

Mercurio  Volante



# Fronteras insalvables



- ¿QUÉ SUCEDE AL INTERIOR DE NUESTRO CEREBRO?
- CERN 70: ÁLBUM DEL RECUERDO
- RESILIENCIA, MÁS QUE UNA MODA

30

SUPLEMENTO ESPECIAL

hipócritalector

Año II, Agosto 2024



# EL ELEMENTO QUÍMICO 120 POR LLEGAR

GERARDO HERRERA CORRAL

**E**xisten 118 elementos químicos conocidos. Los 24 más pesados de la tabla periódica se han ido produciendo poco a poco en el laboratorio desde el año 1944, cuando se fabricó el Americio. Desde entonces, no había pasado ni una década para que aparecieran nuevos y más pesados átomos.

En los primeros años de este siglo se llegaron a producir cinco nuevos, pero desde 2010 no se ha logrado avanzar. Hace 14 años que no tenemos átomos sintéticos con más protones que los 118 del Oganésón. Ahora, la larga espera podría estar llegando a su fin.

Físicos de los Estados Unidos acaban de mostrar que usar el Titanio 50 en un acelerador puede ser el camino para poner fin a la sequía de nuevos hallazgos en la síntesis de elementos químicos.

La expectativa es que, sin contar con el elemento 119, se pueda producir el 120 al que se podría llamar Unibinilium que significa uno-dos-cero.

Hace unos días los especialistas lograron crear el Livermorio que tiene 116 protones mostrando el enorme potencial que tiene la nueva tecnología. Consideran que crear el elemento más pesado de todos los tiempos tomará tiempo, quizá tres o seis años, pero la tecnología ya está funcionando.

Se trata de bombardear otros átomos con Titanio 50 calentado a más de mil setecientos Celsius y canalizados para formar un haz intenso e inusual. La idea más concreta consiste en hacer chocar al Titanio contra Californio cuyo número atómico, —es decir el número de protones—, es 98. De esa manera, la unión de 98 protones del Californio con 22 del Titanio producirán el nuevo átomo con 120.

La expectativa es que, sin contar con el elemento 119, se pueda producir el 120 al que se podría llamar Unibinilium que significa uno-dos-cero.



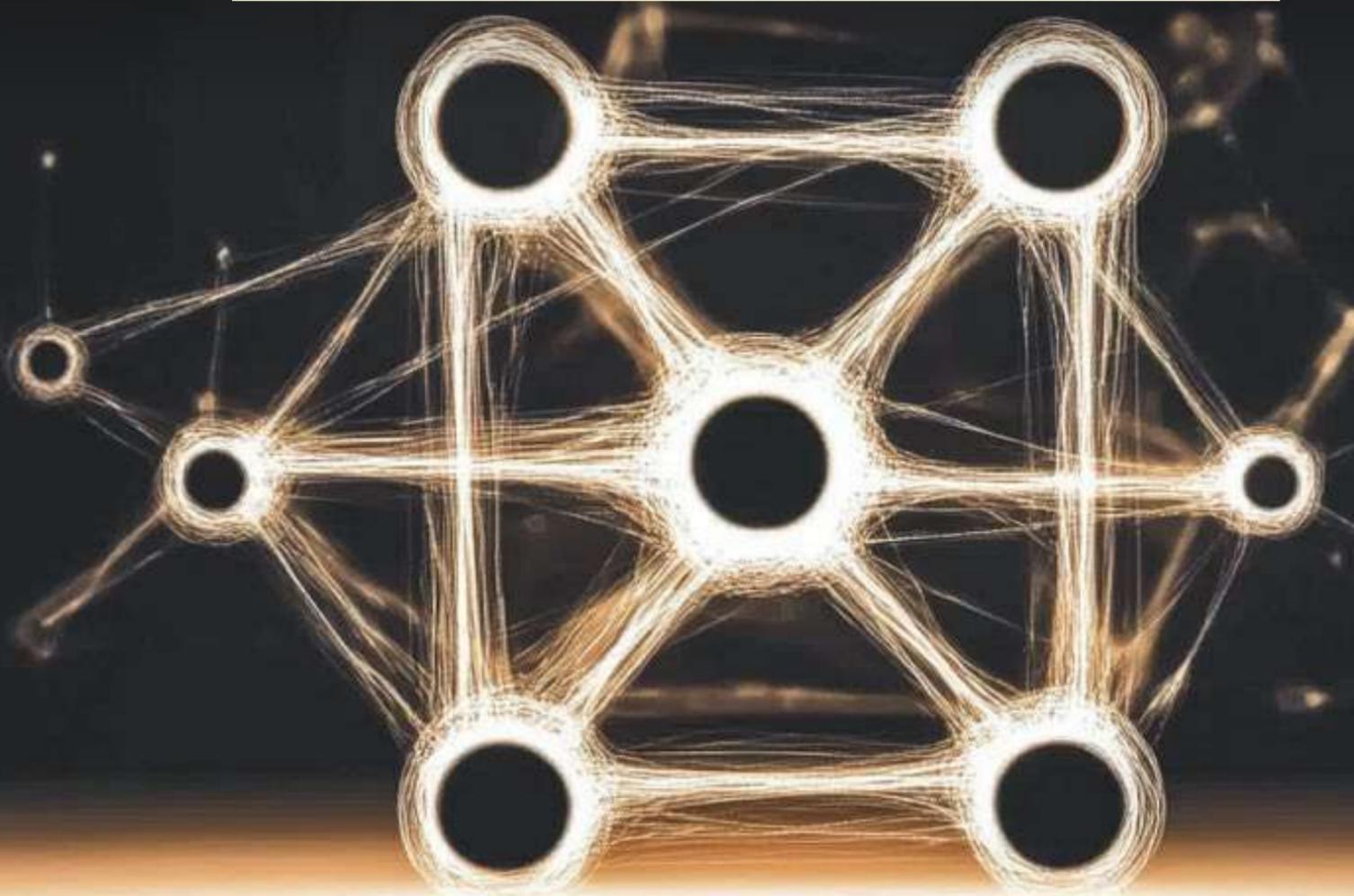


Todos los elementos artificiales se han formado al hacer chocar dos núcleos atómicos pesados. En el proceso, los protones y neutrones de los dos átomos en colisión se unen para formar uno nuevo. Una vez ahí, el flamante núcleo atómico se desintegra en una secuencia de emisiones que consisten en agregados de protones y neutrones. El núcleo se evapora paso a paso y de manera vertiginosa. A veces el proceso es tan rápido que los especialistas entran en discusiones intensas para definir si lo que apareció puede ser considerado un objeto de la realidad o es solo un espejismo tan breve como los intangibles parpadeos del pensamiento.

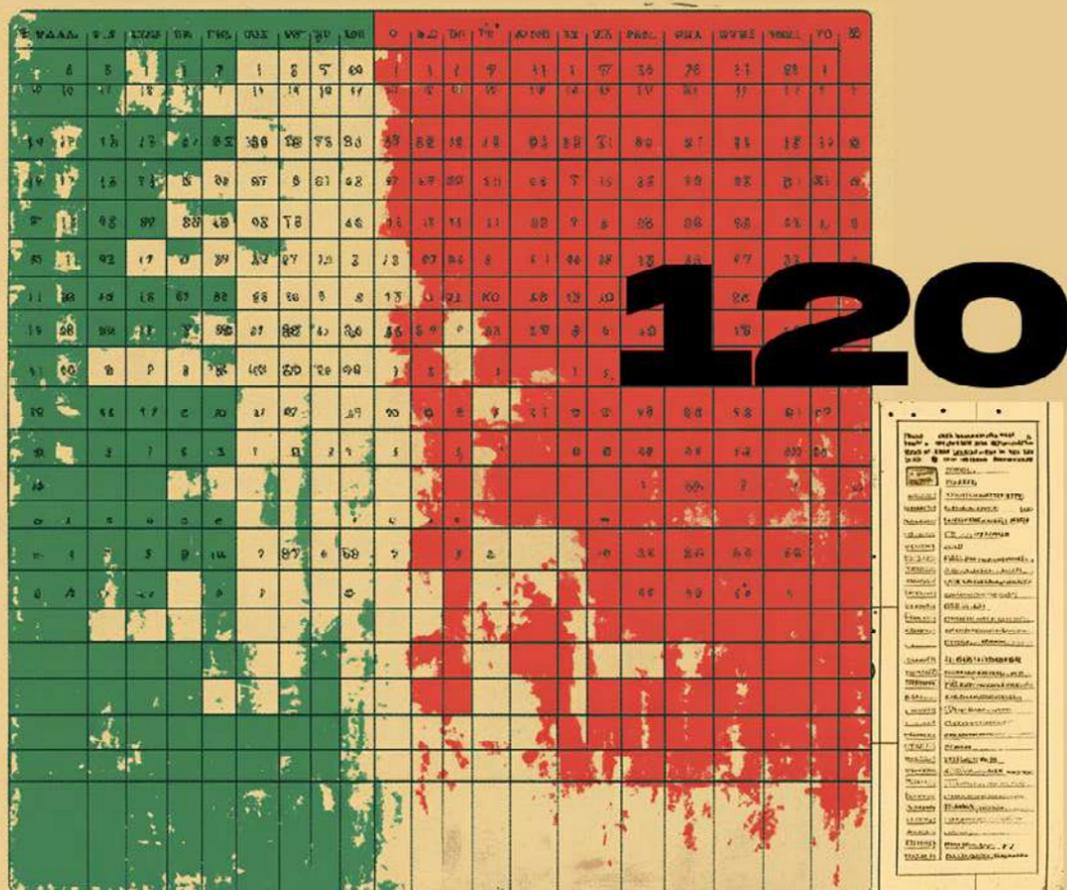
Para los elementos químicos sintéticos "Ser o no ser" es la cuestión.

Cuando en alguna reacción se produce un protón, a menudo se lo llama hidrógeno, si de alguna manera vemos un protón unido a un neutrón se lo señala como deuterio -isótopo del hidrógeno-.

Frecuentemente se dice que dos protones y dos neutrones juntos es un helio; pero no es correcto nombrar de esta manera a los agregados de protones y neutrones. Las vagas denominaciones se refieren a los protones y neutrones desnudos y con una carga positiva cuando los verdaderos átomos deben estar rodeados de electrones.



Para algunos la demarcación entre el ser y la nada tiene que ver con la duración de la existencia. Si lo que se ha generado en la colisión de dos núcleos atómicos es un nuevo núcleo atómico entonces tiene que vivir un tiempo razonable.



¿Bajo qué consideraciones un arreglo de neutrones y protones puede ser llamado elemento químico? Este es un problema casi filosófico y representa, sin duda, la controversia más importante entre los que se dedican a la producción de elementos sintéticos que viven muy poco tiempo. ¿Cómo diferenciar lo que es una entidad química de lo que es solo un suspiro?

Para algunos la demarcación entre el ser y la nada tiene que ver con la duración de la existencia. Si lo que se ha generado en la colisión de dos núcleos atómicos es un nuevo núcleo atómico entonces tiene que vivir un tiempo razonable.

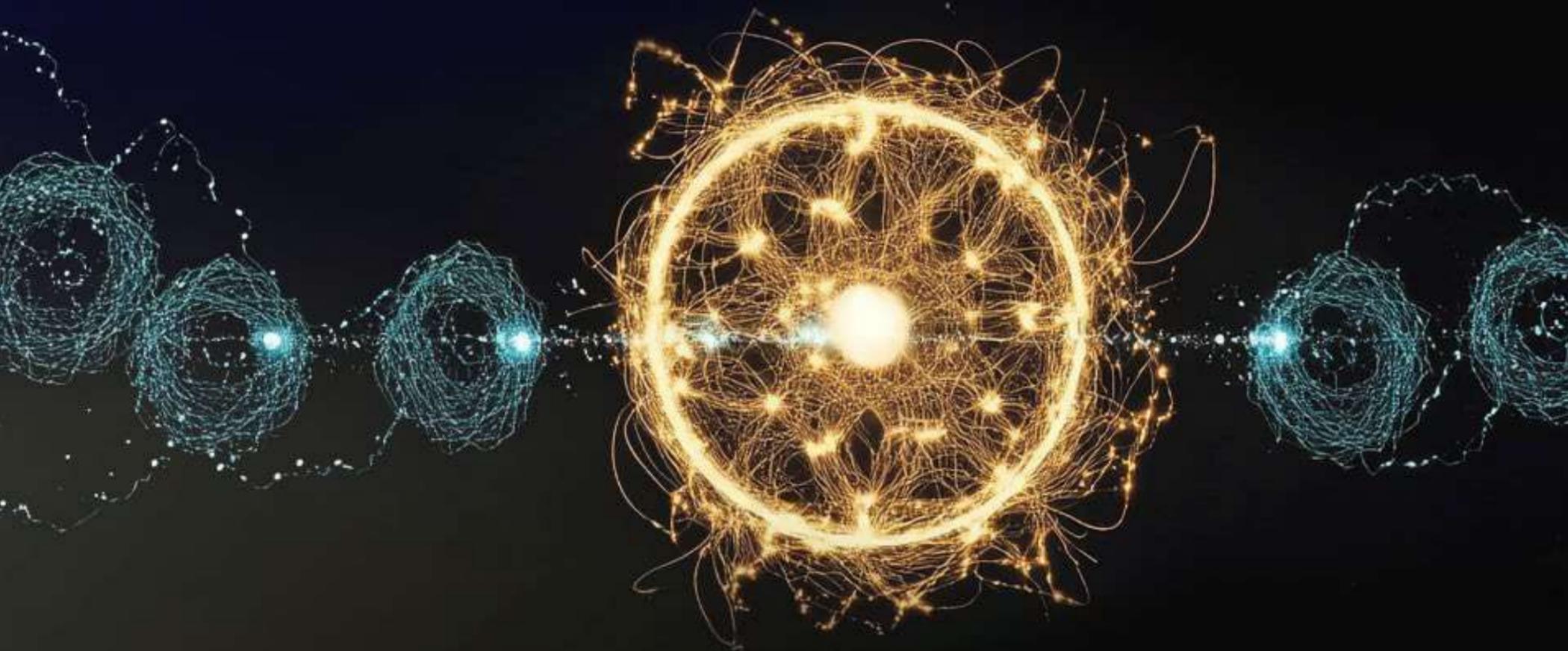
Se ha propuesto que un compuesto de protones y neutrones que viva menos de 0.01 billonésimas de segundo no sea considerado un nuevo elemento químico, sino un "cuasi átomo". Existen muchos aglomerados con un número de protones muy alto y que aparecen en las colisiones de iones; sin embargo, la mayoría de estos existen solo 0.01 trillonésimas de segundo y por eso no puede considerárseles nuevos elementos.

Acerca de estas consideraciones no hay consenso. Para algunos, el tiempo de vida debe ser más corto; para otros, más largo. Todos los elementos reportados hasta ahora tienen vidas medias del orden de los milisegundos y en algunos casos microsegundos, pero no más cortos que eso.

No obstante, uno podría pensar que más allá del tiempo de vida se debería evaluar la capacidad del nuevo objeto para reaccionar con otros átomos, es decir, se debería tomar en cuenta la química asociada con el elemento. Así, podríamos argumentar que son sus propiedades las que lo definen y le dan existencia. El problema es que el lapso de milisegundos no permite calificar la capacidad para activarse con otros átomos.

Casi todo mundo considera que los átomos deben estar rodeados de electrones, y por eso el Unibinilium deberá vivir más que 0.01 billonésimas de segundo.

*Todos los elementos reportados hasta ahora tienen vidas medias del orden de los milisegundos y en algunos casos microsegundos, pero no más cortos que eso.*



¿Por qué específicamente segundos, esto es, 0.01 billonésimas de segundo?

Se estima que una vez que aparece en el laboratorio al núcleo atómico le tomará ese tiempo adquirir electrones para de esa manera llegar a ser un átomo con derechos y propiedades químicas. Por eso es que no llamamos átomo a los agregados que existen menos que ese lapso.

Más allá de todo, el gran sueño es que con el elemento 120 aparezca la famosa "isla de estabilidad", una región de números que le dan a los nuevos átomos estabilidad y larga vida. Si la región esperada que suma el número correcto de protones y neutrones en los núcleos aparece ahora, las posibilidades tecnológicas serán enormes.

Algunos piensan que el 120 podría ser el último elemento químico porque la tecnología, aseguran, podría estar alcanzando el límite. Para otros, poner límites nunca es una opción.

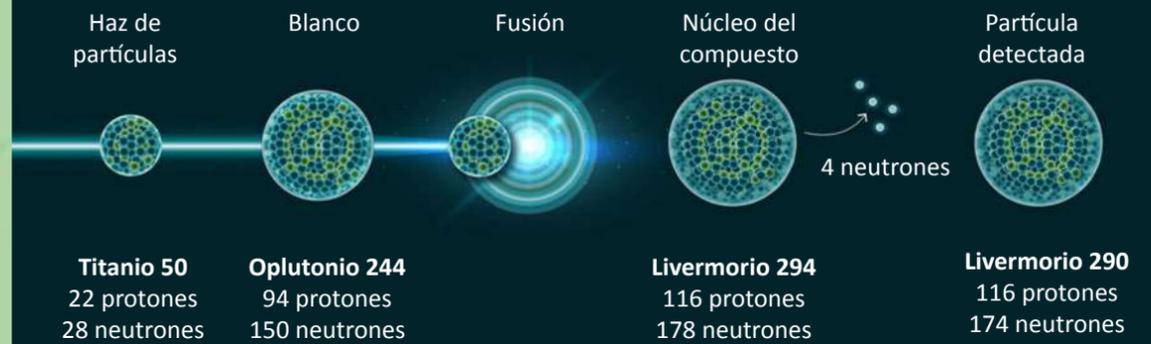
El elemento 119 aún no se ha manufacturado en ninguna parte, sería el que inaugure una nueva línea en la tabla periódica; en su ausencia, todo parece indicar que será el elemento 120 el que lo haga. Quedará, pues, una casilla vacía en el nuevo renglón mientras se produce el 119.

El octavo periodo está por ser escrito y eso significará también la presencia de orbitales electrónicos nunca vistos. Pero más que eso, un nuevo elemento ampliará la frontera de lo que puede existir y alimentará la esperanza de ver horizontes inéditos.

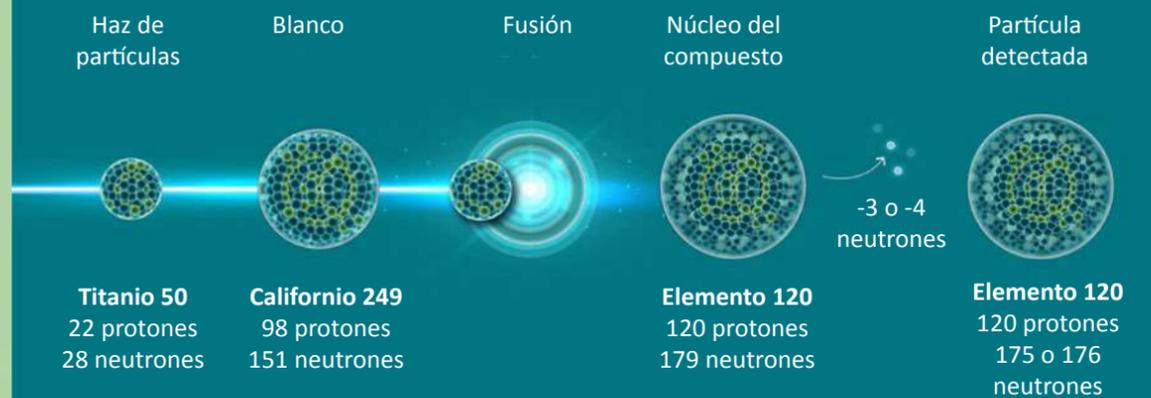


● Ya funcionó:

Una manera novedosa de producir el elemento químico 116



● La propuesta para el elemento 120:



**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).

# UN VIAJE A LA REALIDAD INTERNA DE NUESTRO CEREBRO

ELÍAS MANJARREZ

**B**orges dijo que la metáfora persa, “luna espejo del tiempo”, es una obra poética<sup>1</sup>. Es un poema que refleja la fragilidad de la luna y la eternidad. Las imágenes de la luna y de un espejo del tiempo en nuestro cerebro se fusionan para crear una realidad estética, íntima y única para cada lector.

¿Pero, puede la ciencia demostrar que las neuronas del cerebro son capaces de generar una realidad que no existe en el mundo físico externo durante una sensación o percepción? La respuesta es sí. Por increíble que parezca, incluso las neuronas motoras de la médula espinal pueden generar una realidad interna que no existe externamente durante la activación sensorial.

*¿Puede la ciencia demostrar que las neuronas del cerebro son capaces de generar una realidad que no existe en el mundo físico externo durante una sensación o percepción? La respuesta es sí. Por increíble que parezca, incluso las neuronas motoras de la médula espinal pueden generar una realidad interna que no existe externamente durante la activación sensorial.*

Iniciemos este viaje hablando del circuito neuronal más simple: el reflejo monosináptico. En una nota previa<sup>2</sup> mencioné la posibilidad de comprender muchas funciones del cerebro a partir de la sabia médula espinal, cuyos orígenes preceden al desarrollo del cerebro por millones de años de evolución.

El reflejo monosináptico consiste en la conexión entre una neurona sensorial que detecta el estiramiento de un músculo y una motoneurona que responde eléctricamente, activando el músculo y contrayéndolo. Es un proceso sensitivo y motriz. Es como si las motoneuronas actuaran como un espejo que refleja una contracción en respuesta a un estiramiento del músculo. Este reflejo obedece a una naturaleza muy básica, incluso de lo no vivo: a toda acción corresponde una reacción.



Si se aplica un estiramiento periódico a una frecuencia de 2 Hz, es decir, dos estiramientos por segundo, se logra la contracción del músculo a la misma frecuencia. De igual manera, un estiramiento a 3 Hz genera contracciones a 3 Hz. Esto muestra que las motoneuronas pueden reproducir fielmente las frecuencias de la realidad física externa, como si leyeran un texto con instrucciones precisas.

Sin embargo, demostramos que es posible generar una contracción refleja de un músculo a 1 Hz, una contracción por segundo, a partir del estiramiento simultáneo de dos músculos a 2 Hz y 3 Hz<sup>3</sup>. Allí, las motoneuronas reciben entradas convergentes de neuronas sensoriales, generando una contracción a una frecuencia diferente, 1 Hz. Algo más complejo que la simple sensación de un solo estiramiento. A esta contracción la llamamos reflejo fantasma, ya que no existe en la realidad física externa de las entradas de estiramiento. Es como la metáfora de la "luna espejo del tiempo", que genera una respuesta ilusoria con una realidad interna diferente a la lectura separada de las palabras.

De manera similar, las neuronas del cerebro pueden crear una realidad interna inexistente en el mundo físico externo durante la estimulación de los dos oídos. Si el lector o lectora se pone unos audífonos estereofónicos y visita esta página web<sup>4</sup> colocando 100 Hz en el oído izquierdo y 101 Hz en el derecho, escuchará un sonido continuo del que emergen una especie de latidos a una frecuencia de 1 Hz. Esta percepción ilusoria fantasma, conocida como pulsación binaural, se genera por la acción convergente del oído izquierdo y derecho sobre los núcleos olivares superiores, el primer relevo de la vía auditiva en el tallo cerebral que recibe entradas sensoriales de ambos oídos.

<https://onlinetonegenerator.com/binauralbeats.html>



*Borges también habló sobre la percepción de la realidad poética, comentando que es sentir varias cosas a la vez. Por ejemplo, en el verso de Carducci, “el silencio verde de los campos”, sentimos el campo, su vasta presencia, el verdor y el silencio. Para Borges, este verso genera una realidad interna que está tan cerca y tan lejos de la realidad externa inmediata, como si dijera “el silencio de los verdes campos”. Cada lector o lectora puede percibir con mayor o menor intensidad el sentido estético de este verso, o tener dificultad para percibirlo.*

Recientemente demostramos que es posible usar las pulsaciones binaurales ilusorias fantasma como un metrónomo interno, similar a lo que hace un músico cuando emplea un metrónomo externo. Pedimos a voluntarios que oprimieran un botón en respuesta a la percepción de cada pulsación binaural y encontramos que la mayoría siguió el ritmo del metrónomo interno en la primera sesión; sin embargo, algunos necesitaron varias sesiones para lograrlo, y algunos no lo lograron. Este fenómeno ilusorio interno es como la poesía, que Borges describe como el encuentro del lector con el libro, un descubrimiento que puede ocurrir en la primera lectura, en la relectura, o nunca.

Borges también habló sobre la percepción de la realidad poética<sup>1</sup>, comentando que es sentir varias cosas a la vez. Por ejemplo, en el verso de Carducci, “el silencio verde de los campos”, sentimos el campo, su vasta presencia, el verdor y el silencio. Para Borges, este verso genera una realidad interna que está tan cerca y tan lejos de la realidad externa inmediata, como si dijera “el silencio de los verdes campos”. Cada lector o lectora puede percibir con mayor o menor intensidad el sentido estético de este verso, o tener dificultad para percibirlo.



La dificultad de recrear imágenes en el cerebro al leer poesía podría relacionarse con la afantasia, una condición neurológica descrita por Adam Zeman y colegas en 2010<sup>5</sup>. Describieron el caso de una persona que, después de un procedimiento cardíaco, ya no pudo imaginar personajes y escenas de manera voluntaria tras leer una novela. Zeman y su equipo encontraron que la corteza visual de su paciente solo se activó al presentarle fotografías de personajes famosos, pero no cuando se le pidió que los imaginara.

¿Pero, qué pasa en general en el cerebro de las personas con afantasia que no pueden “ver” las imágenes mentales? Estudios recientes de registro de señales de resonancia magnética funcional muestran que ellas tienen desconexiones entre los centros corticales de la visión y otras zonas del cerebro, lo cual no ocurre en la normalidad. Sin embargo, se sugiere que hay un espectro de visualización de la imaginación interna diferente entre las personas, incluyendo las que no presentan afantasia. Es decir, todos podemos imaginar con mayor o menor nitidez.

Además, estudios recientes reportan que la afantasia no es exclusiva de la experiencia imaginativa visual, sino que también puede ocurrir en otras modalidades sensoriales, como la audición y el olfato. ¿Quién no puede imaginar el sonido del mar o del viento, el tacto del agua cuando nadamos, la música más pegajosa, o el aroma vívido de la tierra mojada en el campo?

De manera similar, en otros estudios del año 2015<sup>6</sup>, un grupo de investigadores de los institutos nacionales de salud de los Estados Unidos, analizaron las señales de resonancia magnética funcional para demostrar que durante la composición poética el cerebro exhibe una interacción dinámica entre áreas de la corteza medial prefrontal que regulan la motivación, con las áreas prefrontal dorsolateral y las áreas parietales que regulan el control cognitivo. Estas interacciones entre dichas áreas corticales permiten una asociación con áreas del lenguaje, sensorio motoras, límbicas de las emociones y diversas áreas subcorticales del cerebro.

Para finalizar, invito al lector o lectora que cierre los ojos e imagine una manzana roja brillante, que abra los ojos y los vuelva a cerrar para imaginar una luna blanca redonda gigante, y enseguida que imagine la disposición de los muebles de su casa, su cama, el rostro de su mascota. Seguramente las imágenes más vívidas serán de aquellos objetos o rostros con los que estamos más familiarizados o familiarizadas.

También invito al lector o lectora a evocar su verso predilecto, como lo hizo Neruda en “Puedo escribir los versos más tristes esta noche. Pensar que no la tengo. Sentir que la he perdido. Oír la noche inmensa, más inmensa sin ella...”, o a sumergirse en la infinitud de posibilidades del célebre microcuento de Monterroso<sup>7</sup>: “Cuando despertó, el dinosaurio todavía estaba allí”.

Nos situamos en un espacio donde lo imaginado se torna tan tangible como lo vivido, donde las imágenes nos permiten una introspección profunda y voluntaria de nuestro cerebro. Allí las conexiones entre neuronas toman la batuta para activar grandes ensambles neuronales, de manera real, aun cuando sea una realidad neuronal interna. Así, al concluir este viaje, queda claro que las neurociencias son herramientas fundamentales para entender y experimentar nuestra propia humanidad.



#### REFERENCIAS:

- 1 Borges JL. <https://www.laraizinvertida.com/detalle-2392-que-es-la-poesia-por-jorge-luis-borges>
- 2 Rudofest. <https://hipocritalector.com/elias-manjarrez/rudofest-una-vida-entregada-a-la-ciencia-3/>
- 3 Manjarrez E, Balenzuela P, García-Ojalvo J, Vásquez EE, Martínez L, Flores A, Mirasso CR. Phantom reflexes: muscle contractions at a frequency not physically present in the input stimuli. *Biosystems*. 2007 Sep-Oct;90(2):379-88. doi: 10.1016/j.biosystems.2006.10.002. Epub 2006 Oct 10. PMID: 17095145.
- 4 <https://onlinetonegenerator.com/binauralbeats.html>
- 5 Zeman AZ, Della Sala S, Torrens LA, Gountouna VE, McGonigle DJ, Logie RH. Loss of imagery phenomenology with intact visuo-spatial task performance: a case of ‘blind imagination’. *Neuropsychologia*. 2010 Jan;48(1):145-55. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.08.024. PMID: 19733188.
- 6 Liu S, Erkinen MG, Healey ML, Xu Y, Swett KE, Chow HM, Braun AR. Brain activity and connectivity during poetry composition: Toward a multidimensional model of the creative process. *Hum Brain Mapp*. 2015 Sep;36(9):3351-72. doi: 10.1002/hbm.22849. Epub 2015 May 26. PMID: 26015271; PMCID: PMC4581594.
- 7 Villoro J. [https://www.barcelonareview.com/27/s\\_jv.htm](https://www.barcelonareview.com/27/s_jv.htm)

#### 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.*



Septuagésimo  
aniversario del CERN

# En las entrañas del CERN

CARLOS CHIMAL

**E**l Gran Colisionador de Hadrones (LHC) descansa en un túnel cuyo radio alcanza los 27 kilómetros y una profundidad de entre ochenta y cien metros. Bajar a la caverna produce una mezcla de sentimientos, como si fuéramos personajes de una novela gótica y, al mismo tiempo, costumbrista. Es imposible hacerlo si se está llevando a cabo un experimento; solo si uno tiene la suerte de estar presente cuando se produce una pausa en la Ciudad Escéptica, como me gusta lla-

mar este sitio, el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN), es posible ser testigo de tan fascinante historia.

**¿Cómo se llegó hasta aquí?**

Desde que se construyera el primer acelerador de partículas, en 1928, hasta este gigantesco complejo de máquinas inyectoras, recolectoras, impulsoras, no ha pasado un siglo. El de Ernest O. Lawrence estaba hecho de vidrio y tenía apenas 13 cm de diámetro.



Vida cotidiana en la Ciudad Escéptica.



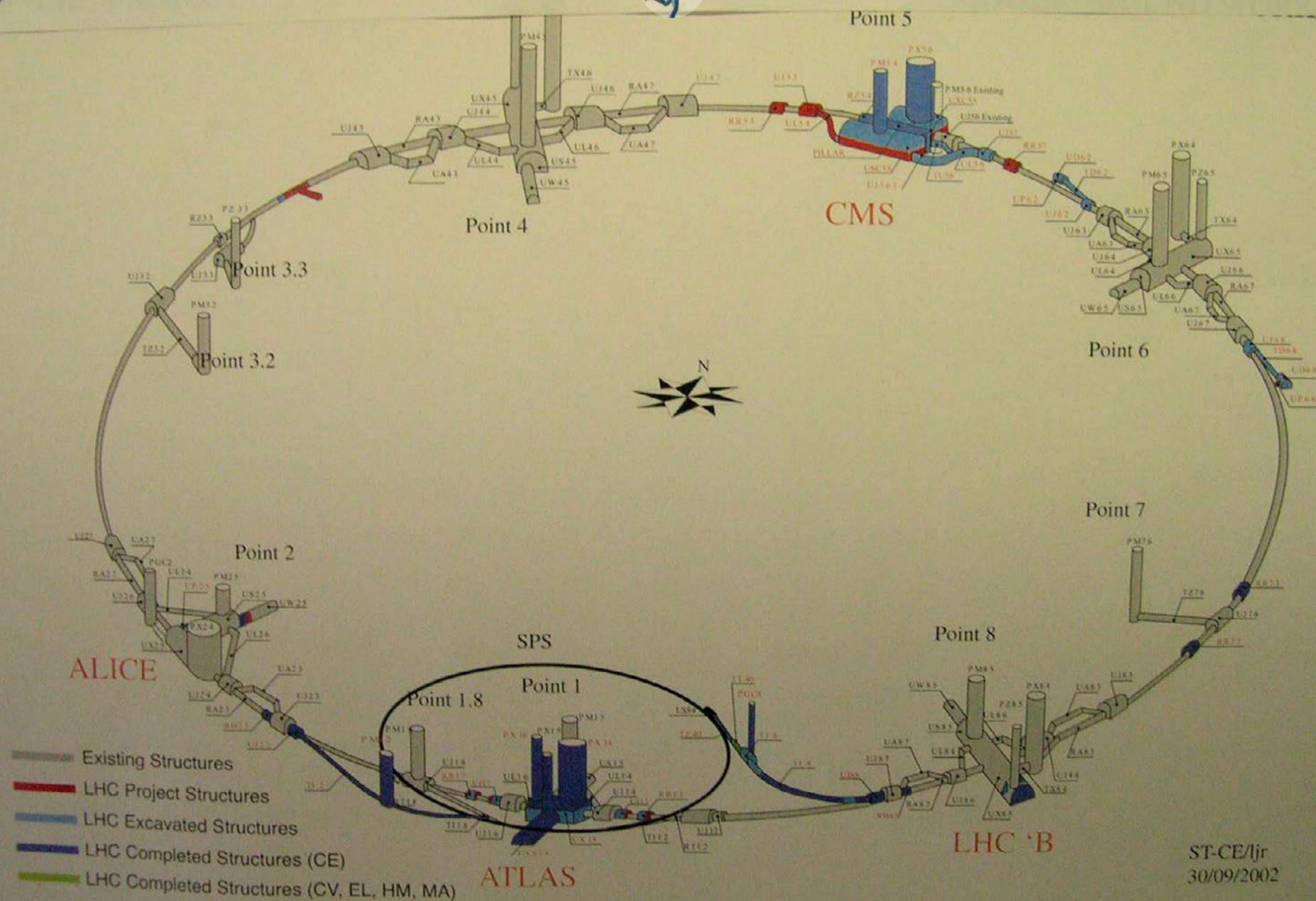
La mayoría de los aceleradores actuales son herederos de este primer dispositivo, aunque su tamaño y estructura se ha multiplicado en forma insospechada. Hubo hasta hace poco algunos lineales, como el de SLAC, en California. Comparados con las catedrales góticas por su ambiciosa grandiosidad, por su delicada y tajante jerarquización entre los elegidos y el resto de los mortales, los aceleradores pronto dejaron de ser artefactos que se construían en un laboratorio. Quizás en un futuro vuelvan a construirse pequeñas máquinas con una potencia insospechada, pero esto es harina de otro costal.

Como lo prueban Fermilab y ahora CERN, hoy en día se trata de enormes complejos; son los laboratorios, comedores, hoteles, oficinas los que se construyen alrededor de enormes aceleradores. O encima de ellos. De hecho, LHC no es un solo acelerador, sino un grupo de aceleradores, algunos de ellos reciclados gracias al talento de los ingenieros que han aceptado el desafío de llevar las ideas científicas al límite tecnológico. Ahí se aceleran iones de plomo y se hacen chocar en determinados puntos, como ALICE.

Algunos han hecho comparaciones menos insidiosas, afirmando que los aceleradores podrían ser considerados los microscopios de los físicos. O los hornos donde se cuece el pan de Leucipo y se rebana hasta sus últimas consecuencias.

*Desde que se construyera el primer acelerador de partículas, en 1928, hasta este gigantesco complejo de máquinas inyectoras, recolectoras, impulsoras, no ha pasado un siglo. El de Ernest O. Lawrence estaba hecho de vidrio y tenía apenas 13 cm de diámetro.*





● Croquis del complejo de aceleradores y detectores en 2002.

Como quiera que sea, sabemos que la potencia de un microscopio que utiliza electrones para ver trozos de materia más grandes depende de la longitud de onda de la radiación que utiliza. Así, entre más pequeña sea dicha longitud, más detalles nos revelará. Por ello los biólogos ahora pueden ver las moléculas, por ejemplo, que constituyen los corpúsculos rojos en la sangre humana.

Sin embargo, lo que quieren ver los cazadores son partículas millones de veces más pequeñas, por lo que un microscopio electrónico no les sirve de nada. Lo que necesitaban era algo que rompiera la cáscara y los dejara atisbar en el interior de ese espacio.

Ahora bien, la teoría cuántica indica que si reducimos más y más la longitud de onda, debemos de aumentar la energía. Para tener una referencia, con los microscopios electrónicos podemos escudriñar la estructura de moléculas a una distancia de una millonésima de milímetro, muy lejos de las necesidades de un físico de partículas.

Tomar en cuenta la siguiente tabla me facilitó las cosas si deseaba entender lo básico de la aceleración de partículas:

**Energía aproximada**

- 0.1 eV
- 1.0 eV
- 1,000 eV
- 1 MeV
- 100 MeV
- 1 GeV
- 10 GeV
- 100 GeV
- 10 TeV

**Tamaño de la estructura material**

- Molécula,  $10^{-8}$  m
- Átomo,  $10^{-9}$  m
- Meollo del átomo,  $10^{-11}$  m
- Núcleo masivo,  $10^{-14}$  m
- Meollo del núcleo,  $10^{-15}$  m
- Neutrón o protón,  $10^{-16}$  m
- Efectos en quarks,  $10^{-17}$  m
- Efectos en quarks (detalles),  $10^{-18}$  m
- (¿), Límite inferior desconocido,  $10^{-20}$  m



No está por demás saber que:

$10^{-12}$  equivale a 0.000000000001 y se llaman pico (p)  
 $10^{-9}$  equivale a 0.000000001 y se llaman nano, simbolizado por n  
 $10^{-6}$  equivale a 0.000001 y se usa la letra griega tau (micro)  
 $10^{-3}$  es 0.001 y son los milímetros  
 $10^{-1}$  equivale a 0.1  
 $10^0$  equivale a 1  
 $10^2$  es igual a 100  
 $10^3 = 1000 = \text{kilo}$   
 $10^6 = 1,000,000 = \text{mega}$   
 $10^9 = 1,000,000,000 = \text{giga}$   
 $10^{12} = 1,000,000,000,000 = \text{tera}$   
 $10^{15} = 1,000,000,000,000,000 = \text{peta}$

Finalmente, es útil considerar que, para los físicos, la energía tiene unidades como los joules y las calorías, mientras que el vatio es unidad de potencia; cada una se usa según el contexto. Así, sería poco útil medir el esfuerzo de un atleta en kilovatios, o la brillantez de un foco en calorías. Si bien el joule pertenece al SI (Sistema Internacional de medidas) y no tiene equivalencia, las demás unidades pueden relacionarse utilizando factores de conversión.

En física de partículas la unidad que más se usa es el electrón-volt (eV) y sus potencias keV ( $10^3$  eV), MeV ( $10^6$  eV), GeV ( $10^9$  eV) y, hasta ahora, TeV ( $10^{12}$  eV). Es la más conveniente porque, en términos absolutos y aunque suene raro, las energías que manejan los cazadores son muy pequeñas.

Desde 2022 el LHC alcanzó más de 6 TeV por haz de protones, consiguiendo una energía de choque de casi

14 TeV. De esa manera se convirtió en la máquina aceleradora de partículas más poderosa jamás construida. Ya lo era desde fines de 2012, cuando llegó a un total de 7 TeV por choque. Si convertimos esta cantidad en joules, tendremos:

$$14 \times 10^{12} \times 1.602 \times 10^{-19} = 22.4 \times 10^{-7} \text{ joules.}$$

Para darnos una idea de cuán pequeña es esta cantidad de energía en realidad, comparémosla con la de un paquete de un kilo que cae desde una altura de un metro: 9.8 joules = ¡ $6.1 \times 10^{19}$  electronvolts!

Se ideó la unidad del electrón-volt a partir de la siguiente observación: un electrón acelerado por una diferencia de potencial de 1 volt tendrá una determinada cantidad de energía. Entonces,  $E = qV$  joules, donde  $q$  es la carga del electrón en coulombs y  $V$ , la diferencia de potencial en volts. Por tanto,

$$1 \text{ eV} = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1 \text{ V}) = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J.}$$



Como dijimos, es tan pequeña la cantidad de energía que manejan los cazadores que 1 TeV equivale a la energía que usa un mosquito en pleno vuelo. La gracia de los físicos es que han logrado comprimir esa energía en un espacio un millón de millones de veces más pequeño que el insecto.

En 1927 Rutherford se dio cuenta de que no había otro camino. La única manera de abrir las entrañas de la materia, de revelar su intimidad, sería construyendo máquinas capaces de generar millones de volts. Y es que hasta ese momento los experimentos consistían en bombardear un blanco fijo. Pero las fuentes alfa, que el mismo Rutherford y sus colegas estudiaron en forma exhaustiva, eran más bien tacañas, pues apenas un millón de partículas por segundo podían dirigirse hacia un objetivo de un centímetro cuadrado. Una miseria si pensamos que los núcleos solo ocupan una centésima de millonésima del área del objetivo.

Se requería, por tanto, acelerar partículas mil veces más. Esto implicaba contar con una fuente más poderosa de energía que fuera capaz de romper el núcleo. Cuando hicieron un poco de matemáticas, encontraron que en realidad requerían de varios millones de volts. Así comenzó la carrera por las altas energías y a la física subnuclear comenzó a llamársele de altas energías.

Desde luego, a medida que los aceleradores se hicieron más poderosos, se acercaron peligrosamente a la barrera universal, la velocidad de la luz. De acuerdo a la teoría especial de la relatividad, enunciada por Albert Einstein en 1905, nada puede viajar más rápido que la luz.

Por ello el concepto de velocidad es anticuado. Una máquina puede acelerar protones, digamos al 99% de la velocidad de la luz. Otra, al 99.9% y una tercera, al 99.9999%. Ninguna llegará al 100%, ni mucho menos al 100.1%, pero lo que sí sucederá es que en cada decimal que escale, el precio será escandalosamente elevado, pues si la ecuación de Einstein,  $E = mc^2$ , no nos miente, mientras más cerca se está de la velocidad de la luz, el objeto se vuelve más pesado, por lo que es cada vez más difícil moverlo.



*Una máquina puede acelerar protones, digamos al 99% de la velocidad de la luz. Otra, al 99.9% y una tercera, al 99.9999%. Ninguna llegará al 100%, ni mucho menos al 100.1%, pero lo que sí sucederá es que en cada decimal que escale, el precio será escandalosamente elevado.*

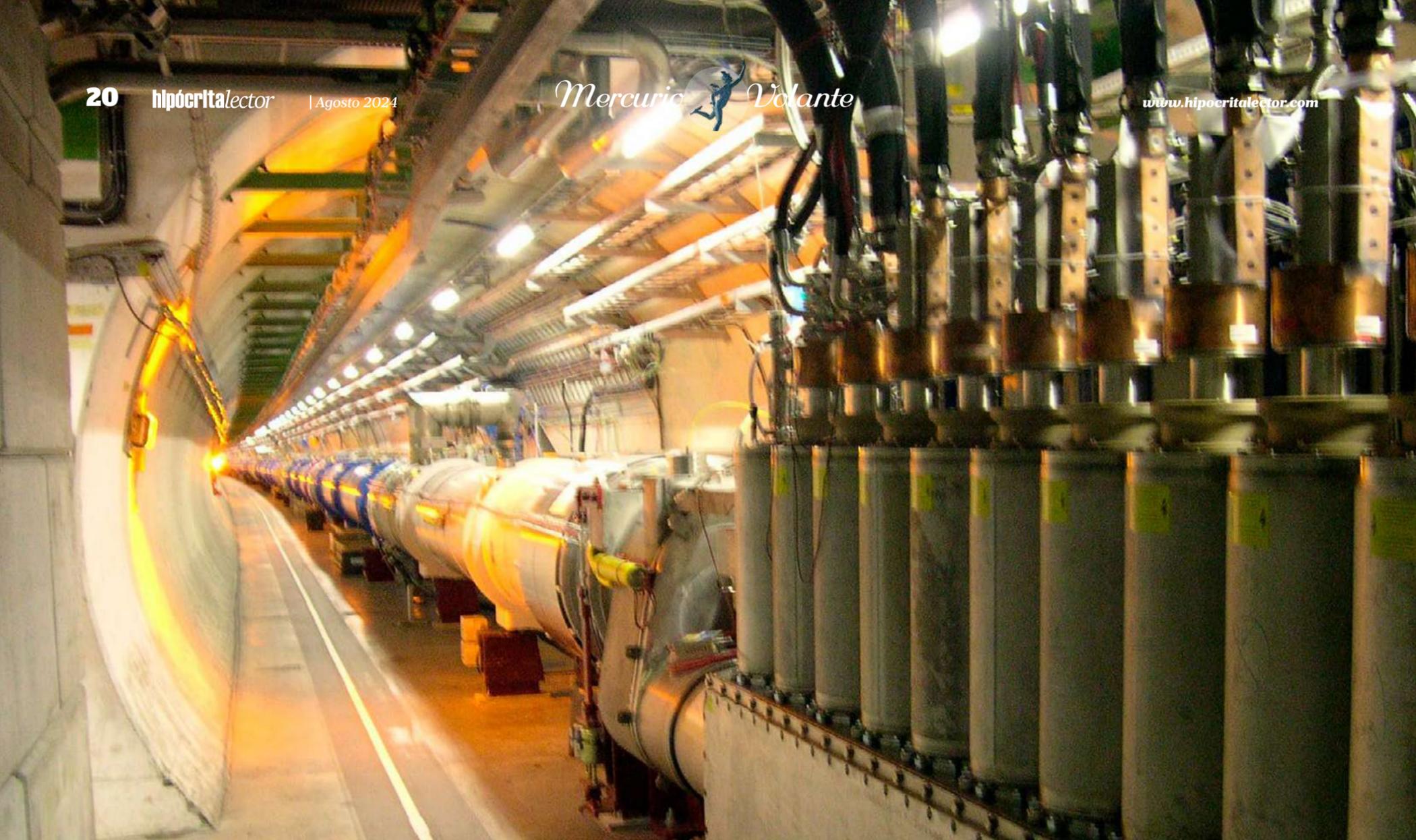
Hablamos de precios a pagar en el orden del intelecto, pues implica encontrar razones, soluciones factibles a desafíos tecnológicos inéditos. Pero también hablamos de dinero. No precisamente el que se necesita para adquirir el Porsche y el Ferrari que nos acaban de rebasar, pues luego de una visita a la caverna del LHC es hora de ir a comer al centro de Ginebra.

Y para ello se toma el tram, tranvía de última generación algo más modesto en términos de velocidad y energía. Y es que el cuchillo que rebana el pan de Leucipo no se afila en el taller de la velocidad, sino en el de la energía. Así, para “ver” un protón al 99% de la velocidad de la luz se necesita de una energía de unos 7 GeV (alcanzada por el Bevatron de Berkeley, California, en 1955).

Si queremos detectarlo al 99.95%, necesitamos de 30 GeV (que se alcanzó en Brookhaven, AGS, en 1972). Ese mismo año en Fermilab se llegó al 99.999% de la velocidad y se requirió acelerar protones a 200 GeV.

Cuarenta años antes, en 1932, Cockcroft y Walton construyeron en el laboratorio de Rutherford una máquina que produjo las primeras desintegraciones nucleares de partículas aceleradas en forma artificial. Sin embargo, finalmente se impuso el diseño en forma de ciclotrón, de Lawrence, quien a los 27 años de edad lo único que deseaba era continuar sus estudios de fotoelectricidad.

Meses después se topó con la tesis doctoral del ingeniero noruego Rolf Wideröe, quien trabajaba en Alemania. Ahí mostraba cómo podía construirse un acelerador de partículas a partir de las ideas del físico sueco Gustaf Ising. Pero Lawrence encontró una manera sustancial de mejorar el dispositivo y así el viaje hacia el interior del átomo dio un salto cualitativo.



Ising y Wideröe habían pensado en acelerar partículas mediante una serie de pequeños empujones a partir de voltajes relativamente bajos. De acuerdo al diseño concebido por Wideröe las partículas deberían viajar a través de diversos cilindros de metal, separados, en un tubo al vacío.

Dado que dentro de estos cilindros no habría campos eléctricos, las partículas viajarían por inercia. No obstante, Wideröe colocó campos eléctricos mediante voltajes alternados, que iban y venían entre valores positivos y negativos. Igualó la frecuencia del voltaje alternado con la longitud de los cilindros, de tal forma que las partículas sintieran el empujón y no un retardo cuando aparecieran por cada hueco.

Así garantizaba que las partículas siguieran acelerando al pasar por los cilindros. Este es el principio de operación de los modernos aceleradores lineales (linacs), empleados en las primeras etapas de aceleración en anillos como Fermilab (en su momento) y en el CERN.

La brillante idea de Lawrence consistió en usar un campo magnético para desviar partículas en una órbita circular. Entonces pasarían a través de los mismos huecos aceleradores varias veces, en lugar de hacerlo por una serie sucesiva, como creía Wideröe.

Si las partículas se aceleran en cada vuelta, discurrió Lawrence, deben describir una espiral expansiva a me-

didada que aumentan su energía y se vuelven más resistentes a seguir la curva generada por el campo magnético. Pero Lawrence también comprendió que el radio de la órbita aumenta, al igual que la velocidad de la partícula, de tal forma que el tiempo que toma cada vuelta permanece constante. A pesar de la órbita en espiral las partículas pueden atravesar cada hueco a intervalos iguales y mantener el paso con un voltaje alternado.

En este "remolino" Lawrence puso entre los polos circulares de un electroimán dos cavidades semicirculares y vacías, de metal, en forma de D. Una pequeña brecha separa ambas D, mientras que un campo eléctrico a través del hueco acelera las partículas en la primera mitad de su recorrido.

En la segunda mitad de la vuelta las partículas cruzan de nuevo la brecha, pero en dirección contraria. Lawrence sincronizó la frecuencia con que debía de modificar la dirección del campo y el tiempo que tomaba cada giro. Las partículas que fluyeran desde el centro del remolino girarían hacia el exterior cada vez con mayor energía.

Hacia 1939 el ciclotrón de Berkeley medía ya 1.5 metros, el mismo año que Lawrence recibió el Premio Nobel. Gracias a eso pudo conseguir 1.4 millones de dólares que se necesitaban para construir un ciclotrón de 100 MeV, basado en un enorme imán con polos de 4.6 m de diámetro.





● En septiembre de 2008 se produjo una importante avería del LHC debido a un error humano. El costo fue alto; tomó varios meses repararlo y echarlo a andar de nuevo. A fin de no perder el espíritu y para recordarnos que todo está hecho por humanos, se colocó durante un tiempo este fragmento del acelerador en el jardín del CERN, frente al comedor principal, con una leyenda irónica en francés: "El Gran Colisionador de Hadrones... ¡no hace magia!".

Lawrence quería producir el responsable de la interacción fuerte, más tarde llamado pión, y creía que lo conseguiría bombardeando núcleos con partículas alfa. Si duplicaba la carga de los protones, las partículas alfa alcanzarían una aceleración equivalente al doble de la energía, es decir, 200 MeV, y él pensaba que 150 MeV era suficiente para liberar piones de las garras de la fuerza fuerte. Pero estalló la Segunda Guerra Mundial y, aunque tenía ya el imán, tuvo que emplearlo en propósitos bélicos.

Un terrible y sanguinario paréntesis permitió que se pensara mejor en el diseño original. Si el mundo no hubiese entrado en semejante conflicto, seguramente la idea original de Lawrence no habría prosperado, es decir, nunca habría generado un haz de partículas alfa a 150 MeV.

Sabemos que uno de los efectos de la teoría especial de la relatividad de Einstein es que, en la medida que se aproximan a la velocidad de la luz, los objetos se vuelven más pesados. Por su parte, el ciclotrón trabaja sobre el principio de que las partículas siempre toman el mismo tiempo en completar una vuelta. Pero esto deja de ser cierto cuando se aplica la relatividad especial.

Entre más pesadas se vuelven las partículas, con mayor lentitud cumplen sus giros. Al cabo de un tiempo empezarán a llegar tarde al hueco entre las D del ciclotrón y perderán el voltaje alternado durante la fase de aceleración. En los ciclotrones anteriores a la Segunda Guerra este efecto era insignificante, pero para protones de 25 MeV acelerados a una quinta parte de la velocidad de la luz el aumento de la masa era de un 2%, lo cual era suficiente para sentir dicho efecto. Los cazadores habían encontrado el límite insuperable en este tipo de máquinas.

*Sabemos que uno de los efectos de la teoría especial de la relatividad de Einstein es que, en la medida que se aproximan a la velocidad de la luz, los objetos se vuelven más pesados. Por su parte, el ciclotrón trabaja sobre el principio de que las partículas siempre toman el mismo tiempo en completar una vuelta. Pero esto deja de ser cierto cuando se aplica la relatividad especial.*

Deseosos de llegar a 100 MeV y a la mitad de la velocidad de la luz, donde los protones son un 10% más pesados que cuando están en reposo, Lawrence y su equipo no se dejaron intimidar por la relatividad einsteniana y se lanzaron en pos de una nueva máquina, un transformador de lujo y recargado.

En 1939 creían poder superar el aumento de masa utilizando la fuerza bruta de un voltaje de aceleración muy alto, llevando los protones a esa marca (100 MeV) mediante un gigantesco imán, como vimos antes. No lo pudo probar por el estallido de la guerra y, mientras tanto, Ed McMillan, quien trabajaba en Los Álamos, así como el ruso Vladimir Veksler, llegaron a la misma conclusión. Había que ajustar la frecuencia del voltaje aplicado, de forma que pudiera mantenerse el ritmo de las partículas, dado su gradual retardo.

Sin embargo, una máquina que opera con frecuencia variable no podía acelerar un flujo continuo de partículas, como el ciclotrón lo hacía. Modificar la frecuencia para mantener el ritmo de las partículas energizadas significaría que cualquier partícula, incluso aquellas con energías menores, estaría fuera de ritmo.

En cambio este ciclotrón “en sincronía”, o sincrociclotrón, tomaría un haz de partículas de la fuente cada vez y lo aceleraría más allá del imán. Al mismo tiempo la frecuencia del voltaje de aceleración disminuiría a fin de compensar el aumento en la masa de dichas partículas. Así, la energía final de las partículas estaría limitada sólo por el poder y tamaño del imán.

Noviembre de 1946 fue esencial en esta historia, pues el nuevo artefacto produjo su primer haz de deuterones (núcleos de deuterio o hidrógeno pesado, formados por un protón y un neutrón) con una energía de 195 MeV. No fue en Berkeley donde se encontraron las evidencias de la existencia de los piones. Cecil Powel y sus colegas en Bristol los detectaron en la lluvia cósmica que quedaba impresa en diversas placas expuestas en el observatorio de Pic du Midi de Bigorre, enclavado en los Pirineos franceses.

Sin embargo, como nos aclara de manera oportuna nuestro colaborador y experto en la materia, Gerardo Herrera Corral, existe evidencia histórica de que el físico experimental brasileño, César Lattes, obtuvo aún antes imágenes de piones en Chacaltaya, una de las montañas más altas de la cordillera andina, al este de Bolivia. A la edad de 23 años, en 1946, Lattes comenzó a colaborar con Powell y su maestro, Giuseppe Occhialini, en Bristol, perfeccionando las placas fotográficas y allanando el camino a éstos. Un año después Lattes se trasladó a los Estados Unidos, donde encontró más pruebas de la presencia del mesón pi en el ciclotrón de Berkeley acelerando partículas alfa.

Si bien el sincrociclotrón de Lawrence fue de gran ayuda para quienes estudiaban los rayos cósmicos, ya que produjo muchos piones por pedido, toda una serie de nuevas y exóticas partículas llamó la atención de los físicos. Simplemente su máquina no era tan poderosa como para producir algo tan pesado y extraño, ya que su campo magnético era limitado, al igual que el diámetro de los polos del imán.

Una vez que las partículas aceleradas alcanzaban cierta energía, sus órbitas rebasaban los polos. Entonces había que idear una manera de acumular más energía. Por un lado, era imposible construir un imán mayor que el de 4.6 m de Lawrence. Además de modificar la frecuencia del voltaje de aceleración, a fin de no perder la armonía con el impulso energético que recibían cada vez más las partículas, se aumentó el campo magnético. Cada vez que tales partículas ganaban energía se hacía más fuerte el campo, lo cual permitiría mantenerlas en órbita y evitar que entraran en una espiral sin retorno.

¿Y por qué no dejar de pensar en un imán cada vez más grande e imposible? ¿Qué tal si se fabricaban unos más pequeños y de disponían en forma de anillo, cada uno como una especie de C? De esta manera las partículas viajarían en un tubo circular al vacío, comprendido dentro de los imanes, y aquéllas serían aceleradas cada vuelta por un voltaje alternado de frecuencia variable, que se aplicaría en uno o varios sitios alrededor del anillo.

En cuanto a su paso a través del tubo, se las mantendría girando y el campo magnético se aumentaría sin cesar. La máquina fue bautizada como sincrotón y fue la



Los electrones eran los favoritos de los físicos, pero se decidió construir sincrotrones de protones. Si bien entre 1950 y 1980 los sincrotrones de electrones seguirían desempeñando un papel importante en la física de altas energías, el desafío y riqueza conceptual que se desprendería de los sincrotrones de protones no era nada despreciable.



Más de treinta centros en el mundo operan anillos que almacenan haces de electrones y positrones como fuente de radiación del tipo sincrotón, la cual se ha usado en investigaciones médicas y en la producción de chips con un millar de veces más elementos de circuito por superficie.

base de los aceleradores modernos, como el espectacular y extinto Tevatrón de Fermilab, el cual cerró operaciones en septiembre de 2011.

Antes dije que los electrones eran los favoritos de los físicos, pero se decidió construir sincrotrones de protones. Si bien entre 1950 y 1980 los sincrotrones de electrones seguirían desempeñando un papel importante en la física de altas energías, el desafío y riqueza conceptual que se desprendería de los sincrotrones de protones no era nada despreciable.

Así, se instaló uno en Berkeley, California, y otro en Brookhaven, Long Island. Esta última máquina fue diseñada para alcanzar 3 GeV, por lo que su haz produciría abundantes piones, luego de colisionar con el blanco adecuado. La primera misión encomendada al Bevatrón de Berkeley fue descubrir el antiprotón, cuya carga es negativa.

Recordemos que Carl Anderson encontró en 1932 el positrón o antielectrón, de manera que hallar este antiprotón sería como descubrir el eslabón perdido, una clave que permitiera establecer que las leyes de la física y sus modelos del Universo eran simétricos entre la ma-

teria y la antimateria. Según los teóricos, se requerían poco más de 6 GeV a fin de producir antiprotones a partir del choque de protones contra un objetivo. Berkeley se lanzó por el nuevo número mágico.

Por su parte, en el Cosmotrón de Brookhaven se aclaró la naturaleza de partículas extrañas provenientes de la radiación primaria del cosmos. De esta forma, los físicos revelaron la identidad de la contraparte negativa de la partícula sigma, que tiene carga positiva, y también es parte de la lluvia cósmica. En noviembre de 1954, mientras se fundaba el CERN en las afueras de Ginebra, el Bevatrón estaba enviando  $10^{10}$  protones de 6.2 GeV.

Más de treinta centros en el mundo operan anillos que almacenan haces de electrones y positrones como fuente de radiación del tipo sincrotón, la cual se ha usado en investigaciones médicas y en la producción de chips con un millar de veces más elementos de circuito por superficie. Si se quiere extirpar un tumor cancerígeno, el bisturí más fino disponible hoy en día es un haz de protones.

Y es así como regresamos a esta caverna, en donde reposa el gigante que nos permite ver más allá de lo evidente.



## Septuagésimo aniversario del CERN

# Álbum del recuerdo 1999-2024

### Neil Calder

Cuando comencé a escribir las crónicas del átomo en CERN, en 1999, el jefe de la oficina de prensa era Neil Calder, un avisado escocés que me recibió con calidez y enorme profesionalismo. Fue él quien me llevó en su jeep de la Segunda Guerra a conocer la casona de Voltaire, experiencia inolvidable. Sus consejos de cómo acercarme a los investigadores, dado que no era yo ni físico ni ingeniero, sino un novelista interesado en la comprensión pública de la ciencia y la tecnología de punta que se cultiva en este sitio, me allanaron el camino tortuoso de la confusión y el desdén. "Hablando se entiende la gente", me dijo Neil, "pero solo si tienes algo profundo que preguntar".



### Renilde Vanden Broeck

Fue asistente durante varios años de Neil. En varias ocasiones Renilde gestionó por mí citas difíciles de conseguir, sobre todo con los directores de CERN y algunos líderes que no entendían por qué un escritor deseaba saber qué se cocinaba en este sitio peculiar.



## Sophie Tesauri

Desde la primera vez que Sophie me acompañó a realizar entrevistas y visitas a diversas instalaciones de CERN me di cuenta que se trataba de alguien amable, serena y llena de energía. Ella facilitó mi acceso a instalaciones donde pocos tienen acceso. Comprendió mi diletantismo, la clase de curiosidad que animaba mis viajes al interior del átomo. Detrás de Sophie aparece Julie Heffner, asistente de prensa.



## Tulio Basaglia

Su labor como jefe del Servicio de Información Científica de CERN ha sido invaluable. Gracias a él pude presentar en sendas ocasiones ante la comunidad de CERN mis libros *El universo en un puñado de átomos* (Tusquets/Planeta), así como la novela *El Mercurio volante* (FCE), en el auditorio Georges Charpak. Afable, de una cultura impresionante, Tulio tiene el don de la amistad sincera.

## Jóvenes promesas

Durante uno de mis viajes a CERN me encontré en el comedor principal a dos muchachos que habían venido a realizar una breve estancia con el propósito de empaparse de lo que aquí se hace, tanto en términos científicos como ingenieriles. Uno de ellos, europeo, venía de la Universidad de Sevilla y el otro, africano, de la Universidad de Ghana. Ambos me expresaron su profunda alegría por encontrarse en un sitio donde se llevan las ideas a extremos insospechados.



# RESILIENCIA:

## más que una palabra de moda

MARIO DE LA PIEDRA WALTER

*Estos últimos diez años cuentan  
la historia de nuestra resiliencia.  
Barack Obama*

**L**a Real Academia de la Lengua Española (RAE) publicó en el 2020 una lista con las palabras más buscadas en su diccionario. Como era de esperarse, casi todas hacían referencia a la pandemia de SARS-CoV-2 que paralizó al mundo. A cuatro años del inicio de la pandemia, palabras como *cuarentena*, *confinamiento*, *epidemia*, *virus* o *mascarilla* suenan casi arcaicas; aunque la amenaza esté siempre latente.

De esta lista, hay una palabra que no solo ha sobrevivido a la memoria, sino que año con año ha cobrado más fuerza: *resiliencia*. Con cierta ironía, cada año es nombrada la "palabra del año" por alguna revista. En 2023 sumó más de 685 millones de resultados según el buscador de Google, y el número va al alza.

Proveniente del latín *resilio*, su etimología se refiere al hecho de "volver a saltar" o "rebotar", y se popularizó como un término en la física durante el siglo XIX con objeto de describir la capacidad de algunos materiales para soportar fuerzas sin romperse. A partir de 1970 se incorporó a la psicología a fin de referirse a la capacidad de muchos menores de afrontar situaciones traumáticas, como la precariedad o la privación de la madre, y se expandió a otros campos como la ecología para describir ecosistemas que recuperaban su equilibrio después de una catástrofe.



El uso excesivo de la palabra en los últimos años la ha convertido, sin embargo, en una herramienta de marketing. En internet abundan los *resilience coaches*, un subgrupo del *Life Coaching* que promete empoderar a sus clientes para superar cualquier situación. El filósofo italiano, Diego Fusaro, advierte sobre los peligros de banalizar esta palabra en categorías fuera de la psicología, como en la política o la economía. Fuera de su contexto, obliga al individuo a aceptar la realidad como es, en vez de ofrecer la posibilidad de cambiarla.

De uso común en el discurso de presidentes y CEOs, exige de los subordinados una "actitud resiliente" ante injusticias estructurales o circunstancias que bien pueden ser reversibles. La resiliencia, por lo tanto, ha devenido en el siglo XXI en la virtud de quien se deja explotar.

Más que una palabra de moda o el inicio de una frase motivacional, la resiliencia es un conjunto de procesos biológicos, dinámicos y complejos, que permite a los individuos mantener su bienestar psicológico ante la adversidad. Después de un evento traumático, muchas personas experimentan depresión, ansiedad y otros síntomas de estrés postraumático (TEPT); pero la mayoría se recupera de forma natural al cabo de unos días.

En este sentido la resiliencia es una respuesta común a un trauma, donde solo una minoría desarrolla síntomas persistentes. Entender estos mecanismos es, por lo tanto, fundamental para la prevención y el tratamiento de secuelas postraumáticas en los individuos más vulnerables.

*Más que una palabra de moda o el inicio de una frase motivacional, la resiliencia es un conjunto de procesos biológicos, dinámicos y complejos, que permite a los individuos mantener su bienestar psicológico ante la adversidad. Después de un evento traumático, muchas personas experimentan depresión, ansiedad y otros síntomas de estrés postraumático (TEPT); pero la mayoría se recupera de forma natural al cabo de unos días.*





La mayoría de los estudios vinculan la respuesta al trauma con las estructuras cerebrales que procesan el miedo; tanto de las áreas que inhiben (hipocampo, vmPFC) como las que facilitan (amígdala, ínsula, dACC, dmPFC) una respuesta ante una amenaza. Por su papel en el procesamiento de emociones primarias, en especial frente al peligro, la amígdala es una de las estructuras más estudiadas. Individuos con una menor actividad en esta región previo a un trauma presentan menos síntomas de estrés postraumático y se muestran más resilientes a él.

Esto es cierto en todo tipo de personas, desde niños que presenciaron un ataque terrorista hasta soldados desplegados en combate. De igual forma, una mayor actividad en el núcleo cerúleo durante tareas emocionales, una región asociada al control de pánico y estrés que recibe señales de la amígdala, aumenta las posibilidades de sufrir de ansiedad después de una situación estresante. Esto último fue corroborado en estudiantes de medicina antes y después de su año de internado.

Por otro lado, las estructuras que ejercen un control inhibitorio sobre la amígdala, como la corteza prefrontal ventromedial (vmPFC por sus siglas en inglés), se asocian a una mayor resiliencia si se muestran más activas en comparación con otros individuos. Tanto en soldados como en sobrevivientes de desastres naturales, un aumento en el volumen, función y conectividad de la vmPFC se vincula a individuos más resilientes.

Otra región fundamental es el hipocampo, la región que almacena y evoca recuerdos, y que es necesaria para dar contexto a las experiencias a las que somos expuestos. El aumento en su tamaño y función se relaciona a menores síntomas de estrés postraumático.

*La mayoría de los estudios vinculan la respuesta al trauma con las estructuras cerebrales que procesan el miedo; tanto de las áreas que inhiben (hipocampo, vmPFC) como las que facilitan (amígdala, ínsula, dACC, dmPFC) una respuesta ante una amenaza. Por su papel en el procesamiento de emociones primarias, en especial frente al peligro, la amígdala es una de las estructuras más estudiadas.*





Se especula también que la *red de saliencia*, una de las tres redes neuronales a gran escala en el cerebro que median la atención y otros procesos cognitivos, podría estar fuertemente relacionada con el trastorno de estrés postraumático y la ansiedad. Dicha red está conformada principalmente por la ínsula anterior y la corteza cingulada dorsal anterior (dACC por sus siglas en inglés), que son importantes en el comportamiento y la toma de decisiones.

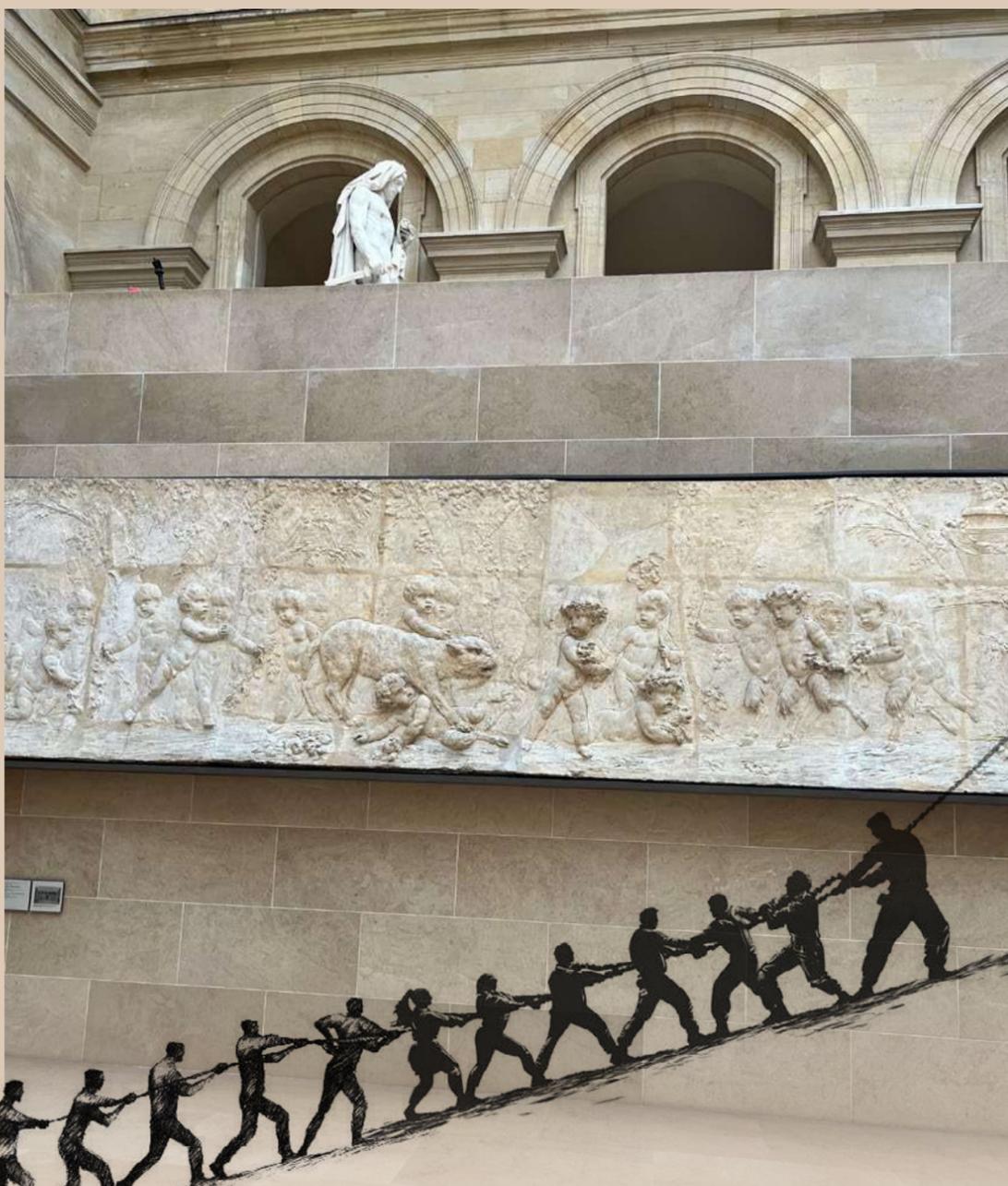
La hiperactividad de esta red genera conductas ansiosas, angustia y pensamientos inquietantes; y se ha llegado a relacionar con otras enfermedades psiquiátricas como la esquizofrenia. Síntomas como hipervigilancia, hiperexcitabilidad, falta de control y problemas de orientación se asocian a alteraciones en esta red; por lo que un aumento en su actividad durante un trauma puede predisponer a sufrir estos síntomas.

Tener una predisposición biológica a la resiliencia, sin embargo, no siempre es favorable. Inhibir el miedo ante una amenaza puede ser una respuesta adaptativa en espacios seguros, pero estos mismos rasgos pueden ser contraproducentes en situaciones de supervivencia como durante la guerra o un terremoto.

Por esta razón, la resiliencia debe entenderse como una regulación adaptativa de los circuitos que median las respuestas autonómicas y emocionales ante situaciones de amenaza, más que la actividad descontrolada de áreas independientes. Son muchos sistemas los contribuyen en mayor o menor medida a esta regulación, como el sistema de recompensa, las redes de atención, la red de control cognitivo, el sistema sensorial y la red neuronal por defecto.

Mientras que el estrés postraumático es una respuesta maladaptativa de los sistemas neuronales que nos permiten evaluar riesgos y responder frente a amenazas; la resiliencia deriva del buen funcionamiento de estos mecanismos. Comprender cómo funcionan es vital para generar nuevas terapias e intervenciones; desde la terapia cognitivo conductual hasta técnicas de meditación, que se centren en estimular la adaptación correcta al estrés.

Incluso, podrán idearse terapias preventivas en grupos de individuos que tengan mayor riesgo a desarrollar un trastorno psicológico después a un trauma. Si bien se ha caído en un abuso de esta palabra, la resiliencia es una de las características que nos definen como especie. Nuestra capacidad de adaptarnos a casi cualquier circunstancia y salir fortalecidos se vio reflejada en la pandemia del 2020. Sea o no la palabra de la década, sin duda está en la lista de los vocablos más importantes de la historia humana.

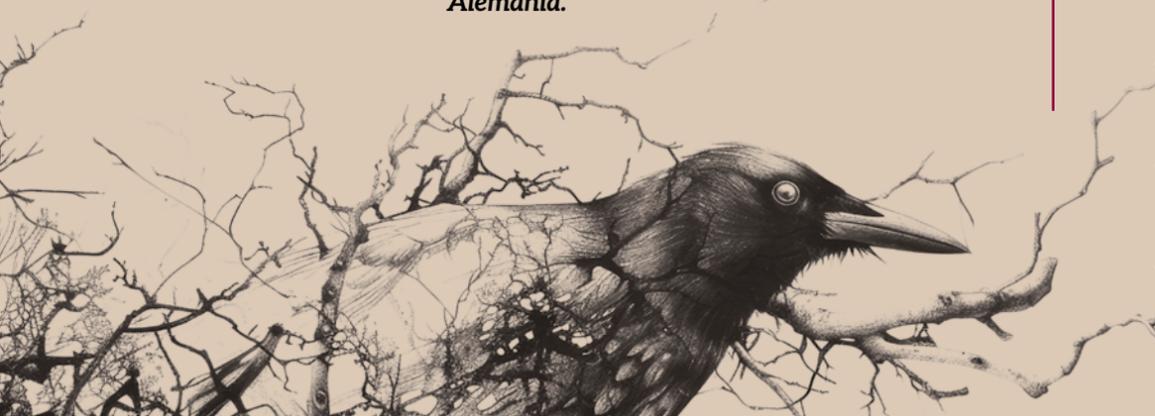


**\*MARIO DE LA PIEDRA WALTER**  
Médico por la Universidad La Salle  
y neurocientífico por la Universidad  
de Bremen. En la actualidad cursa su  
residencia de neurología en Berlín,  
Alemania.



**REFERENCIAS**

- Oleg C. (2023), "Resiliencia, un término muy repetido que no siempre se usa correctamente". *The Conversation*. Disponible en: [theconversation.com/resiliencia-un-termino-muy-repetido-que-no-siempre-se-usa-correctamente-208816](https://theconversation.com/resiliencia-un-termino-muy-repetido-que-no-siempre-se-usa-correctamente-208816).
- RAE (2020), "Las palabras más buscadas en el diccionario durante la cuarentena". Real Academia Española. Disponible en: <https://www.rae.es/noticia/las-palabras-mas-buscadas-en-el-diccionario-durante-la-cuarentena>.
- Solano Durán, P (2022), "Alteración de la red de saliencia en el trastorno por estrés postraumático. Una revisión sistemática". *Revista Iberoamericana de Neuropsicología*. 5(1): 31-44.
- Roekner AR, Oliver KI, Lebois LA, et al. (2021), "Neural contributors to trauma resilience: a review of longitudinal neuroimaging studies". *Translational Psychiatry* 11:508.
- Martin-Soelch, C (2023), "The (Neuro)-Science Behind Resilience: A Focus on Stress and Reward". *Clinical Psychology in Europe*: 5(1).



EN PORTADA:  
En pos de elementos  
químicos inexistentes.

SUPLEMENTO DE  
**hipócritalector**

SUPLEMENTO  
MERCURIO VOLANTE

**CARLOS CHIMAL**  
EDITOR

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

**GERARDO HERRERA CORRAL**  
**ROALD HOFFMANN**  
**PIOTR KIELANOWSKI**  
**ELÍAS MANJARREZ**  
**JUAN LATAPÍ ORTEGA**  
**ARTURO MENCHACA ROCHA**  
**CELINA PEÑA GUZMÁN**  
**GABRIELA PÉREZ AGUIRRE**  
**OCTAVIO PLAISANT ZENDEJAS**  
**LUIS FELIPE RODRÍGUEZ**  
**JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON**  
**JUAN TONDA MAZÓN**  
**JUAN VILORRO**  
COLABORADORES

**HIPÓCRITA LECTOR**

**MARIO ALBERTO MEJÍA**  
DIRECTOR GENERAL

**IGNACIO JUÁREZ GALINDO**  
DIRECTOR EDITORIAL

**ROBERTO CORTEZ**  
REVISIÓN

**OSCAR COTE PÉREZ**  
DISEÑO EDITORIAL

**GERARDO TAPIA LATISNERE**  
DIRECTOR DE RELACIONES PÚBLICAS

**BEATRIZ GÓMEZ**  
DIRECTORA ADMINISTRATIVA

Hipócrita Lector, diario de lunes a viernes. Dirección: Monte Fuji 20, Fraccionamiento La Cima, Puebla. CP. 72197 Correo: [atencion.hipocritalector@gmail.com](mailto:atencion.hipocritalector@gmail.com)  
Editor responsable: Ignacio Juárez Galindo  
Permisos Indautor, Licitud y Contenido: En trámite  
Todos los materiales son responsabilidad exclusiva de quien los firma.