, pues con el pasar de los meses olvidaron su utilidad y tuvieron que escribir también las instrucciones para usarlos. Los valores de la letra escrita, sin embargo, se esfumaron de sus mentes al poco tiempo. Pronto, fueron incapaces de nombrar sus sentimientos. Al olvidar su pasado, los pobladores recurrieron a la lectura de cartas para reconstruirlo. Así habitaron un presente de causas inventadas y un futuro indeterminado. Cuando Melquíades —el gitano itinerante y amigo de José Arcado Buendía— regresó a Macondo, se encontró con un pueblo de caminantes sin memoria. Con una poción, el alquimista devolvió a los habitantes el sueño y la cordura.

La peste del insomnio en la novela anticipa, por casi veinte años, una enfermedad identificada en 1986 y que parece producto de la ficción: el insomnio familiar letal. Se trata de una enfermedad neurodegenerativa bastante rara, de la que se han descrito poco más de cien casos, predominantemente en Europa y Asia. Como su nombre lo indica, se presenta en familias de manera hereditaria (autosómico dominante) por la mutación del gen de proteína priónica (PRNP), lo que conlleva a la producción deficiente de una proteína conocida como prion. Cuando esta proteína deficiente (mal plegada) se acumula en el cerebro, provoca la pérdida de neuronas, lo que en estados tardíos le da un aspecto esponjoso. Pertenece a un grupo heterogéneo de patologías conocidas como encefalopatías por priones, que afectan tanto a humanos como a otros animales, y que incluyen la enfermedad de Creutzfeld–Jakob, la enfermedad de Huntington y –de forma adquirida por consumir carne contaminada– la encefalopatía espongiforme bovina o enfermedad de las vacas locas.

En el insomnio familiar fatal, la estructura cerebral más afectada es el tálamo, responsable de integrar la información motora y sensitiva, así como el tallo cerebral, que regula el estado de vigilia a través de una red neuronal conocida como como sistema activador reticular ascendente (SARA). Conforme avanza la enfermedad, otras áreas cerebrales se ven afectadas como los lóbulos parietales, temporales y frontales.

Su síntoma cardinal, el insomnio, es el primero en manifestarse ya en la edad adulta (promedio de cincuenta años). Los individuos presentan dificultades tanto para quedarse dormidos como para mantener el sueño. Conforme la enfermedad progresa, el insomnio se vuelve más severo. Además, los sueños vívidos son muy comunes junto con las ensoñaciones cuando se está despierto. Las personas afectadas muestran un trastorno del sistema autónomo como presión arterial alta, frecuencia cardiaca y respiratoria elevada (taquicardia y taquipnea), lacrimación, sudoración y disfunción sexual. Después de varios meses comienzan a ver doble y presentan dificultades para caminar (ataxia). En estadios avanzados sufren de alucinaciones, problemas de atención, paranoia, pérdida de la memoria a corto plazo y delirio. La etapa final de la enfermedad se caracteriza por un deterioro cognitivo abrupto hasta que la persona es incapaz de hablar o moverse voluntariamente. Sin excepción, el desenlace es fatal, con una sobrevida promedio de dieciocho meses.

El diagnóstico es clínico, aunque se apoya de otras herramientas como la polisomnografía, el electroencefalograma, el estudio del líquido cerebroespinal y pruebas de imágenes. Todo individuo con sospecha de insomnio familiar fatal requiere de pruebas genéticas para determinar si posee una variante patológica del gen PRNP. Hasta el momento no existe una cura, pero estudios *in vitro* y en animales han revelado resultados prometedores utilizando inmunoterapia.

Melquiades, que había regresado de la muerte porque no soportaba la soledad, cura a los habitantes de Macondo con uno de sus menjurjes. Pese a sus habilidades místicas, ninguna pócima o invento podrían hacer frente al destino funesto de la familia Buendía y del pueblo de Macondo. Como en el insomnio familiar fatal, la tragedia es dictada por un golpe de dados irreversible. Igual que en las encefalopatías por priones, Macondo está condenado a la repetición de errores hasta el suspiro final del último habitante.

Al concluir de la novela, en un Macondo despoblado y polvoroso, Aureliano Babilonia —el último descendiente de los Buendía— descubre los pergaminos de Melquiades. Descifra en ellos el hado de Macondo y su familia, vaticinado por Melquiades hace cien años. Mientras un ciclón desgarra los remanentes de la casa, Aureliano Babilonia se lee a sí mismo en ese cuarto escudriñando los papeles en busca de su destino. En el último verso comprende que, al terminar la lectura, lo que queda del pueblo será arrasado por el viento y desterrado de la memoria de los hombres, *"porque las estirpes condenadas a cien años de soledad no tenían una segunda oportunidad sobre la tierra".*

***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 de la ciencia contemporánea

JACK STEINBERGER: EN EL UMBRAL DE TODAS LAS COSAS

Carlos Chimal

Estaba ansioso por conversar con él sobre su vasta experiencia en el umbral de la teoría y la experimentación en la física de altas energías, y también con ganas de escuchar sus impresiones sobre personajes emblemáticos de esta disciplina, como Enrico Fermi, Robert Oppenheimer, Freeman Dyson y Georges Charpak. El profesor Steinberger no era de esa clase de celebridades que se muestran afables y tolerantes desde un inicio. Sin ser rudo como el genetista Sidney Brenner, quisquilloso como el neurocientífico Jean-Pierre Changeaux o intratable como el químico neuronal, Oliver Sacks, tampoco estaba dispuesto a perder el tiempo si sentía que la plática iba sin ton ni son. Lo primero que me dijo al entrar en su oficina del Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN), localizado en la ciudad de Ginebra, fue: "¿Va a hacerme las mismas aburridas preguntas de siempre?".

Disparé la primera. ¿Está satisfecho de haber vivido como lo ha hecho?

"Lo que haces por los demás define la manera como has vivido", respondió.

Nada más cierto. Lo que él hizo por sus semejantes le valió obtener el Premio Nobel de Física en 1988, junto con Leon Lederman y Melvin Schwartz. ¿En qué consistió? En "domar" el neutrino, empresa que tomó varias décadas de largo y complejo ir y venir entre la teoría y la labor experimental.

Antes del trabajo de Lederman, Schwartz y Steinberger, aunado al de algunos otros, no existía un método experimental para el estudio de las fuerzas débiles dentro del átomo, ese umbral donde se gestan todas las cosas del universo, al menos todos los objetos y organismos luminosos. Otra de las aportaciones cruciales de Jack, Leon y Melvin fue de índole más teórica, y supuso el descubrimiento, años después, de que existen al menos dos tipos de neutrinos, uno asociado al electrón y otro al muón. El muón es una partícula elemental, relativamente pesada, detectada por primera vez durante los experimentos con rayos cósmicos realizados en la década de 1930. Físicos de la BUAP han investigado desde hace tiempo en este fértil campo de las altas energías.

Uno de los trucos de Jack fue convertir un fantasma, el neutrino, en una herramienta útil para el avance y consolidación de la física de altas energías. Puesto que prácticamente toda la materia es transparente para los neutrinos, podemos imaginar la dificultad que implica medir su interacción. De vez en cuando, un neutrino llega a chocar con un quark dentro de algún nucleón, ya sea un protón o un neutrón. En los experimentos con neutrinos, la escasez de colisiones se ve de alguna manera compensada por la intensidad del haz. Incluso desde los primeros experimentos el número de neutrinos alcanzó varios cientos de miles de millones. La probabilidad de una colisión también aumenta con la energía de estas escurridizas partículas cósmicas.

Jack fue alumno del genial y polémico Enrico Fermi en Chicago, antes de mudarse a Ginebra. Luego de la generación fundadora del CERN, en 1954, como Niels Bohr, Sir George Thompson y Werner Heisenberg, vino la generación de Jack. El método que ayudaron a diseñar y poner en práctica Leon, Melvin y Jack permitió alcanzar muy altas energías en los aceleradores de protones, revelando sus entrañas.

Durante la época en que él y sus colegas de Columbia se las arreglaron para emplear un haz de neutrinos, a principios de la década de 1960, aún se desconocía el concepto de quark, de manera que cuando se hizo evidente la existencia de estas entidades esenciales el método inventado por ellos siguió siendo de enorme valor. Esta clase de investigación científica sofisticada, ambiciosa y cara despierta resquemores; aun así, vienen jóvenes investigadores de todo el mundo con la ilusión de conocer a sus héroes. ¿Por qué lo hacen?, le pregunté a Jack.

"Por varias razones éticas, pero sobre todo por aspectos estéticos. Es, sobre todo, a causa de una búsqueda de belleza en el más amplio de los sentidos lo que nos ha llevado a intentar conocer los aspectos más profundos de la materia. Y los jóvenes lo saben."

En esta otra ocasión estábamos platicando en el restaurante central de la llamada Ciudad Escéptica, el mismo CERN. Miró a su alrededor; el murmullo de las investigadoras, los profesores, alumnas y visitantes denotaba un ánimo casi exaltado.

"Sin duda, tienen la capacidad", siguió diciendo, "pero quien no posea la sensibilidad necesaria para curiosear más allá de su loable doctorado o de su respetable puesto de trabajo, quien no tenga más de dos dedos de imaginación, está frito".

"Me suena a clisé", repliqué.

"Sí", me contestó, "pero por algo se ha vuelto un lugar común, porque todo mundo habla de ella (la imaginación), saben de qué se trata, aunque pocos descubran su truco".

Luego cada uno tomó su camino de regreso al trabajo.

Me encaminé por los jardines atrás del restaurante. Entonces me detuve frente a un artefacto que ha estado ahí por décadas y resume en su historia parte de lo que Jack me había dicho minutos antes. Me refiero a la EBBC (Gran Cámara de Burbujas Europea), ingenio digno de una película de *sci-fi* kitsch.

Consta de un tanque metálico en forma de cilindro, con un radio de 3.7 m, el cual estuvo lleno de hidrógeno líquido enfriado a -173 °C. Cubre la cámara una campana de vacío, cuyo objeto era evitar que la temperatura del hidrógeno subiera a niveles críticos. Fue construida en los años de 1970 para satisfacer las necesidades de detección de las partículas de altas energías emanadas de los nuevos y cada vez más grandes aceleradores.

Este artefacto, producto de la paciencia humana, ayudó durante poco más de una década a descifrar la cascada de entidades subatómicas que en una billonésima de segundo cruzaban el tanque. Estaba rodeado de bobinas de un imán súper conductor, así como de diversos detectores que se dedicaban a seguir el rastro e identificar aquellas partículas que lograban escapar del líquido. Era la estrella de la pista.

A lo largo de once años se grabaron 6.3 millones de placas fotográficas, documentos muy apreciados por los físicos de los psicodélicos años de 1960, quienes casi se volvían locos ante la extravagante colección de entidades que apenas se dejaban rastrear en el zoológico de las partículas subatómicas, dado que antes de líquido, las cámaras estaban llenas de gas, más tenue y menos propenso a interactuar con las escurridizas partículas que aparecían en un rango de energía mayor. Entonces dio inicio la labor de clasificación, de encontrar un orden, un por qué y un cómo. La Gran Cámara de Burbujas permitió asomarse con sencillez y eficacia a la vida fugaz de trozos de materia que, no obstante, responden a características propias (electromagnéticas) y dicen: "Miren, por aquí pasé y mi huella no se parece a la de ninguna otra".

Antes de seguir mi camino me crucé con un grupo de estudiantes preparatorianos que habían venido de Lausana a visitar el rompe-átomos más grande de la Tierra. Hice mi labor de merolico para animarlos a detenerse frente a la cámara de burbujas. Mostraron curiosidad y se engancharon. Les pregunté si se imaginaban ese mundo anterior a la era digital; asintieron, incluso les pareció *cool*. Cuando se lo platiqué a Jack, puso cara de "ya ve, no todo está perdido". Y agregó: "Hay quienes tienen la paciencia de entender el pasado, no importa cuán jóvenes sean".

Uno de los trucos de Jack fue convertir un fantasma, el neutrino, en una herramienta útil para el avance y consolidación de la física de altas energías. Puesto que prácticamente toda la materia es transparente para los neutrinos, podemos imaginar la dificultad que implica medir su interacción. De vez en cuando, un neutrino llega a chocar con un quark dentro de algún nucleón, ya sea un protón o un neutrón. En los experimentos con neutrinos, la escasez de colisiones se ve de alguna manera compensada por la intensidad del haz. Incluso desde los primeros experimentos el número de neutrinos alcanzó varios cientos de miles de millones. La probabilidad de una colisión también aumenta con la energía de estas escurridizas partículas cósmicas.

Fotogramas de una de las charlas con Jack. CCh.

Pocos días más tarde uno de los creadores de la EBBC y ex director general de CERN, el alemán Hors Wenninger, explicaba a un grupo de muchachos franceses y alemanes lo que significó construir este aparato poco después de la Segunda Guerra Mundial. "Conocer cómo se superaron las heridas del pasado puede ayudar a no poner en riesgo lo que se ha construido", afirmó Wenninger.

A mí también me pareció *cool* que la obra magistral de Jack haya sido convertir un fantasma inútil y bueno para nada, el neutrino, en una herramienta valiosa para el avance y consolidación de la física que explora el interior del átomo. Le pedí que me hablara del legendario Enrico Fermi.

"Lo conocí en la Universidad de Chicago, en donde él impartía clases y yo era un estudiante al terminar la Segunda Guerra. Más allá de su enorme inteligencia, me impresionó su sensibilidad científica y social. Entendía mejor que nadie lo que estaba pasando en la ciencia y en la vida; era un hombre sencillo, dedicado a su trabajo. Otra virtud característica de él era que no necesitaba del elogio de los demás para saber que lo que estaba haciendo era valioso. Podía reconocer en otros el talento para la física, y muchos de nosotros seguimos el camino de lo que más tarde se llamaría física de altas energías motivados por su manera brillante de encontrar soluciones a problemas complejos. Si le interesaba un enigma, trataba de comprenderlo todo, pacientemente".

Paciente y con prisa.

"Sí, era muy rápido. Discutía mucho con nosotros. Nunca se encerró, siempre ofrecía cursos a los estudiantes nuevos. Creo que estaba interesado sinceramente en que aprendiéramos buena física".

¿Fue así como usted encontró su propio camino a la teoría y de vuelta a la experimentación?

"Bueno, esas cosas son más azarosas de lo que uno piensa. En realidad, yo deseaba hacer física teórica, pero terminé aceptando la sugerencia de Fermi. Se trataba de un experimento de muones provenientes de rayos cósmicos en el que habían trabajado dos investigadores de MIT, Rossi y Sands. Fermi me pidió que indagara más sobre ese asunto con Rossi, pero éste se encontraba muy ocupado, de manera que Fermi me instó a abordarlo por mi cuenta. Diseñar y montar el experimento tomó menos de un año. Pude haberlo montado en Chicago, que se encuentra a nivel del mar, pero era mucho mejor

A lo largo de once años se grabaron 6.3 millones de placas fotográficas, documentos muy apreciados por los físicos de los psicodélicos años de 1960, quienes casi se volvían locos ante la extravagante colección de entidades que apenas se dejaban rastrear en el zoológico de las partículas subatómicas, dado que antes de líquido, las cámaras estaban llenas de gas, más tenue y menos propenso a interactuar con las escurridizas partículas que aparecían en un rango de energía mayor.

La EBBC (Gran Cámara de Burbujas Europea) en los jardines del CERN.

llevarlo a cabo en las montañas. Fermi me facilitó todo para ir hasta Colorado. Si requería de algo en electrónica avanzada, él se las arreglaba para conseguirme un buen técnico. Hacia fines de 1948 demostramos que el muón decaía en tres cuerpos, probablemente un electrón y dos neutrinos. Esto ayudó a sentar las bases experimentales en favor del concepto de una interacción débil universal. Recuerdo que cuando el experimento había terminado y estaba escribiendo una versión preliminar del artículo, Fermi me dijo: `Bueno, Jack, espero que nunca te olvides de este fenómeno´. Y yo seguí su consejo, aunque debo decir que él era muy cuidadoso de no aconsejar y sermonear".

Sin embargo, siguió usted interesado en la teoría.

"Sí. Cuando intenté mudarme al Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, en Nueva Jersey, donde había encontrado una oportunidad de hacer algo teórico, Fermi no trató de convencerme para que me quedara en Chicago, incluso sabiendo que el director de Princeton era Robert Oppenheimer. Fermi no simpatizaba con él. No obstante, cuando tuvo problemas durante la enloquecida era de McCarthy, Fermi salió en su defensa. Así que él respetó mi decisión y me fui a Princeton".

Según sé, usted no congenió con Freeman Dyson. ¿Fue un año perdido?

"Sí, lo fue, pero no por culpa de Dyson, con quien jamás tuve problema alguno. De hecho, era un buen amigo y su inteligencia y capacidad estaba muy por encima de todos nosotros. Lo que pasó fue que no pude acoplarme en Princeton a ninguna investigación teórica, ni de Dyson ni de ningún otro".

Eso lo llevó de regreso a su estado natural, a su estado salvaje, la experimentación, como usted ha dicho.

"¿Eso dije?"

Sí.

"Bueno, como quiera que sea, al final encontré un asunto que me hizo sentir que no había perdido el tiempo del todo. Tenía que ver con el decaimiento de muones a través de nucleones intermediarios. Aún recuerdo lo contento que se puso Oppenheimer cuando finalmente me vio con algo en qué pensar".

Imágen otiginal de Sigismund von Dobschütz - Own work, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4432974

El año de 1961 tiene un significado especial para usted.

"Sin duda, pues luego de una larga serie de afortunados experimentos con la cámara de burbujas, me dediqué a otro asunto, por sugerencia de Mel Schwartz. Junto con (Leon) Lederman y otros llevamos a cabo el primer experimento utilizando un haz de neutrinos de alta energía, lo cual nos valió el Premio Nobel a Leon, a Mel y a mí".

En 1968 se incorporó al CERN. Su estancia aquí ha sido muy fructífera, pues trabajó intensamente en la construcción del LEP, el cual empezó a operar en 1989. ¿Qué momentos recuerda con mayor vividez?

"Cuando llegué a CERN, (Georges) Charpak acababa de inventar las cámaras de alambres proporcionales, y este artefacto permitía estudiar con mayor amplitud el decaimiento de K^0, asunto al que me había aficionado casi de manera obsesiva. Los experimentos posteriores pusieron bases cuantitativas para la teoría de cromodinámica cuántica (QCD), así como para ciertos aspectos del modelo GIM. En 1986 me retiré, aunque aún sigo viniendo casi todos los días a esta oficina de CERN".

Y después de este periodo maravilloso, lleno de descubrimientos e hipótesis confirmadas, ¿siente que con el Modelo estándar de la materia todo se ha terminado, al menos por un tiempo? ¿Qué dificultades enfrentarán los físicos de esta disciplina en los próximos años?

"El siglo pasado fue, sin duda, un periodo lleno de retos, aventuras y éxitos. Hubo un enorme progreso en la física de partículas. Encontramos que ni el electrón ni el neutrón son partículas realmente elementales. Para mí resulta sorprendente y preocupante al mismo tiempo la manera como se ha vuelto cada vez más complicado profundizar en el conocimiento científico, sobre todo en la física que ahora se llama de altas energías. Cuando yo

empecé uno podía idear y llevar a cabo un experimento en unos cuantos meses; uno tenía, además, buenas probabilidades de aprender sobre un aspecto inédito de determinado fenómeno, pues al realizar el experimento por lo general aprendíamos cosas que no sabíamos antes. Esto podía hacerse entre dos o tres personas, incluso uno solo, hasta la década de 1970. Entonces todo comenzó a acelerarse. Las colaboraciones crecieron en número, se complicaron los diseños, la necesidad de recursos, personal capacitado, nuevas obras de ingeniería. Para cuando proyectamos construir y poner en operación el LEP, que usted mencionó, nos tomó nueve años. Más otros quince en obtener resultados. Entonces ya trabajaban cientos de personas en el detector. ¿Se da cuenta de la complejidad que empezó adquirir esta ciencia?".

¿Qué idea tiene usted del descubrimiento en sí, de la experiencia de encontrar algo que uno ha imaginado? O incluso, ¿qué significa descubrir lo inimaginado?

"Todo mundo tiene sus límites. Cada quien sabe de sus capacidades, y yo sé bien que la imaginación no es mi fuerte. Nunca he ideado experimentos por imaginación sino por una causa racional. No sabíamos la respuesta pero la pregunta era muy clara. Desde mis tiempos con Fermi siempre supimos qué hacer después de haber resuelto algún asunto. Excepto en el año que intenté dedicarme a la teoría pura, nunca he tenido que sentarme a pensar qué hacer al día siguiente. Creo haber empleado algo de imaginación para entender la física que estábamos construyendo, pero no me siento un tipo imaginativo. Solo hago cosas, no especulo sobre ellas".

PORTADA E ILUSTRACIONES
DE ANA C. LANDA

Mercurio Volante
SUPLEMENTO DE
hipócritalector

SUPLEMENTO
MERCURIO VOLANTE

CARLOS CHIMAL
EDITOR

NORMA ÁVILA JIMÉNEZ
JULIÁN D. BOHÓRQUEZ CARVAJAL
ARTURO CAMPOS
CARLOS COELLO COELLO
ULISES CORTÉS
ALBERTO CASTRO LEÑERO
ANDRÉS COTA HIRIART
FRANCESC DAUMAL I DOMÈNECH
IVÁN DEANCE
CARMINA DE LA LUZ RAMÍREZ
MARIO DE LA PIEDRA WALTER
LORENZO DÍAZ CRUZ
ARTURO FERNÁNDEZ TÉLLEZ
CARLOS FRANZ
FRANCISCO GARCÍA OLMEDO
SIANYA ALANIS GONZÁLEZ PEÑA
JOSÉ GORDON
GERARDO HERRERA CORRAL
ROALD HOFFMANN
EUSEBIO JUARISTI
PIOTR KIELANOWSKI
JUAN LATAPÍ ORTEGA
ELÍAS MANJARREZ
ARTURO MENCHACA ROCHA
MAURICIO MONTIEL FIGUEIRAS
CARLOS NARANJO CASTAÑEDA
CELINA PEÑA GUZMÁN
GABRIELA PÉREZ AGUIRRE
OCTAVIO PLAISANT ZENDEJAS
ROSALÍA PONTEVEDRA
LUIS FELIPE RODRÍGUEZ
MAESTRO RONCADOR
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: atencion.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.