



QUIRALIDAD, entre la vida y la muerte

MEDICINA HOY:
COLONIALISMO Y
RESISTENCIA

DÍA Y NOCHE,
¿INMUTABLES?

INHIBICIONES: BRIDA
EMOCIONAL

¿POR QUÉ MÉXICO
NECESITA SU PROPIA
IA?

EL PELIGRO LATENTE
DE LOS ASTEROIDES

PSICOACÚSTICA
DEL MAESTRO
RONCADOR

EN LA EDAD DE LAS
TIERRAS RARAS

FRED SANGER: DOS
VECES NOBEL





CARTAS AL MERCURIO

Apreciable editor:

Recibí con gran emoción su prestigiada revista. Celebro que haya tenido la oportunidad de platicar con mi padre en más de una ocasión. El homenaje que hacen ustedes me hizo extrañarlo muchísimo, si bien de manera agradable y cariñosa.

Mis mejores deseos y una larga vida a su magnífica publicación.

PROFESORA JULIA STEINBERGER

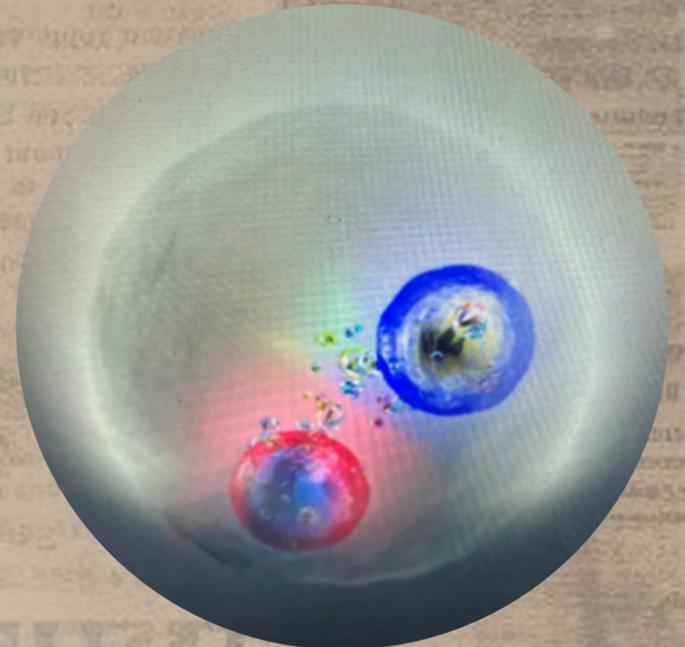
Instituto de Geografía y Sustentabilidad, Facultad de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad de Lausana, Suiza.

ACTUALIDADES DEL MERCURIO

Nuevo estado de la materia

En la búsqueda de novedades dentro del mundo de las partículas ínfimas, el experimento CMS, que se lleva a cabo en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN), anunció en 2024 haber descubierto algo inusual, indicios de un evento peculiar luego de exhaustivo análisis de datos capturados entre 2016 y 2018. En julio de 2025 el experimento ATLAS dio otro paso a fin de corroborar la hipótesis acerca de la existencia de un estado fugaz de la materia luminosa, llamada toponium. Sabemos que hay en la naturaleza seis quarks, los constituyentes más pequeños de la materia visible. Todos, excepto el top quark, tienden a formar parejas o pequeños conglomerados que llamamos hadrones. Sin embargo, a lo largo de numerosas colisiones protón-protón en el LHC se confirmó la posibilidad de que dicho quark top, el más pesado y efímero, intercambie gluones en un abrir y cerrar de ojos cuántico con su par antimaterial, formando así una pareja, hasta ahora improbable, en un estado (resonancia lo llaman) que dura 2.3×10^{-25} segundos antes de disiparse.

Fuente: CERN



En PDF, presione para ver en Youtube

Las Horribles CERNettes

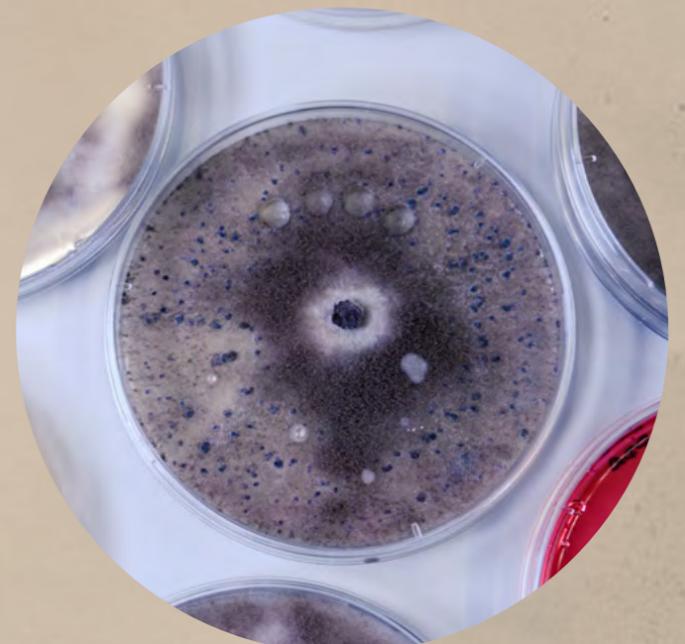
Al final del posmodernismo, antes de que un pequeño equipo comandado por Tim Berners-Lee y Robert Cailliau creara la World Wide Web basada en el primer internet, a principios de la década de 1990 un grupo de mujeres cercanas al CERN formaron un grupo retro que llegó a presentarse en el Festival Hadrónico de dicho centro de investigación, localizado en las afueras de la ciudad suiza de Ginebra. De hecho, en 1989 uno de estos científicos computacionales y organizador del festival, Silvano de Gennaro, escribió una canción bajo el título de *Collider* acerca de una chica sola y triste porque su galán trabaja largas jornadas... en el colisionador. Ante el éxito del grupo, grabaron un video en el anillo del acelerador y Silvano generó una imagen promocional, considerada la primera que se subió a la Web.

Fuente: BBC

Antibióticos diseñados mediante IA

El 13 de agosto de 2025 se dio a conocer que un grupo de investigadores del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) consiguió destruir las defensas de súper bacterias, resistentes a los antibióticos convencionales. Primero hicieron pasar por el tamiz de su algoritmo un amplio catálogo de sustancias químicas, potencialmente nocivas para tales súper bichos. Una vez seleccionadas las moléculas candidatas, eligieron dos idóneas que resultaron eficaces tanto en sus pruebas preliminares como en exámenes más avanzados con animales de laboratorio. Ahora dedicarán su esfuerzo, asistidos por IA, a fin de obtener nuevos antibióticos para combatir la transmisión de gonorrea y hacer frente a *Staphylococcus aureus*, resistente a la metacilina.

Fuente: BBC



QUIRALIDAD EN LA QUÍMICA FARMACÉUTICA: el factor molecular que puede salvar o destruir vidas



● Quiralidad de la cabeza de la Tlaltecuhli. Museo del Templo Mayor.
Imagen original de la revista *Arqueología Mexicana*.

CARLOS NARANJO CASTAÑEDA
Y EUSEBIO JUARISTI

¿Sabías que un medicamento puede adoptar dos formas diferentes de la molécula que constituye el principio activo, una benéfica y otra potencialmente dañina?

Piensa en un medicamento, es decir, una sustancia que se administra para tratar una enfermedad o aliviar sus manifestaciones. Debes entonces considerar que dicho medicamento contiene un fármaco, que es la sustancia activa que produce el efecto terapéutico o de curación deseado, pero que en algunos casos está constituido por moléculas que, a primera vista, parecen ser similares, pero que en realidad actúan de manera potencialmente perjudicial en tu cuerpo.

Efectivamente, la *quiralidad* (término derivado de χέρι 'queir', mano en griego) es un fenómeno molecular que da lugar a que algunas moléculas presenten dos formas diferentes, cada una con un efecto específico en el cuerpo. En la medicina, esto puede significar la diferencia entre un tratamiento efectivo y uno peligroso como resultado de la actividad exhibida por la forma secundaria. Así pues, la estructura precisa de una molécula puede tener consecuencias cruciales para nuestra salud. En este artículo exploraremos cómo la *quiralidad* influye de manera determinante en el curso de acción de la medicina y por qué es fundamental tomarla en cuenta para desarrollar tratamientos médicos seguros y efectivos.

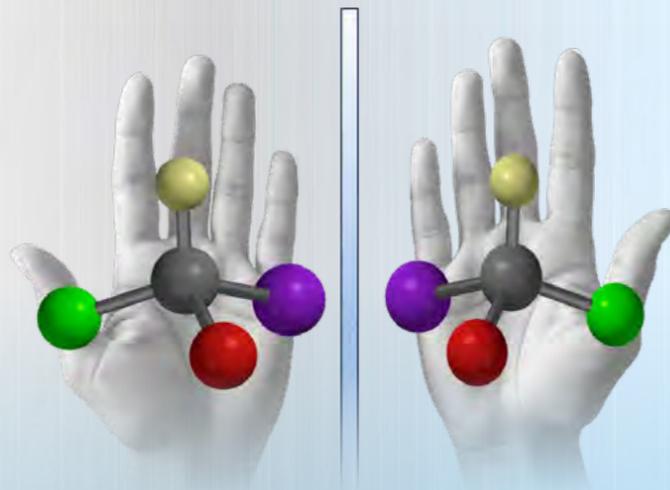


¿Qué es la quiralidad y por qué es importante en la medicina?

La *quiralidad* es un fenómeno fascinante que se puede apreciar en nuestro entorno, tanto en la naturaleza, como en muchos objetos creados por los seres humanos. Un ejemplo muy cercano a nosotros es la relación que existe entre nuestras manos: la mano izquierda y la mano derecha son similares, pero no son realmente iguales y, de hecho, no se pueden superponer correctamente. Esto se debe a que son imágenes que son reflejo una de la otra, como si estuvieran frente a un espejo.

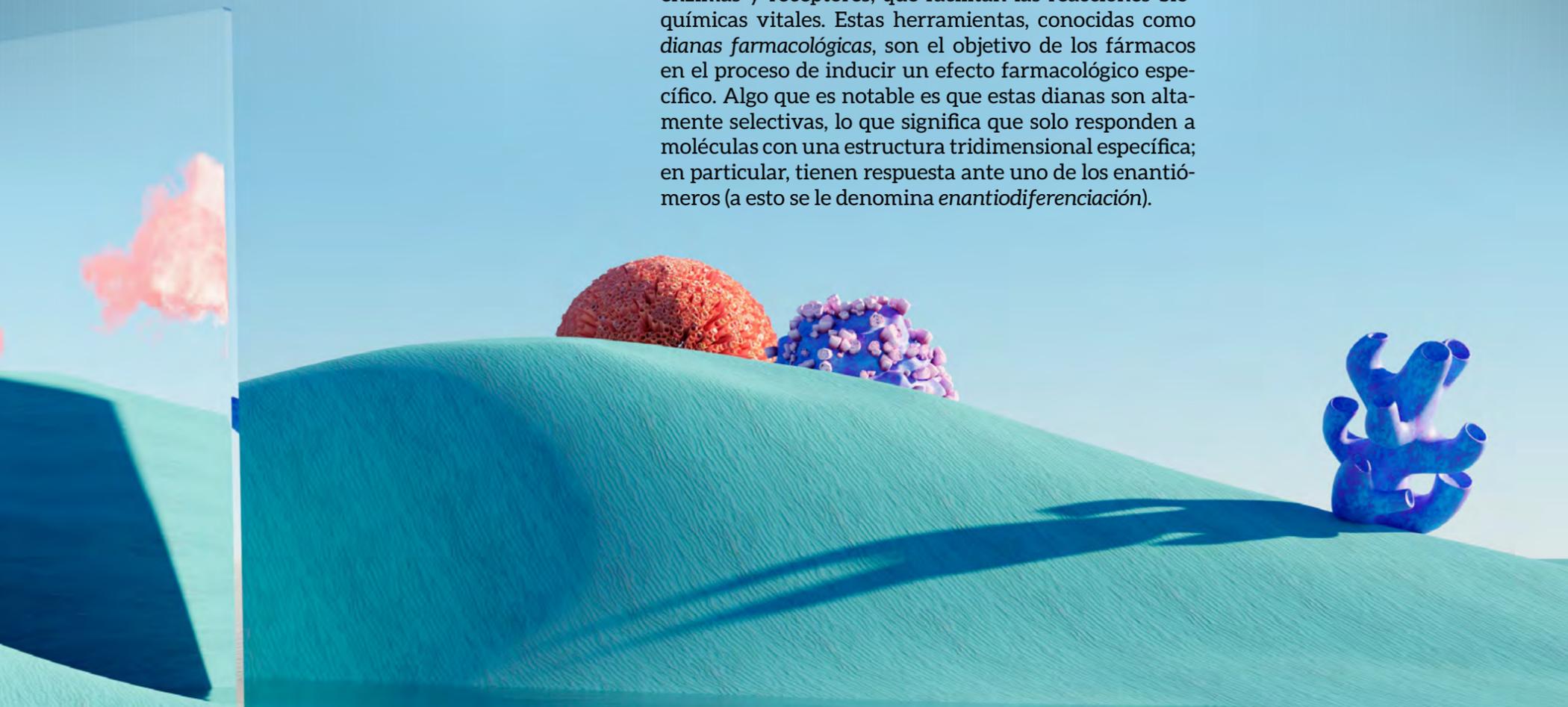
En el mundo de la química farmacéutica ocurre algo similar: numerosos fármacos presentan una estructura, cuya "imagen de espejo" no se puede superponer con la estructura original. Estas moléculas se denominan *enantiómeros*, que, para fines prácticos, en especial para facilitar su identificación, se clasifican como el enantiómero *R* (del latín "rectus", que significa "derecho") y el enantiómero *S* (del latín "sinister", que significa "izquierdo").

En este contexto, el enantiómero responsable de la actividad curativa se denomina "*eutómero*", mientras que su imagen de espejo pudiera ser inactivo o de plano tóxico, y se designa como "*distómero*". Por cierto, estos términos fueron acuñados por el químico mexicano Pedro A. Lehmann, 1934-2003, con base en los prefijos griegos 'eus' que significa 'bueno' y 'dis', que significa 'malo'.



Cuando se combinan cantidades iguales del par de enantiómeros, se forma lo que se conoce como una "*mezcla racémica*", que contiene ambas versiones de la molécula en una proporción 50:50. Cada enantiómero presenta su propia estructura, lo que puede afectar la manera cómo interactúan con otras moléculas en el cuerpo humano; en especial las biomoléculas, que también son quirales.

En este sentido, nuestro cuerpo cuenta con herramientas moleculares precisas, como son las proteínas, enzimas y receptores, que facilitan las reacciones bioquímicas vitales. Estas herramientas, conocidas como *dianas farmacológicas*, son el objetivo de los fármacos en el proceso de inducir un efecto farmacológico específico. Algo que es notable es que estas dianas son altamente selectivas, lo que significa que solo responden a moléculas con una estructura tridimensional específica; en particular, tienen respuesta ante uno de los enantiómeros (a esto se le denomina *enantiodiferenciación*).



Una analogía clara de esta selectividad son las enzimas, que funcionan como “cerraduras” que solo se abren con la “llave” complementaria. En este caso, la llave es el enantiómero (*R* o *S*) de un fármaco. Si la molécula no presenta la estructura correcta, el fármaco no será eficiente, o incluso puede provocar efectos secundarios perjudiciales, como se menciona adelante.

¿Qué sucede cuando un medicamento tiene una forma molecular incorrecta y se administra a miles de personas?

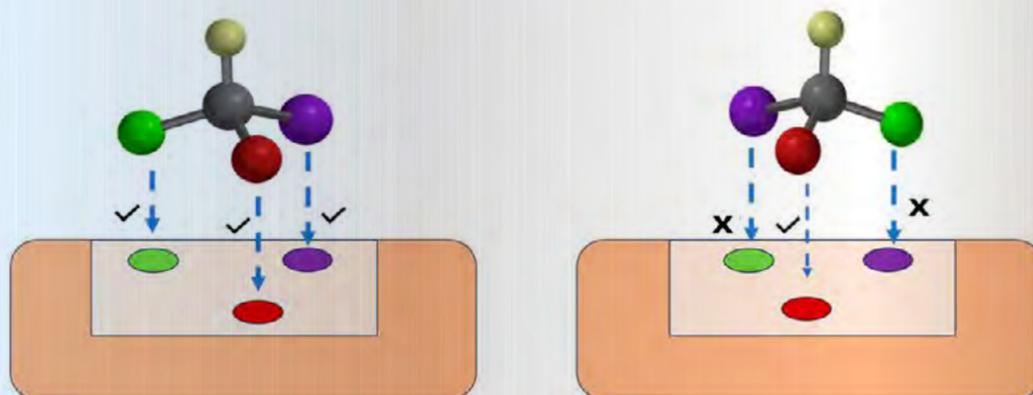
El resultado puede ser trágico. Un ejemplo que ilustra la gravedad del problema es el caso de la *talidomida*, un medicamento que se introdujo en 1957 como sedante y somnífero para mitigar las náuseas en mujeres embarazadas. Sin embargo, la talidomida resultó ser un desastre médico sin precedentes, ya que causó defectos congénitos graves y devastadores en decenas de miles de bebés recién nacidos, incluyendo malformaciones de brazos y piernas, daño cerebral y otros problemas de salud que cambiaron la vida de esas personas. La talidomida fue retirada del mercado en 1961, después de que se descu-

briera la terrible naturaleza de sus efectos secundarios.

Efectivamente, la investigación posterior reveló que la tragedia se debió a la presencia de los dos enantiómeros (es decir, la mezcla racémica) en el fármaco que se comercializó y administró como tranquilizante. Una de estas formas, el eutómero *R*, resulta efectivo para aliviar las náuseas, mientras que el otro, el distómero *S*, es dañino y causa los defectos congénitos mencionados. Esto significa que, aunque una de las formas del medicamento presenta un efecto beneficioso, la otra forma provoca un daño irreparable a los fetos en desarrollo.

Surge una pregunta, ¿pudo haberse evitado esta tragedia si se hubiera comercializado únicamente el eutómero en vez de la mezcla racémica del eutómero y el distómero?

Desafortunadamente, la respuesta es más compleja de lo que se esperaba: los enantiómeros de la talidomida se interconvierten *in vivo*, lo que significa que incluso si se hubiera administrado únicamente la forma molecular deseada de la talidomida, la otra forma enantiomérica se hubiera generado en el cuerpo humano como consecuencia de las reacciones químicas naturales que ocurren espontáneamente en nuestro organismo.

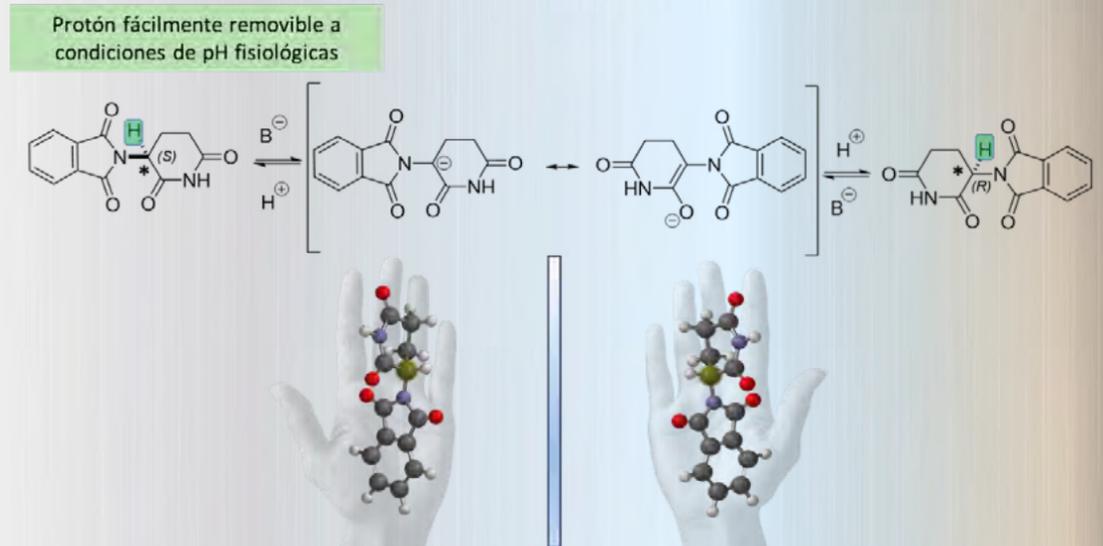


Este fenómeno se conoce como *epimerización* de moléculas quirales y puede representar un gran obstáculo en el desarrollo de fármacos. El proceso de epimerización significa que las moléculas de algunos fármacos como la talidomida pueden cambiar de la estructura *quiral* dentro del organismo humano, conduciendo a la forma indeseada, lo que puede afectar su eficacia y confiabilidad. A este proceso se le llama también *racemización*, y ocurre cuando los enantiómeros de un fármaco se convierten en su forma opuesta como consecuencia de su reactividad química.

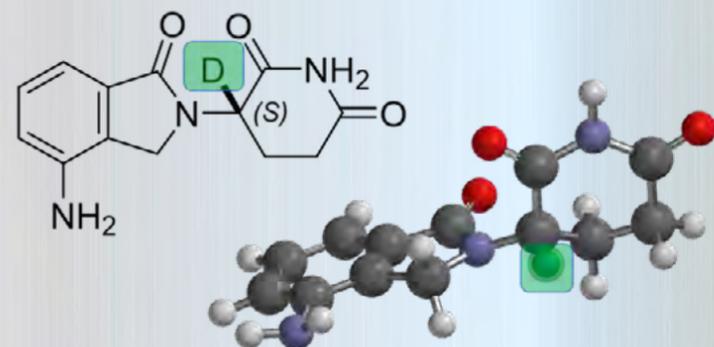
La *lenalidomida* es otro fármaco que, al igual que la talidomida, experimenta la racemización *in vivo*, lo que puede afectar su eficacia y confiabilidad. Cabe señalar que los científicos han desarrollado estrategias innovadoras para evitar esta racemización. Una de ellas es la técnica de *Interruptores Quirales Habilitados con Deuterio (DECS, por sus siglas en inglés)*, que utiliza un átomo especial, el deuterio, un isótopo del hidrógeno más pesado que el hidrógeno normal. Al incorporar el átomo más pesado en la molécula del fármaco, se "bloquea" la reactividad del enantiómero deseado (el eutómero), evitando que se convierta en el distómero, lo que permite preservar la quiralidad del fármaco y asegurar que funcione de manera efectiva y segura.

Como puedes ver, el caso tan dramático observado en la talidomida destacó lo importante que es entender que los enantiómeros de un fármaco quiral pueden presentar efectos drásticamente diferentes en el cuerpo humano. A raíz de este incidente, la industria farmacéutica y los organismos reguladores de la producción de fármacos cambiaron significativamente su enfoque hacia la importancia de la *pureza enantiomérica* en los medicamentos quirales. Aquí resulta pertinente recordar a pioneros como el profesor E. J. Ariens, que jugaron un papel fundamental al impulsar la idea de desarrollar fármacos con una sola estructura quiral a fin de tener certidumbre sobre la eficacia de los tratamientos.

Racemización de la talidomida a pH fisiológico



Lenalinomida



Inexplicablemente, a pesar de la importancia que representa utilizar fármacos enantiopuros en la química farmacéutica, muchos fármacos quirales siguen siendo administrados como mezclas racémicas. Esto se debe a que, en algunos casos, la mezcla de enantiómeros puede ser beneficiosa para el tratamiento de ciertas enfermedades. Sin embargo, en otros casos, la falta de comprensión de los mecanismos de unión entre los fármacos y los receptores biológicos, así como la dificultad técnica de producir los enantiómeros puros, pueden desalentar el desarrollo de metodologías para la síntesis enantioselectiva de los fármacos quirales en la industria farmacéutica.



¿Cuáles son las ventajas y desventajas de utilizar la forma enantiopura en lugar de la mezcla racémica en términos de eficacia y seguridad?

Uso de enantiómeros puros

El empleo de enantiómeros puros en el tratamiento de una enfermedad ofrece beneficios significativos, entre los que destaca el hecho de que, generalmente, presentan una mayor actividad farmacológica. Asimismo, por su mayor efectividad farmacológica, se reduce el riesgo de efectos secundarios, lo que facilita la dosificación y el seguimiento del tratamiento médico. Además, una mayor efectividad del medicamento facilita determinar cómo se absorbe, distribuye, metaboliza y elimina del organismo. Esto puede aumentar el éxito de los tratamientos médicos, lo que representa un impacto positivo en la salud y el bienestar de los pacientes.

Sin embargo, también existen algunas desventajas en utilizar un solo enantiómero. En primer lugar, la producción de formas enantioméricamente puras suele ser más costosa que la producción de mezclas racémicas de los fármacos quirales. Además, la síntesis química de fármacos enantiopuros puede ser más compleja y requerir, por lo tanto, procedimientos y técnicas más sofisticadas, que pudieran estar fuera del alcance de los desarrolladores farmacéuticos.

Uso de la mezcla racémica

Una mezcla racémica puede tener diversas ventajas, como es un menor costo de producción y una mayor simplicidad de la síntesis química involucrada. Cabe señalar, sin embargo, que en algunos casos los enantiómeros en una mezcla racémica pueden trabajar juntos para producir un efecto más potente, mediante lo que se conoce como sinergia farmacológica.



No obstante, en el uso de mezclas racémicas de un fármaco quiral también se presentan desventajas significativas. En primer lugar, el fármaco puede tener una menor eficacia debido a la menor actividad farmacológica de uno de los enantiómeros (el distómero), lo que contrarresta la efectividad proporcionada por el eutómero. Además, una mezcla racémica puede presentar efectos tóxicos secundarios y, por lo tanto, ser menos segura. También puede tener un perfil farmacocinético menos predecible, lo que puede dificultar la dosificación y el seguimiento del tratamiento en el paciente.

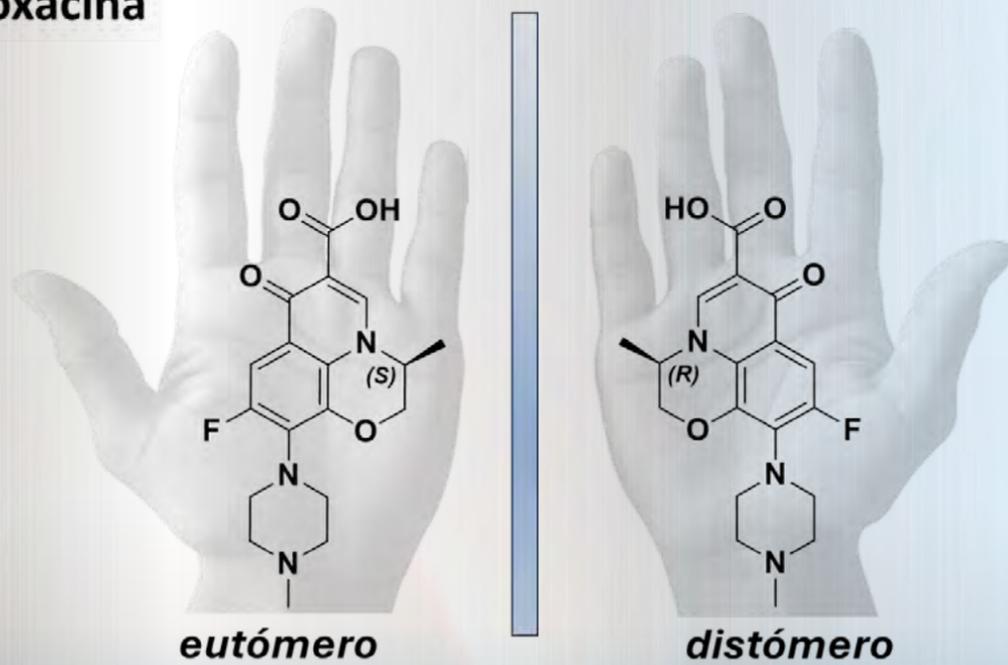


¿Qué determina el uso de un enantiómero puro o la mezcla racémica de un medicamento quiral?

La elección entre emplear fármacos racémicos o enantiómeros puros es un tema crucial en el desarrollo de medicamentos quirales. La mayoría de los fármacos en uso hoy en día son compuestos quirales y, sorprendentemente, cerca del 90% de ellos se comercializan como racematos. Pero, ¿qué significa esto para la eficacia y seguridad de los tratamientos? La clave está en entender cómo interactúan los fármacos con sus dianas farmacológicas. Por lo tanto, no hay una respuesta única para todos los casos, y cada fármaco debe ser evaluado individualmente para determinar si la utilización de un solo enantiómero ofrece ventajas significativas en términos de eficacia y seguridad, o si la mezcla racémica es suficiente para lograr los resultados deseados.

Un ejemplo que ilustra la importancia de la quiralidad en la eficacia de los fármacos es el antibiótico *ofloxacin*. La ofloxacin actúa inhibiendo la enzima ADN girasa bacteriana, que es crucial para la replicación y supervivencia de las bacterias que causan infecciones en el cuerpo humano. Investigaciones recientes han demostrado que el enantiómero *S* de la ofloxacin es significativamente más efectivo que el enantiómero *R* o la mezcla racémica, ya que se une con mayor afinidad a la enzima ADN girasa bacteriana. Esta unión más fuerte resulta en una inhibición más efectiva de la enzima, lo que a su vez potencia la acción antibacteriana del fármaco, mejorando su capacidad para eliminar las bacterias patógenas.

Ofloxacin



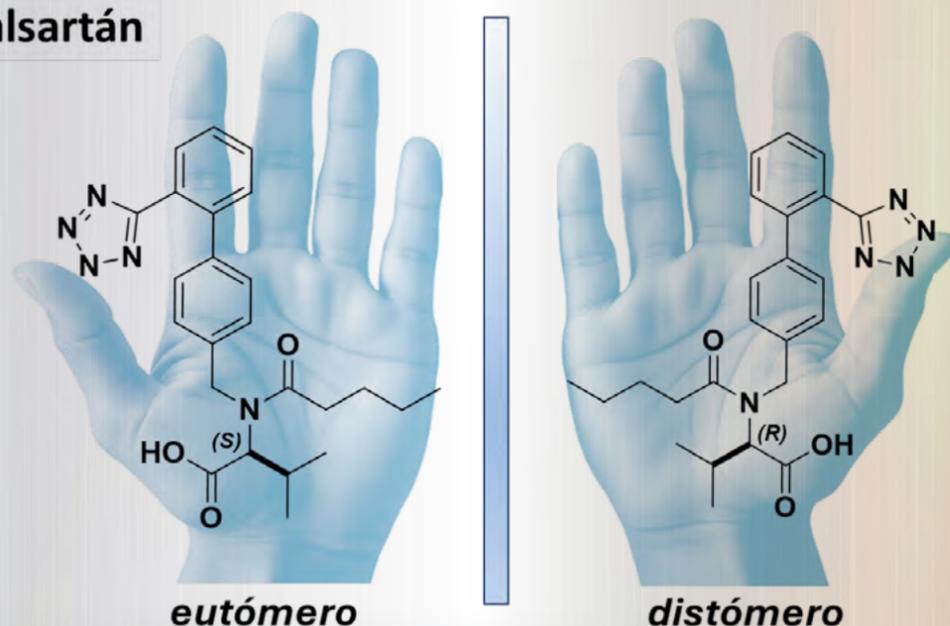
Un ejemplo adicional es el **valsartán**, un medicamento ampliamente utilizado para tratar la hipertensión arterial. El **valsartán** ejerce su efecto terapéutico bloqueando específicamente el receptor de la angiotensina II, que es una enzima que provoca vasoconstricción, aumentando la presión arterial. Algo que es particularmente interesante es que solo el enantiómero *S* es responsable de la actividad farmacológica deseada, es decir, del bloqueo del receptor de la angiotensina II y la consiguiente reducción de la presión arterial. Por otro lado, el enantiómero *R* no muestra actividad farmacológica significativa, lo que subraya la importancia de la quiralidad en la interacción entre el fármaco y su receptor biológico, que también es quiral.

¿En qué casos es el uso de fármacos quirales racémicos más beneficioso que el uso de sus enantiómeros individuales?

Aunque idealmente es mandatorio desarrollar fármacos enantiopuros, hay casos en los que el empleo de la mezcla racémica puede ser más benéfico.

Por ejemplo, el estudio del **tramadol**, un medicamento opiáceo utilizado para quitar el dolor, resultó en un descubrimiento sorprendente: si bien es sabido que los opiáceos son poderosos analgésicos, también es un hecho que conllevan un riesgo significativo de adicción. Sin embargo, sorprendentemente en el caso del **tramadol** se ha encontrado que la mezcla racémica no solo alivia el dolor, sino que también reduce el riesgo de adicción! Esta observación es muy importante, ya que la adicción a los opiáceos es un problema devastador que puede llevar a una dependencia física y psicológica, e incluso a la muerte. La mezcla de enantiómeros en el **tramadol** ofrece una esperanza para aquellos pacientes que tienen necesidad de un tratamiento para el dolor, pero tienen el temor justificado de caer en las garras de una adicción.

Valsartán



Relevancia que la quiralidad de un fármaco tiene para el futuro de la medicina

En un mundo en constante cambio, donde las enfermedades evolucionan y aparecen nuevos retos en el área de la salud, el desarrollo de nuevos fármacos es decisivo. Además de la innovación en nuevas terapias farmacológicas, los fármacos ya consolidados pueden ser el punto de partida para el descubrimiento de futuras medicinas, por lo que es fundamental tomar en cuenta su quiralidad.

La experiencia reciente con la pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto la importancia de comprender el papel que la quiralidad de los fármacos juega, incluso en aquellos medicamentos ya establecidos. El caso de la *cloroquina* (CQ) y la *hidroxicloroquina* (HCQ) es un ejemplo alarmante de cómo la falta de comprensión de la quiralidad molecular puede tener consecuencias graves. Durante la pandemia de 2019, la CQ y la HCQ se administraron como mezclas racémicas a pacientes hospitalizados, a pesar de que se habían reportado riesgos de toxicidad cardíaca, hepática y retiniana, asociados con los enantiómeros individuales. Esta situación generó un debate intenso sobre la conveniencia de su uso, lo que llevó a la suspensión de su administración a pacientes. Sin embargo, la falta de información precisa sobre la actividad de los enantiómeros individuales dejaba pendiente la tarea de tomar en consideración la quiralidad molecular en el desarrollo y uso de la CQ y la HCQ.

La historia de la talidomida y de muchos fármacos quirales que están disponibles en el mercado nos enseña que la elección razonada del eutómero en fármacos quirales puede ser una cuestión de vida o muerte. La clave para evitar tragedias y desarrollar medicamentos efectivos y seguros consiste en entender el mecanismo de unión entre los fármacos y sus dianas farmacológicas, que también son quirales. Solo mediante una comprensión adecuada de la quiralidad molecular podemos asegurarnos de que los fármacos sean diseñados y utilizados de manera que maximicen su eficacia y minimicen riesgos potenciales de su uso.



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

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



LECTURAS RECOMENDADAS:

- Juaristi, E. "Introducción a la Estereoquímica y al Análisis Conformacional", El Colegio Nacional, Ciudad de México, 2007. Edición electrónica: El Colegio Nacional: Ciudad de México, 2024. https://libroscolnal.com/cdn/shop/files/Juaristi_Estereoquimica_portada_digital_530x@2x.jpg?v=1710455889



- Peng, S.; Zhu, Y.; Luo, C.; Zhang, P.; Wang, F.; Li, R.; Lin, G.; Zhang, J. "Chiral drugs: Sources, absolute configuration identification, pharmacological applications, and future research trends". *LMD* **2024**, *1*, 100008.
- Ceramella, J.; Iacopetta, D.; Franchini, A.; De Luca, M.; Saturnino, C.; Andreu, I.; Sinicropi, M.S.; Catalano A. "A Look at the Importance of Chirality in Drug Activity: Some Significant Examples". *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 10909.
- Naranjo-Castañeda, C.; García-Revilla, M.A.; Juaristi, E. "A New *In Silico* Comparison of the Relative Affinity of Enantiomeric Chloroquine (CQ) and Hydroxychloroquine (HCQ) for ACE2". *Pharmaceuticals* **2025**, *18*, 982.

CIENCIA Y ÉTICA: COLONIALISMO MÉDICO

MARIO DE LA PIEDRA WALTER

*No se puede ser neutral
en un tren en movimiento.*
Howard Zinn

Para engañar a mi mente, que no ha superado el tiempo en que vivió a unos pasos de la costa, viajo en tren hasta Plötzensee, un lago en la periferia norte de Berlín. Una pequeña playa de arena y pasto -con algunas sombrillas- me regala la ilusión de que el verano en este país existe, aunque sea por un par de semanas. Me siento en un restaurante y pido un tarro de cerveza alemana resignado a que no hay forma de transformarlo en michelada. Al poco tiempo, llega en bicicleta la persona que me invitó a pasar la tarde en el lago para hablar sobre algunos proyectos. Esta persona, involucrada en la filosofía de la ciencia y las últimas teorías sobre la consciencia, me convida a participar en un evento de divulgación. Me comenta que lo que más le gusta de la ciencia - en especial en estos tiempos convulsos y polarizantes - es que transita fuera de la política. Me lo dice con convicción, como si fuera tan evidente como una ecuación matemática. Discutimos en vano, no saco nada de citar a Galeano: «la neutralidad es una posición política también» y los últimos sorbos de cerveza me son insípidos porque, ahora cito a Beauvoir, «el silencio es complicidad».



Miro al fondo del lago, detrás de los niños que chapotean junto a una playa nudista, ocupada en su mayoría por ancianos. Entre el verdor de los árboles, se alza la antigua prisión de Plötzensee, que en tiempos del nazismo fue una cárcel de presos políticos; en su mayoría comunistas, social demócratas y extranjeros, y de los cuales al menos tres mil fueron asesinados. El doctor Hermann Stieve, que estudió los efectos del estrés en el ciclo reproductivo femenino, obtuvo sus muestras anatómicas de esa prisión. Como profesor en la Universidad de Berlín, se le entregaban los cuerpos de las mujeres recién ejecutadas para sus investigaciones.

Entre otras cosas, indagaba sobre si el trauma psicológico de recibir la sentencia de muerte alteraba los ciclos hormonales de las mujeres. Publicó cerca de doscientos y treinta artículos al respecto, sin el menor resquicio de remordimiento, y se estima que - entre 1933 y 1945 - realizó estudios en más de ciento ochenta cadáveres femeninos. No fue juzgado durante el juicio de los doctores en Núremberg y, después de la guerra, se desempeñó como el director del Instituto de Anatomía del hospital Charité, el más importante de Alemania. «Yo mismo di-

seccioné todos los cadáveres que fueron entregados a la anatomía durante el terrible régimen nacionalsocialista y me esforcé por utilizar los hallazgos obtenidos para mis trabajos científicos y, por lo tanto, para el bien de la humanidad», comentó ante sus críticos. Stieve negó simpatizar con la ideología nazis, ya que, según él, sólo era un científico que hacía su trabajo.

Otros avances en la medicina durante el nazismo, ya sea por intervención directa del partido o por médicos que se beneficiaron de la situación, incluyen el desarrollo de las sulfonamidas (uno de los primeros antibióticos utilizado en heridas de prisioneros infectadas deliberadamente), algunas técnicas de injertos óseos y nerviosos, métodos de eutanasia con barbitúricos (tiempo después servirían como anestésicos) y la determinación de los umbrales letales de hipoxia e hipotermia. La empresa Bayer, una de las farmacéuticas más grandes y ricas del mundo, fue cómplice en igual medida del Tercer Reich. Probó sus medicamentos en prisioneros en campos como Auschwitz y Birkenau, a quienes infectaba con tuberculosis, difteria y otras enfermedades.

La empresa Bayer, una de las farmacéuticas más grandes y ricas del mundo, fue cómplice en igual medida del Tercer Reich. Probó sus medicamentos en prisioneros en campos como Auschwitz y Birkenau, a quienes infectaba con tuberculosis, difteria y otras enfermedades.

La medicina fue sólo una de las muchas ramas de la ciencia que se beneficiaron de la Segunda Guerra Mundial. La física, la aeronáutica, la telecomunicación, la química y la naciente computación dieron un salto en un lapso sin precedentes. Sobra comentar que, si la ciencia no fuera política, más de ciento cincuenta mil personas no se hubieran carbonizado en el primer segundo del estallido de la bomba atómica. Como médico, soy consciente de que muchos avances en el área de la salud se han gestado en condiciones de retroceso moral. Si los científicos son reacios a intervenir en la vida política o – por lo menos – a mantener una postura, el ‘progreso’ puede ser un descenso hacia el infierno. La ciencia no es buena ni mala, es una herramienta en manos humanas.

La Declaración de Helsinki, concebida en 1964 por la Asociación Médica Mundial, surgió como respuesta a las violaciones éticas en la investigación médica cometidas durante el nazismo. Se trata de un conjunto de normas y principios para proteger los derechos, la seguridad y el bienestar de las personas que participan en estudios de investigación. Esto no impidió, sin embargo, que Estados Unidos extendiera hasta 1972 el ominoso experimento de Tuskegee. En él, casi cuatrocientas personas afrodescendientes, todos agricultores pobres de un pueblo en Alabama, fueron inoculados por el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos –en colaboración con la Universidad de Tuskegee– con la bacteria *Treponema palidum*, la causante de la Sífilis, para evaluar la progresión de la enfermedad y su posible tratamiento.

La Declaración de Helsinki, concebida en 1964 por la Asociación Médica Mundial, surgió como respuesta a las violaciones éticas en la investigación médica cometidas durante el nazismo. Se trata de un conjunto de normas y principios para proteger los derechos, la seguridad y el bienestar de las personas que participan en estudios de investigación.



Cuando inició el experimento en 1932, no existía una cura para la enfermedad. Se engañó a los habitantes diciéndoles que “tenían mala sangre” y que había que inyectarlos a cambio de comida caliente y un seguro de sepelio de cincuenta dólares. En 1947, la penicilina se convirtió en el fármaco estándar para tratar la sífilis y el gobierno de E.U.A. financió una campaña de erradicación por todo el país. Pese a esto, los distintos directores de la División de Enfermedades Venéreas del Servicio Público de Salud, como el doctor John Heller, decidieron proseguir con el estudio – sin otorgar un tratamiento – hasta que falleciera el último participante.

No fue hasta 1972 que Peter Buxtun, uno de los pocos médicos consternados por el experimento, filtró la información a la prensa para detenerlo. La portada del New York Times lo describió como «una de las mayores violaciones a los derechos humanos que se puedan imaginar», a lo que el doctor Heller respondió que «ellos eran sujetos, no pacientes; eran material clínico, no personas enfermas». Al finalizar el estudio quedaban sólo setenta y cuatro sobrevivientes, cuarenta esposas contagiadas y diecinueve niños con sífilis congénita. No hubo ningún juicio.





En casos más recientes, la farmacéutica multinacional Pfizer aprovechó una epidemia de meningitis bacteriana en Nigeria en 1996 para probar un nuevo medicamento. Sin el consentimiento de los padres, y a pesar de la existencia de medicamentos efectivos contra la meningitis, trató a cien niños con *trovafloxacino* para comparar su eficacia con otros antibióticos. Once niños murieron durante el ensayo clínico, de los cuáles cuatro habían recibido el nuevo fármaco. Aunque no pueden ligarse sus muertes directamente al medicamento (o al no haber recibido el antibiótico estándar), el estudio violó las normas éticas internacionales, entre ellas las establecidas en la Declaración de Helsinki. No fue hasta el 2009, tras un arduo litigio, que tanto el gobierno de Nigeria como las familias de los niños fallecidos recibieron una compensación por parte de la farmacéutica.

Durante un brote de Ébola en África Occidental en el 2014, laboratorios de Francia, Reino Unido y Estados Unidos coleccionaron más de doscientas cincuenta mil muestras de sangre y las mandaron a sus países sin consentimiento alguno. Podría argumentarse que el desarrollo de una vacuna es un bien mayor, pero son esas personas a las que nunca llega, mientras que las farmacéuticas generan ganancias exorbitantes. Durante la pandemia del COVID-19, empresas como *AstraZeneca*,

Johnson&Johnson y Sinovac realizaron ensayos clínicos en países como Sudáfrica, Kenia, Nigeria, Egipto y Zimbabue para desarrollar sus vacunas. A pesar de esto, menos del 5% de la población africana estaba vacunada al terminar el 2021, frente al más del 50% en Estados Unidos y Europa. El colonialismo médico, como se le conoce a este fenómeno, se extiende a todos los países del Sur Global, donde las dinámicas de poder desiguales permiten a las farmacéuticas explotar poblaciones vulnerables para realizar investigaciones que no serían aceptables en sus territorios.

La ciencia está influenciada por intereses políticos y económicos, que a la vez están atados a su contexto histórico. La ilusión de objetividad y neutralidad pueden enmascarar ideologías políticas. El cielo se cierra y unas gotas de lluvia me devuelven a mi lugar geográfico. Hay que apresurar el regreso a casa. Mañana tengo turno en el hospital. ¿Qué medicamentos usaré mañana?



***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).



BIBLIOGRAFÍA:

- C. Castelo-Branco, J Lejárcegui. Obstetrics and Gynecology in Third Reich concentration camps: a never-ending nightmare. *Gynecological and Reproductive Endocrinology and Metabolism*, 2023; 4(2): 55-61
- USHMM. Bayer. Holocaust Encyclopedia, 2019. Disponible en: www.encyclopedia.ushmm.org/content/en/article/bayer
- Gedenkstätte Plötzensee, Memorial Museums. Disponible en: www.memorialmuseums.org/memorialmuseum/gedenkstatte-plotzensee
- DeNeen L. Brown. "You've got bad blood": The horror of the Tuskegee Syphilis Experiment. *Washington Post*. 2016.
- K. Noko. Medical colonialism in Africa is not new. *Aljazeera*, 2020.



LA DURACIÓN DE LOS DÍAS

GERARDO HERRERA CORRAL

“Sale el sol y el sol se pone, y se apresura a volver al lugar de donde se levanta. El viento sopla hacia el sur, luego gira hacia el norte; va girando sin cesar, y a sus giros vuelve el viento de nuevo. Todos los ríos van al mar, pero el mar no se llena; al lugar de donde los ríos fluyen, allí vuelven a fluir”
Eclesiastés 1:5-7. Reina Valera 1960



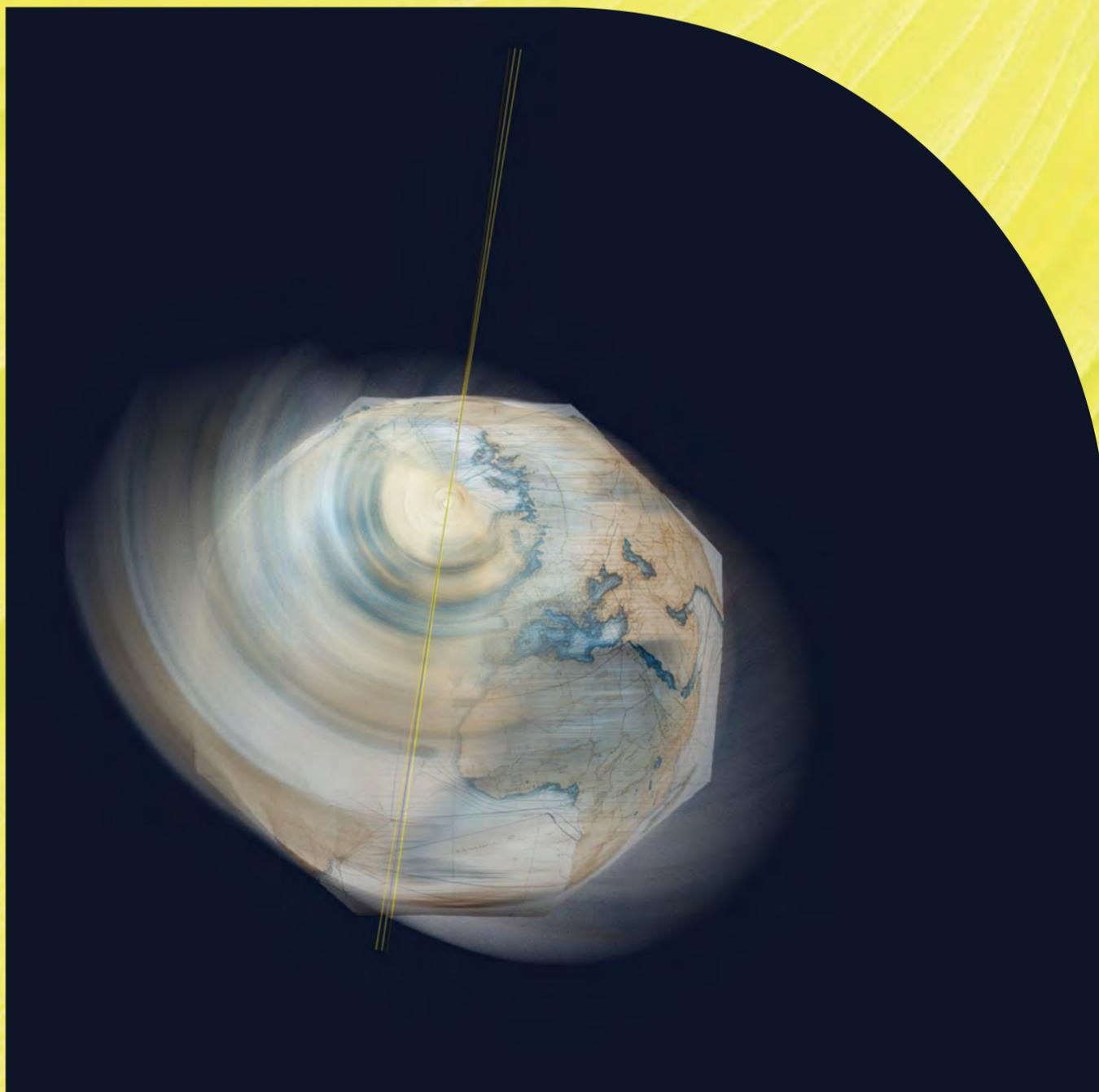
En la naturaleza hay orden y patrones que subyacen. Hay ciclos que parecen interminables y precisos. Una constante repetición, un ir y venir de las cosas que no termina nunca.

Y, sin embargo: No todos los días son iguales.

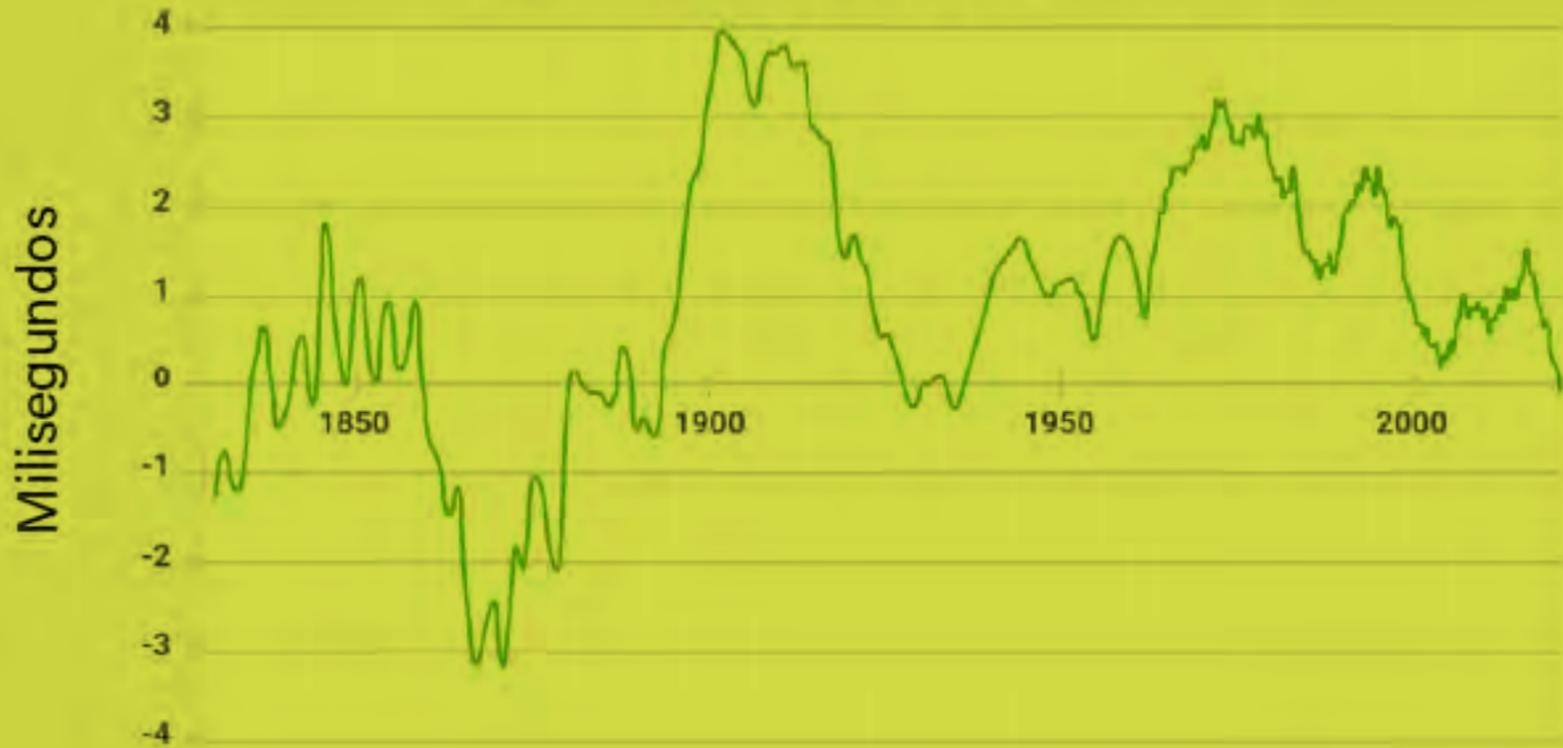
La rotación de la Tierra no es constante. Los días a veces son más cortos, a veces un poco más largos porque, en términos generales, la Luna está frenando a nuestro planeta por la fricción que producen las mareas. De manera que, a lo largo de un siglo la duración del día se incrementa en un par de milisegundos, es decir, aproximadamente 0.002 segundos. En ese vertiginoso giro alrededor de su eje la disminución de velocidad corresponde, aproximadamente, a 40 centímetros de viaje medidos en el ecuador. Es la distancia que ya no alcanza a recorrer con el tiempo reducido por ese lapso.

Aunque esa es la tendencia general, en realidad tenemos fluctuaciones todo el tiempo y nuestro planeta a veces va más de prisa y en ocasiones más lento. En los últimos años, y desde el 2020, ha estado rotando a mayor velocidad, de manera que los días han sido más cortos. Este año el más corto registrado ha sido el 10 de julio pasado, que duró 1.37 milisegundos menos que las 24 horas. Los especialistas habían pronosticado que el 5 de agosto será el día más corto del año, pero todo parece indicar que no ocurrió. En la medida que se acerca el día las predicciones cambian y hasta ahora (una semana antes de la publicación), el 10 de julio podía pasar por el extremo en concisión de este año como el **más corto** desde el 5 de julio de 2024, cuando el día duró 1.66 milisegundos menos –el día más corto en la historia desde que se tiene registro–.

Hasta el año 2020 los días más cortos que se habían medido alcanzaban los 1.05 milisegundos menos. Desde entonces, el planeta ha incrementado su velocidad de rotación para darnos extremos como estos.

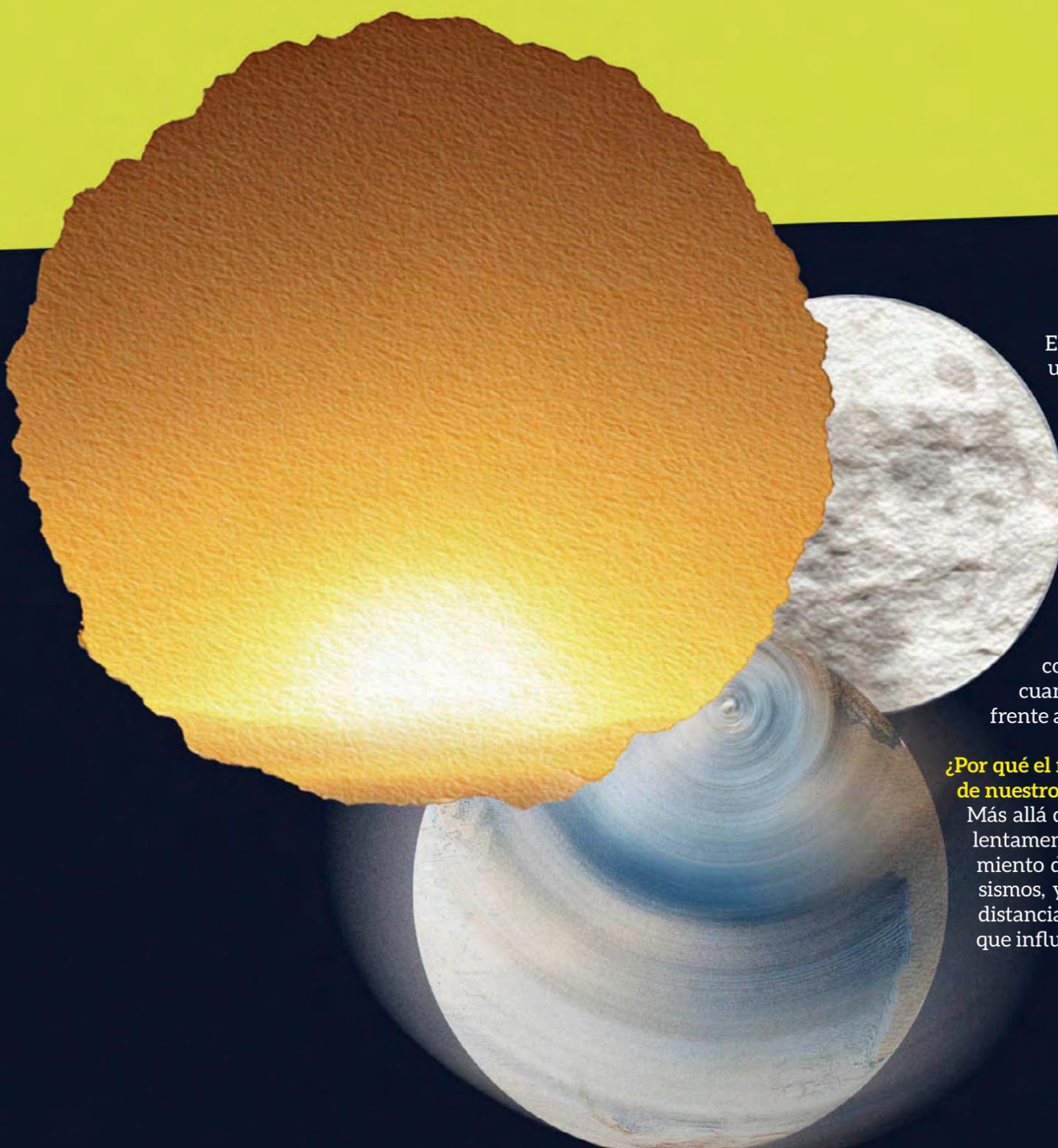


Duración del día, 1830 a 2020



● Aquí se muestran las longitudes de los días desde 1830. Indica que la Tierra giraba particularmente rápido alrededor de 1870 y luego muy lento alrededor de 1900. Extraído de la referencia [1].

© timeanddate.com



En general, la Tierra se comporta como un reloj bastante preciso, ajustándose de manera notable a los 86400 segundos que conforman un día de 24 horas. La medición precisa de la rotación comenzó con el desarrollo de los relojes atómicos en la década de 1950. Eso permitió registrar con exactitud las variaciones en su velocidad de giro [1]. Sin embargo, podemos inferir velocidades de rotación a partir de observaciones astronómicas como la ocultación de las estrellas. Se conoce como ocultación al fenómeno que ocurre cuando la Luna, vista desde la Tierra, pasa frente a una estrella.

¿Por qué el movimiento de nuestro planeta es irregular?

Más allá de los efectos de las mareas que afectan lentamente el ritmo de las rotaciones, el movimiento de magma en el interior del planeta, los sismos, y cambios geológicos, la variación en la distancia entre la Tierra y la Luna, son factores que influyen en el movimiento giratorio.



Algunos especialistas piensan que hace 400 millones de años el día duraba 22 horas. En dos mil años, el día durará unos 40 milisegundos más de lo que dura hoy y **así las cosas han cambiado y seguirán cambiando.**

Por supuesto tenemos también días largos. El 29 de marzo de este año duró 1.12 milisegundos más que las 24 horas y el año pasado fue el 11 de marzo con 1.28 milisegundos adicionales.

Pero no solo los días cambian en duración. Este año, el verano será también 15 minutos **más corto** que el anterior de 2024. En el hemisferio norte el periodo de verano comenzó con el solsticio de verano, que este año fue el 20 de junio a las 20:42 hrs y finalizará con el equinoccio el 22 de septiembre [2]. Esto significa que la duración del verano será de aproximadamente 93 días, 15 horas y 37 minutos.

Las variaciones en la duración de los días, las noches y los veranos o inviernos son complejas. La dirección del eje de rotación, la **órbita** alrededor del Sol, la atracción gravitacional de la Luna, Júpiter y otros planetas o cuerpos del sistema solar afectan de manera complicada el movimiento traslacional y rotacional de nuestro planeta para darnos una variabilidad que hoy podemos medir con precisión inédita.

Al ver este desplegado de precisión en la medición del tiempo y las variaciones naturales, nos percatamos de la estabilidad que el movimiento planetario conserva. Uno puede, literalmente, poner el reloj con el movimiento de nuestro planeta. Y, aunque la Tierra gira con gran certeza las pequeñas variaciones parecen recordarnos que el cambio es parte de la estabilidad.



REFERENCIAS

- [1] <https://www.timeanddate.com/time/earth-rotation.html>
- [2] <https://www.timeanddate.com/news/astronomy/aphelion-2024>

***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).



Inhibiciones

ELÍAS MANJARREZ

La inhibición moldea nuestra realidad material, biológica y social. Sin inhibición, la realidad sería un azar de partículas en libre movimiento, una danza de eterna entropía.



La fuerza de gravedad nos mantiene en el suelo y evita que flotemos sin control. De modo semejante, los procesos de inhibición neuronal ayudan a regular nuestros movimientos, percepciones y coherencia de pensamientos. Sin embargo, para apreciar esta analogía antropomórfica y metafórica del control, conviene conocer el origen etimológico de la palabra “inhibición”.

La palabra inhibición proviene del latín “*inhibere*”, que se compone del prefijo “*in*” (hacia adentro) y de “*hibere*” (retener, detener, mantener o controlar dentro de límites).

Me gusta imaginar que esta definición es un instrumento poderoso para entender por qué vivimos en una realidad con límites moldeables. En el campo de la física, Schrödinger fue de los primeros en intuir un concepto similar, sin mencionar la palabra “inhibición” de manera explícita. En su libro *¿Qué es la vida?* [1], nos habla de la hipótesis de que la vida se origina y mantiene gracias a una entropía negativa, o neguentropía. Entendiendo la entropía como una medida del desorden o multiplicidad de un sistema, y a la neguentropía como su freno.

Considero que el concepto de inhibición, en su significado más amplio de control dentro de límites, puede emplearse para visualizar cómo se forma y mantiene nuestra realidad material, biológica y social.

Las fuerzas de cohesión de la materia pueden ser un tipo de control del movimiento a nivel molecular, ya que pueden contener la materia dentro de ciertos límites y dar forma al estado sólido, evitando su paso al estado líquido o gaseoso, a menos que una intervención externa lo produzca.

La fuerza de gravedad ayuda a controlar el movimiento de las partículas de materia a nivel cósmico, para que se unan y puedan formar nuestro sistema solar y la vía láctea. Así podemos visualizar que la palabra inhibición, en su contexto de retener dentro de límites, también permea en la física; lo que justifica usarla en un sentido metafórico.

En la neurociencia y las ciencias sociales, es más intuitivo entender lo que es un proceso inhibitorio. Por ello, te propongo que hagamos el siguiente experimento. Coloca tu codo derecho sobre la mesa y mira la palma de tu mano. Coloca tus dedos índice y pulgar de la otra mano, presionando tu brazo. Ahora cierra y abre tu mano. Podrás sentir cómo los músculos de tu brazo se mueven durante esta simple acción.

Hay una alternancia natural de contracción y relajación de esos músculos, mientras que a nivel de la médula espinal ocurren procesos neuronales excitatorios e inhibitorios, como la inhibición recíproca, o la inhibición presináptica, que guía movimientos más selectivos. De otra manera, sin inhibición, no sería posible lograr esa alternancia y la mano estaría rígida. Este tipo de afectación ocurre en una enfermedad llamada espasticidad.

La falla en el funcionamiento de las neuronas inhibitorias no es exclusiva de la médula espinal, sino también del cerebro. Las personas con esquizofrenia sufren alucinaciones como consecuencia de un mal funcionamiento de neuronas inhibitorias de la corteza, entre otras fallas sistémicas, lo que produce una sobreexcitación de neuronas vecinas que alteran la función normal de la percepción sensorial [2].

Una falta de control fisiológico de los circuitos neuronales inhibitorios del sistema límbico (un área anatómica del cerebro que controla las emociones) promueve conductas impulsivas. Tal vez has visto que tu mascota no controla el ladrido cuando hay una persona extraña, aun cuando le pidas que no lo haga. Pero ¿por qué es tan difícil controlar emociones, como la ira o el miedo, pero no el movimiento de tu mano?

La respuesta es que el movimiento voluntario de tu mano no solo depende de neuronas inhibitorias de la médula espinal, sino de neuronas excitatorias e inhibitorias de la corteza cerebral, la cual es una región anatómica más evolucionada que ciertas partes del sistema límbico, como la amígdala, que regula el miedo, la ansiedad, la ira y la formación de memorias emocionales.

La falla en el funcionamiento de las neuronas inhibitorias no es exclusiva de la médula espinal, sino también del cerebro. Las personas con esquizofrenia sufren alucinaciones como consecuencia de un mal funcionamiento de neuronas inhibitorias de la corteza, entre otras fallas sistémicas, lo que produce una sobreexcitación de neuronas vecinas que alteran la función normal de la percepción sensorial



En el 2019, Sequeira y colaboradores [3], realizaron un estudio sin precedentes, mapearon en todo el cerebro humano los sitios de expresión génica de las subunidades de los receptores GABA-A, responsables de gran parte de la inhibición en los circuitos neuronales. Los receptores GABA-A llevan ese nombre porque se activan con el neurotransmisor GABA (ácido gamma aminobutírico). ¡Esto significa que descubrieron la localización precisa de las neuronas más relevantes de la inhibición! Algo muy revelador.

Estos autores encontraron que las zonas menos evolucionadas de nuestro cerebro, como las del sistema límbico (puedes ver el mapa en la figura 3 de su artículo), presentan más variedad en la proporción de los tipos de subunidades de esos receptores inhibitorios. Por lo que es probable que esta mayor heterogeneidad le confiera al sistema límbico una mayor complejidad para controlar la inhibición y una mayor vulnerabilidad ante sustancias como el alcohol, o las drogas.

En cambio, las zonas más evolucionadas de nuestro cerebro, como la corteza frontal, que se especializan en el razonamiento, percepción y control del movimiento, son más homogéneas en la proporción de los tipos de subunidades de esos receptores inhibitorios GABA-A, lo que podría permitir que esas partes del cerebro tengan una mayor habilidad para gestionar la inhibición neuronal. Es sorprendente, ¿no crees?

La próxima vez que veas a tu mascota perder el control de sus emociones y acciones, podrás entender mejor por qué ocurre ese comportamiento. Las regiones más evolucionadas de razonamiento del cerebro humano no existen en esos animales y, además, la proporción de los receptores inhibitorios de su sistema límbico es más diversa que los vuelve *más vulnerables al descontrol*.

Una falta de control fisiológico de los circuitos neuronales inhibitorios del sistema límbico (un área anatómica del cerebro que controla las emociones) promueve conductas impulsivas.



El desorden de la inhibición en el sistema límbico también ocurre con el consumo de drogas ilícitas. Allí, los receptores GABA-A, que actúan como frenos químicos dejan de funcionar de manera adecuada en el núcleo accumbens, centro clave en la adicción. Cuando las drogas interfieren con estos frenos, el cerebro pierde no solo la capacidad de regular emociones como la ira o el miedo, sino también la de detener el impulso de seguir consumiendo.

El desorden de la inhibición en el sistema límbico también ocurre con el consumo de drogas ilícitas. Allí, los receptores GABA-A, que actúan como frenos químicos dejan de funcionar de manera adecuada en el núcleo accumbens, centro clave en la adicción. Cuando las drogas interfieren con estos frenos, el cerebro pierde no solo la capacidad de regular emociones como la ira o el miedo, sino también la de detener el impulso de seguir consumiendo.

La inhibición de la adicción no solo depende de un acto de voluntad, sino de un delicado engranaje de circuitos neuronales con frenos químicos que deben funcionar bien. El adicto, por más voluntad que tenga, si no permite que esos circuitos de la inhibición se reestablezcan, no podrá lograr inhibir la adicción.

El informe mundial sobre las drogas 2025 [4], publicado por las Naciones Unidas, advierte que en el 2023 más de 316 millones de personas consumieron drogas, un aumento que supera incluso el crecimiento de la población. Eso significa que ¡Cada año se drogan más personas que las que nacen!

Lo más preocupante es que los jóvenes usan drogas casi tanto como los adultos, lo que afecta su salud y su futuro. Las normas sociales, la educación, y la propaganda que informe a los jóvenes sobre esta situación, deberían incrementarse para inhibir la libertad del consumo de drogas ilícitas. ¿Tú ayudarías a divulgar esta pavorosa noticia?

En el sistema límbico y la corteza, los frenos químicos inhibitorios encauzan las emociones y conductas, para que se ajusten a las normas sociales. Sin ese delicado equilibrio entre lo que nos impulsa con libertad y lo que nos contiene, viviríamos dominados por deseos sin control, incapaces de convivir en armonía con los demás.



El primer registro literario que data del siglo XXV a.C., La epopeya de Gilgamesh [5], que fue escrito en tablillas, describe a su protagonista como un rey con la libertad de satisfacer todos sus deseos sin considerar la empatía hacia los demás. Lo que llevó a los dioses a crear a Enkidu para frenarlo (inhibirlo). De su enfrentamiento nace una inesperada amistad que los lleva a actuar de manera similar para derrotar monstruos, incluso al Toro del Cielo, pero los dioses castigan a Enkidu con la muerte. Esto pone tan triste a Gilgamesh, que inicia una búsqueda por la inmortalidad; sin embargo, no consigue cumplir ese anhelo final y vuelve a su ciudad derrotado, comprendiendo que la verdadera trascendencia está en las obras que dejamos, no en los deseos que satisfacemos con nuestro poder de libertad desmedida.





Este relato muestra cómo la libertad total ha seducido y perturbado al ser humano desde hace más de 4500 años, insinuando, en forma de mitos, que un gobierno con normas sociales que moderen ciertas libertades tienen un papel esencial para la sana convivencia.

Sin embargo, este modo de equilibrio no siempre ha sido del agrado de todos, en especial para quienes cuestionan cualquier forma de control: los anarquistas.

La anarquía, de manera literal significa "sin gobierno". Los anarquistas persiguen la libertad absoluta, sin reglas que los limiten, lo que los lleva a extremos peligrosos. Buscan derribar gobiernos para alcanzar una libertad total, pero ese ideal, es paradójico, ya que puede volverse opresivo, o en su contra, como en la historia de Gilgamesh.

Al eliminar toda norma inhibitoria, desaparece la diversidad de formas de convivencia, poniendo en riesgo la supervivencia social. En cambio, una libertad con inhibiciones selectivas, con leyes y acuerdos que impidan el caos sin sofocar toda iniciativa, crean una realidad más rica, variada y empática. Pero ¿cómo conciliar las dos posturas y encontrar el justo punto medio, para habitar en una sociedad con un gobierno? Esta pregunta también causa debates, sobre todo si se quiere defender una forma de gobierno, una ideología, o una religión en particular.

Ernst Jünger, en su novela *Eumeswil* [6], nos propone una respuesta interesante a esa pregunta. Introduce la figura del "Anarca" (con A mayúscula), a través de su protagonista Manuel Venator. El Anarca no es un anarquista, aunque su nombre se parezca; no lucha por destruir gobiernos ni sueña con un mundo sin reglas. Su revolución es interna. Mantiene su soberanía personal dentro del sistema, sin pertenecer del todo. Convive con normas (inhibiciones) cuando no comprometen su libertad interior, pero ignora o esquivo las reglas que pretenden colonizar su conciencia, como la obediencia ciega o la servidumbre psicológica.



El Anarca de Jünger, a diferencia del anarquista, no busca una revolución que elimine toda inhibición o forma de orden (eso sería aniquilarse a sí mismo), porque su independencia no depende de cambiar al mundo, sino de un desapego radical. Su revolución es interna.

Jünger lo resume de manera contundente. El Anarca no combate al poder, lo sobrepasa con la astucia; es soberano en su propia esfera, tan indiferente al poder como al vacío.

Quizás alguna vez has sentido la necesidad de enfrentar situaciones de represión, o negativa asfixiante, con un no esto, no esto otro, no, no, no a todo, y has sentido que tienes dos opciones claras. La primera, generar conflicto. La segunda, actuar como el Anarca.

Para el Anarca, la indiferencia es, en el fondo, la más alta forma de libertad. Aunque, en consonancia con lo que he mencionado en los párrafos anteriores, y con lo que explicaré enseguida, creo que también esa "indiferencia" del Anarca es un producto de una inhibición selectiva a nivel emocional; ya que nada escapa a las inhibiciones, ni siquiera la entropía misma. Aquí entra un concepto nuevo que me gustaría abordar, la de la inhibición selectiva, moderada, que busca el equilibrio.

En un estudio teórico reciente, Liu y colaboradores (2025) [7] desarrollaron modelos de neuronas del cerebro con ecuaciones diferenciales para mostrar que la inhibición selectiva no solo detiene, sino que también organiza, equilibra y amplía las posibilidades.

Los investigadores descubrieron que cuando las neuronas inhibitorias se conectan entre sí de forma recíproca, lo que se llama "inhibición mutua", los circuitos ganan flexibilidad. Pueden pasar de una función a otra sin perder estabilidad. Pueden almacenar más información y adaptarse a distintos contextos. Es decir, la inhibición mutua no solo actúa como un freno, sino como un sistema de conmutación en el cerebro, con bucles acoplados de inhibición y excitación recurrente.

Entonces, así como la fuerza de gravedad nos inhibe de flotar sin rumbo, o el conocimiento nos inhibe de consumir drogas, o las normas sociales nos inhiben de actuar sin límite, estas redes de inhibición neuronal permiten un control que no es represión absoluta, sino un mecanismo regulador selectivo, y moderado, que hace posible la memoria, la toma de decisiones y la diversidad de comportamientos.

Estoy casi seguro de que ahora te estarás preguntado sobre los peligros de una inhibición excesiva, ya que solo te he mostrado sus bondades. Es razonable pensar que una libertad con exceso de inhibiciones y de represión absoluta ya no sería libertad. Incluso, un exceso de normas morales (inhibiciones) impuestas podría llevar a un resultado paradójico, más aún si esas normas las impone una cultura a otra diferente.

Aquí vale la pena hacer una pausa para comentar que John Locke [8] propuso una solución a esta paradoja. La libertad es el poder que tiene una persona para actuar o no actuar según lo decida su mente. No se trata de la voluntad en sí, sino de la capacidad del individuo para elegir entre hacer algo o abstenerse, siempre que tenga el control para hacerlo. Desde el punto de vista de lo aquí expuesto, se puede interpretar que Locke apoya la decisión de un individuo a elegir sus propias normas morales (inhibiciones) que lo mantengan en control y armonía como ser social.

En resumen, las inhibiciones, o formas de control que restringen dentro de límites, son las que promueven un equilibrio, como las de los circuitos neuronales inhibitorios, la neguentropía, las fuerzas de cohesión, o la gravedad; en analogía con las fuerzas opuestas y complementarias que dan forma a la realidad según las filosofías ancestrales de las culturas china, griega, o hindú.

Para finalizar, volvamos a la narrativa metafórica inicial, agregando los nuevos conceptos. Las inhibiciones moderadas, en todas sus expresiones, ya sean de naturaleza física, neuronal, o social, cumplen un papel semejante. Nos retienen, nos ordenan y conforman la realidad. Por eso, la libertad de movimiento azaroso sin inhibiciones es entropía, es ruido. En cambio, la libertad de movimiento con inhibiciones equilibradas es forma, es vida, es conciencia, es arte.



ELÍAS MANJARREZ

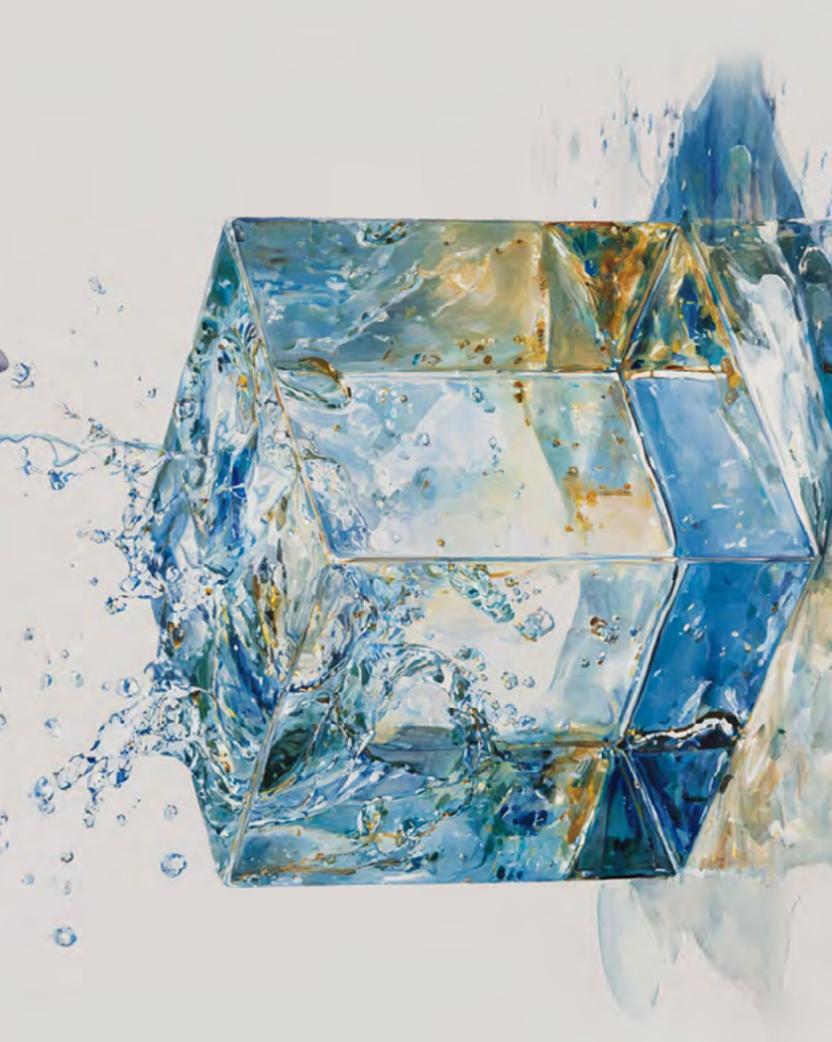
Profesor investigador titular, responsable del laboratorio de Neurofisiología Integrativa del Instituto de Fisiología, BUAP. Es físico de formación, con maestría en fisiología y doctorado en neurociencias. Obtuvo su doctorado en el departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav.

Sus líneas de investigación están enfocadas a entender propiedades emergentes de ensamblajes neuronales en animales y humanos. Es pionero en el estudio de la resonancia estocástica interna en el cerebro, la propagación de ondas en ensamblajes 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] Schrödinger E (1944) *¿Qué es la vida?* Traducción en español por Tusquets Editores S.A.
- [2] Dienel SJ, Wade KL, Fish KN, Lewis DA (2025). "Alterations in Prefrontal Cortical Somatostatin Neurons in Schizophrenia: Evidence for Weaker Inhibition of Pyramidal Neuron Dendrites". *Biol Psychiatry*. 2025;98(2):156-166. doi:10.1016/j.biopsych.2025.01.010
- [3] Sequeira A, Shen K, Gottlieb A, Limon A (2019) "Human brain transcriptome analysis finds region- and subject-specific expression signatures of GABAAR subunits". *Commun Biol*. 2019;2:153. Published 2019 May 1. doi:10.1038/s42003-019-0413-7 <https://www.nature.com/articles/s42003-019-0413-7/figures/3>
- [4] UNODC, *World Drug Report 2025* (United Nations publication, 2025). https://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/WDR_2025/WDR25_B2_Contemporary_drug_issues.pdf
- [5] Bottéro J (2004) *La epopeya de Gilgamesh: el gran hombre que no quería morir*. Ediciones AKAL (1 abril 2004).
- [6] Jünger E (2019) *Eumeswil*. Traducción al español por J.M. Villanueva Salas. Ed. Página Indómita. ISBN 9788494816758.
- [7] Liu B, White AJ, Lo CC (2025) "Augmenting flexibility: mutual inhibition between inhibitory neurons expands functional diversity". *iScience*. 2025;28(2):111718. Published 2025 Jan 1. doi:10.1016/j.isci.2024.111718
- [8] Rickless S (2020) "Locke On Freedom", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2020 Edition), Edward N. Zalta (ed.). <https://plato.stanford.edu/entries/locke-freedom/>





¿POR QUÉ MÉXICO DEBE INVESTIGAR EN IA?

ULISES CORTÉS

*Conviene que México [promulgue legislación sobre IA] que nos proteja de los riesgos de la IA defectuosa.
Adolfo Guzmán Arenas*

En 1983 se vivió un momento clave para la investigación en Inteligencia Artificial (IA) en México. Ese año, el profesor Adolfo Guzmán Arenas —quien obtuvo su doctorado¹ en el MIT en 1968 bajo la dirección de Marvin Minsky, considerado uno de los padres de la disciplina— fundó la entonces Sección de Computación (hoy Departamento de Computación) en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav). Desde allí impulsó la creación de los programas de maestría y doctorado en Computación. Ese mismo año, el doctor José Negrete, fundador y primer presidente de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA), ofreció en el Instituto Politécnico Nacional la conferencia: *¿Por qué investigar en IA en México?*, título que inspira esta nota.

Este impulso se dio en un contexto en el que la IA aún no gozaba de popularidad y atravesaba un periodo de recuperación, tras el llamado primer invierno de la Inteligencia Artificial. Apostar por la investigación en el área implicaba, en ese momento, una notable dosis de visión y valentía, aunque ya se vislumbraban señales de recuperación con la aparición de los sistemas expertos. Han pasado ya cuarenta y dos años desde aquel hito, y la pregunta sigue vigente a la luz de las condiciones actuales de desarrollo y preeminencia de la IA a nivel global. Comprender la historia de los esfuerzos pasados de la comunidad mexicana de IA es importante, ya que proporciona información valiosa sobre logros, desafíos y colaboraciones anteriores con otras comunidades científicas y sociales.

La investigación en IA en México fue un paso lógico en la evolución de las ideas científicas activas en el país desde el grupo de Cibernética, liderado por Arturo Rosenbleuth†, la IA apareció en el horizonte casi desde el despuntar de esta disciplina científica nacida en 1956. La historia de la investigación en IA en México es un testimonio de visión, innovación y resiliencia, forjado por mentes destacadas como Adolfo Guzmán Arenas, Francisco Cantú, Sergio Delgado Ranauro†, Christian Lemaitre, Cristina Loyo, José Negrete†, Harold V. McIntosh† y Antonio Sánchez Aguilar quienes, entre otros, han nutrido y consolidado este campo desde sus inicios en nuestro país. Una vista acelerada de la historia de la IA tiene estos hitos.

En 1963 se funda el Centro Nacional de Cálculo (CeNaC), donde H.V. McIntosh tiene un papel destacado; allí surge el lenguaje CONVERT, que es un lenguaje de programación para la IA y que fue la tesis de Guzmán Arenas. En 1964, en la Ciudad de México, se celebró el Primer Congreso Latinoamericano de Computación Electrónica en la Educación Superior, escenario donde se presentaron los primeros trabajos mexicanos sobre el lenguaje de programación LISP. Baste saber que el primer artículo sobre este lenguaje se publicó en 1960. Los autores pioneros en México fueron A. Guzmán Arenas y H.V. McIntosh†, quienes sobresalieron como los investigadores más activos del periodo, ambos publicaron el primer artículo de IA en una revista científica internacional producido en México². En 1967 se fundó el Centro Científico IBM para América Latina y, en 1973, se creó un grupo especializado en IA en México, bajo el liderazgo de Guzmán Arenas. Entre el año 1976 y 1984 se hizo el intento *avant la lettre* de diseñar chips y computadores en México³.

No podemos soslayar el impacto que tuvo la crisis económica de 1982. En particular, para la IA provocó movimientos que redujeron el tamaño y potencia de los grupos de investigación que existían en la UNAM y la BUAP. En 1984, para tratar de contener la *fuga de cerebros* nació el Sistema Nacional de Investigadores. La actividad organizada para crear una comunidad científica *identificable* comenzó también en 1984 con una Reunión Nacional que no ha dejado de organizarse desde entonces, la SMIA como tal nació en 1986. La primera junta estuvo constituida por J. Negrete, P. Noriega, A. Sánchez Aguilar y C. Lemaitre.

El Laboratorio Nacional de Informática Avanzada, A.C. (LANIA) fue creado por S. Delgado-Ranauro, C. Loyo, P. Noriega, A. Sánchez Aguilar y C. Lemaitre en octubre de 1991 y se encuentra en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Es uno de los primeros centros mexicanos en

IA concebido por investigadores activos en el área, apostando por la descentralización y con un modelo mixto de financiación que mantiene hasta hoy. Entre sus objetivos estaba y se mantiene el repatriar talento mexicano formado en el extranjero. Además, J. Negrete creó un grupo de IA en la U. de Veracruz.

La investigación en IA en México fue un paso lógico en la evolución de las ideas científicas activas en el país desde el grupo de Cibernética, liderado por Arturo Rosenbleuth†, la IA apareció en el horizonte casi desde el despuntar de esta disciplina científica nacida en 1956.



La estrategia de modernización contenida en el Plan Nacional de Desarrollo 1990-1994, indica que: *La investigación en Tecnologías de la Información es escasa, inconstante y se encuentra atomizada en grupos dispersos temática y geográficamente.* El comentario que hace P. Noriega sobre el desarrollo de ese plan, en 1993, con análisis importante sobre la situación de la IA en México, nos dice que hay una veintena de grupos universitarios muy activos y la que la SMIA tiene 400 miembros.

El Centro de Investigación en Computación (CIC) del IPN fue creado en 1996 mediante la fusión de dos centros previos: el Centro Nacional de Cálculo (CeNaC), y el Centro de Investigación Tecnológica en Computación (CINTEC), creado en 1988. Su primer director fue el mismo Guzmán Arenas y el CIC se transformó en un núcleo de innovación, investigación y formación en IA, articulando ciencia, tecnología y sociedad, y posicionando al IPN como uno de los principales motores del avance de la IA excelente y relevante en México y América Latina.

En 2017, la explosión global de la IA encontró al país con una comunidad científica preparada para aceptar el reto y con un mayor interés económico, político y social. En ese año la Academia de Ciencias de la Computación produjo un informe sobre el estado de la IA en México. Las conclusiones del informe de 1993 antes citado dicen: *“las condiciones actuales son proclives a una mejoría substancial si se toman acciones correctivas de corto y mediano plazo. El éxito de esfuerzos como el de la comunidad de Inteligencia Artificial demuestran que, aún en condiciones substancialmente más adversas que las actuales, es posible.”*, creo que el tiempo le ha dado la razón a P. Noriega.

A nivel de gobierno, en diciembre de 2018, el Estado de Jalisco creó la dirección de IA de la coordinación general de innovación, hasta donde sé, no hay otra similar en el país. En 2019, CONACyT creó la alianza estratégica de ocho centros públicos de Investigación para el desarrollo de la Investigación en México y, hace poco,



La calidad de la investigación en inteligencia artificial en México ha sido reconocida con la obtención de cinco Premios Nacionales de Ciencia. En la categoría de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, en 1966 se otorgó el galardón a A. Rosenbleuth[†], considerado uno de los padres de la cibernética, y en 2012 a C. Coello. En la categoría de Tecnología, Innovación y Diseño, el premio fue concedido a Guzmán Arenas en 1996, a R. Rojas en 2015 y a E. Suckar en 2016.

Promover la investigación en IA en México y, en lo posible, la soberanía tecnológica, es crucial para fomentar la innovación, mejorar la competitividad económica y abordar los desafíos locales y globales con soluciones tecnológicas a medida de las necesidades de la nación. La IA puede apoyar el desarrollo sostenible y justo de sectores productivos desde la A hasta la Z, desde la agricultura, la manufactura sostenible, la salud y un largo etcétera, impulsando el desarrollo económico y la inclusión

Promover la investigación en IA en México y, en lo posible, la soberanía tecnológica, es crucial para fomentar la innovación, mejorar la competitividad económica y abordar los desafíos locales y globales con soluciones tecnológicas a medida de las necesidades de la nación.

social y digital de las personas que habitan en México.

Desde 2017, se pueden reseñar varios intentos de promoción de estrategias nacionales de IA y, también, algunas propuestas de legislación. En 2020, México fue uno de los quince miembros fundadores del Global Partnership on AI, hoy fusionada en la OCDE. Desde entonces, nombrados por la Secretaría de Relaciones Exteriores, hay un grupo de expertos mexicanos trabajando de forma voluntaria en las distintas comisiones y este grupo se mantiene hasta hoy. Lo que permite tener una antena y una voz activa y cohesionada en un foro internacional tan importante.

Es indispensable que México cuente con una estrategia nacional de Inteligencia Artificial que escuche a la comunidad científica, tecnológica y social, para garantizar que la investigación en IA, el desarrollo y la implementación de las aplicaciones basadas en la IA respondan a las necesidades reales del país y promuevan una visión ética, legal, feminista e inclusiva. La comunidad de IA en México puede contribuir de manera decisiva para que el país alcance una posición relevante en el contexto regional e internacional.





En 2025, al principio de agosto, la Comisión de Inteligencia Artificial del Senado, presentó un informe y propuesta de un marco normativo para la IA en México que puede implicar una modificación de la Constitución. Este impulso normativo debe converger con una política de Estado que anticipe riesgos sistémicos –desinformación, sesgos, desplazamiento laboral, privacidad, ciberseguridad e impacto ambiental– y que establezca garantías *ex ante* y *ex post*: pruebas de seguridad (*aka* Sandboxes), evaluación de impacto en derechos humanos, obligaciones de documentación y supervisión humana significativa, así como recursos efectivos de reparación y sanción. En síntesis, una estrategia nacional de IA para México, debe pasar de las declaraciones éticas a la ingeniería institucional: reglas claras de responsabilidad legal, evaluación de riesgos, supervisión humana efectiva, protección de derechos y una gobernanza plural que garantice que la investigación y las aplicaciones basadas en la IA sean, de hecho, como el agua: transparente, accesible y al servicio del bien común.

La comunidad de IA en México puede y debe ser decisiva para posicionar al país en el ámbito regional e internacional, articulando un *contrato social digital* donde gobiernos, academia, empresas y sociedad civil cogen la IA con estándares de transparencia, trazabilidad y auditoría, y donde la responsabilidad sea humana y distribuida, evitando la falsa neutralidad del diseño y atendiendo la ambivalencia de la innovación técnica: tan creadora como potencialmente destructiva si se despliega sin salvaguardas.



México debe ubicarse como un actor relevante de la investigación en América Latina esta nueva era tecnológica. Sin la inversión necesaria en talento, educación, infraestructura y políticas públicas que son necesarios para consolidar un ecosistema innovador, inclusivo y ético esto no será alcanzable. El impulso actual, aunque enfrenta obstáculos como el reconocimiento académico internacional y las brechas de formación, muestra que existen iniciativas y colaboraciones crecientes entre instituciones, empresas y jóvenes investigadores.



ULISES CORTÉS

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



REFERENCIAS

- 1 <http://hdl.handle.net/1721.1/6902>
- 2 Guzmán, A. and McIntosh H.V. (1966) CONVERT. Communications of the ACM 9, 8, 604-415
- 3 Guzmán, A. (1982) Mexican Computer for Parallel Processing. Información Científica y Tecnológica, Vol. 3, No. 48, 42-43. https://www.academia.edu/2494083/51_Computadora_Mexicana_de_procesamiento_en_paralelo

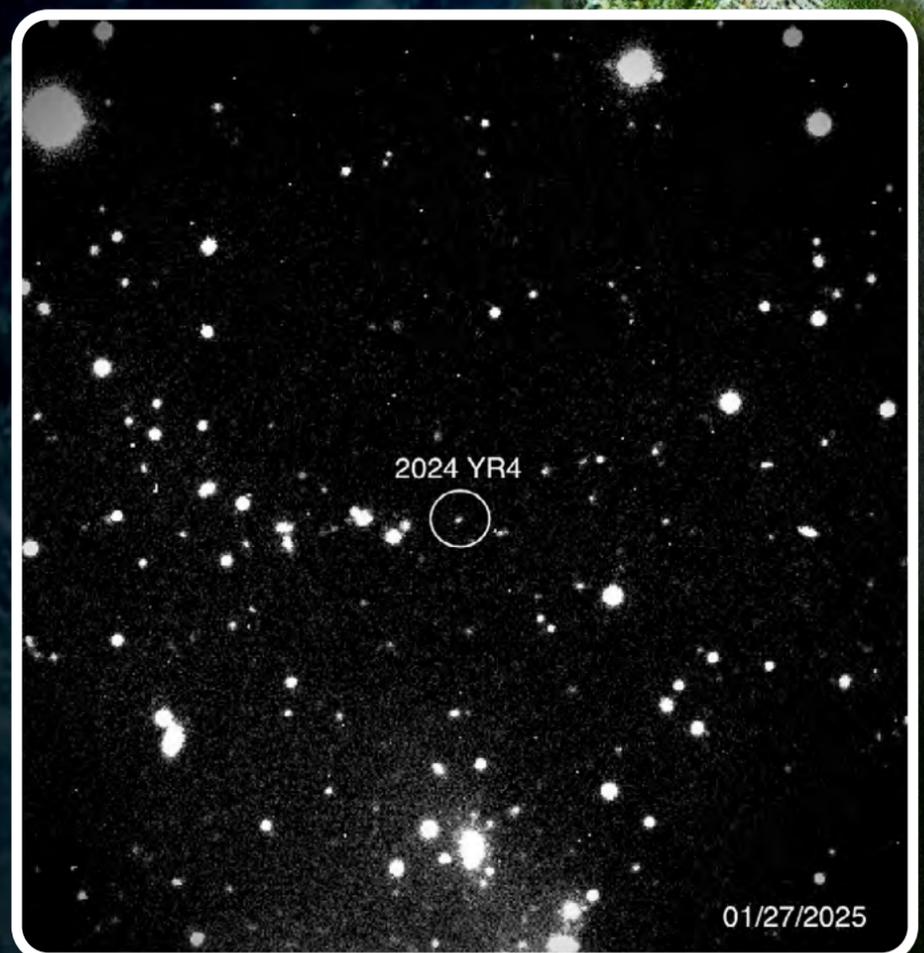


¿LA TIERRA ESTÁ A SALVO ANTE UN IMPACTO DE ASTEROIDE?

NORMA ÁVILA JIMÉNEZ

En la comedia de ciencia ficción, *No miren arriba* (Adam MacKay, 2021), la presidenta Orlean (Meryl Streep) y otras personas del círculo privilegiado, logran huir en una nave espacial ante la inminente colisión de un enorme cometa con la Tierra. Al llegar al exoplaneta, Orlean baja de la nave para ser devorada inmediatamente por un Bronteroc, criatura imaginaria, especie de ave-mamífero grande con seis patas.

Aunque me estoy refiriendo a la escena chusca de un filme, la pregunta es: ¿Realmente se podría huir en un vehículo espacial ante una catástrofe como la planteada, o quizás refugiarse en un búnker, o bien hacer explotar el cometa o asteroide, evitando así el impacto con nuestra casa en el Sistema Solar? Antes de responder, vale subrayar la existencia del asteroide 2024 YR4, ya que en los últimos meses ha captado la atención mundial.



2024_YR4- NASA. Telescopio Magdalena Ridge de 2.4 metros. Instituto de Tecnología de Nuevo México, Ryan.

¿La Luna, con otro cráter?

Los asteroides son cuerpos rocosos o metálicos que orbitan alrededor del Sol, restos de la formación de nuestro sistema planetario. En ocasiones, la fuerza de gravedad de los planetas o satélites los desvían y pueden acercarse a la Tierra, como es el caso de 2024 YR4, detectado en enero de este año por el telescopio ubicado en Río Hurtado, Chile, instrumento que forma parte del Sistema de Última Alerta de Impacto Terrestre de Asteroides (ATLAS, por sus siglas en inglés), de la NASA.

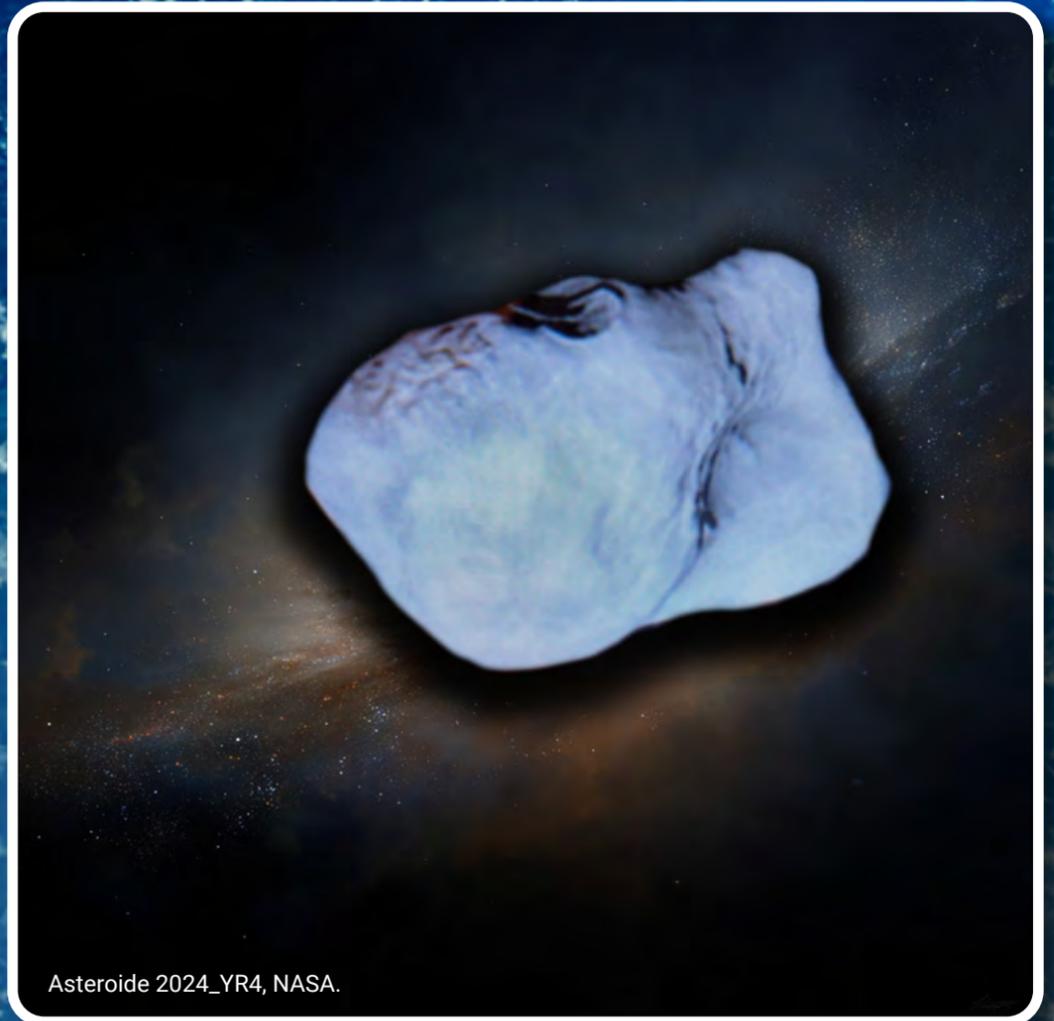
Para conocer cómo ha sido y será la trayectoria de este objeto de unos 90 metros de diámetro –el equivalente a un edificio de 15 pisos–, organismos que participan en la Red Internacional de Alerta de Asteroides y otras dependencias similares reúnen las observaciones realizadas desde diversos puntos terrestres. Recién descubierto, se señalaba una baja probabilidad de que dicho asteroide choque con nuestro planeta el 22 de diciembre de 2032, información corregida a probabilidad cero y apuntando a la Luna como el posible blanco. Auxiliados por las últimas observaciones del telescopio espacial James Webb, los expertos han hecho ajustes para proyectar un 4.3 por ciento de probabilidad de que *Meztli* o *Selene* sea golpeada, según comenta National Geographic de España.

“La Luna siempre está recibiendo impactos de asteroides pequeños o de meteoritos (fragmentos de asteroides o cometas) y, en el caso de que 2024 YR4 la impactara, se liberaría la energía generada durante la explosión de un arma nuclear, por lo tanto, se crearía otro cráter”, subraya el doctor Joel Sánchez Bermúdez, investigador del Instituto de Astronomía de la UNAM y especialista en evolución estelar.

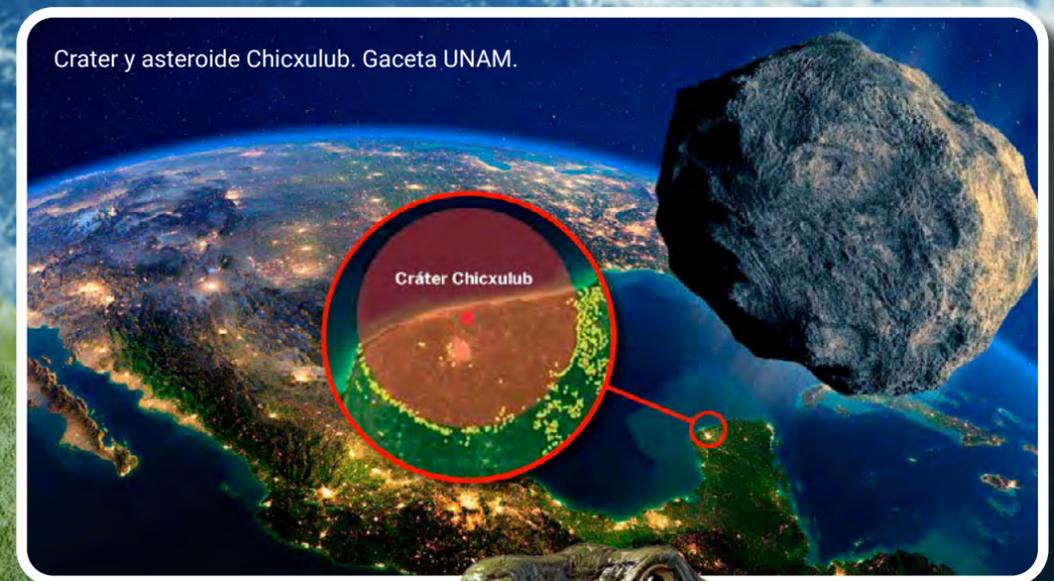
Si esto ocurre, “sería posible ver la colisión desde la Tierra, lo que resultaría ser muy interesante, ya que podríamos estudiar de primera mano cómo se forman esos cráteres y sus repercusiones, además de la posibilidad de observar los escombros lanzados que podrían formar una lluvia de estrellas”, agrega.

“Ver eso sería fantástico”, nos dice. Lo más probable es que los fragmentos que llegaran a nosotros, se quemarían al entrar a la atmósfera, es decir, no llegarían a caer rocas gigantes a nuestro planeta. El registro de la velocidad de esas eyecciones, y si son homogéneas o no, sería otro tema de análisis, aunque reconoce que existiría un pequeño riesgo de que los escombros lleguen a colisionar contra los satélites artificiales que orbitan la Tierra.

El grisáceo y cacarizo “conejo” se aleja de nosotros 3.8 centímetros anuales, distancia que no cambiaría debido al impacto, pues no es lo suficientemente potente para perturbar su trayectoria. Esto me recuerda el cuento *La distancia de la Luna* incluido en *Las cósmicas*, de Ítalo Calvino, en el cual los personajes alcanzaban a llegar a ella, primero, con una escalera, y con el paso de los días ya era imposible llegar al satélite.



Asteroide 2024_YR4, NASA.



Cráter y asteroide Chicxulub. Gaceta UNAM.



¿Estamos a salvo?

¿Qué hacen los expertos para prevenir la ocurrencia de un encuentro destructor? Un experimento exitoso, sin duda, fue la misión Double Asteroid Redirection Test (DART, por sus siglas en inglés) de la NASA. Después de diez meses de haber sido lanzada, en septiembre de 2022 la nave sonda alcanzó al asteroide *Dimorphos* con el objetivo de chocarlo intencionalmente para alterar su trayectoria. DART fue capaz de probar la tecnología de impacto cinético como una herramienta a utilizarse en la defensa planetaria ante un peligro de colisión, puntualiza Sánchez Bermudez.

“Es una misión precursora”.

La Agencia Espacial Europea (AEE) pretende enviar la misión RAMSES para acercarse al asteroide 99942 Apophis, que va a pasar a aproximadamente 32 mil kilómetros de la Tierra el 13 de abril de 2029, con el objetivo de estudiar a detalle cómo la fuerza de gravedad terrestre alterará sus características físicas. Este asteroide, que mide cerca de 375 metros de diámetro, será posible observarlo a simple vista en lugares con cielos oscuros y despejados de África, Asia y Europa.

Como sucede durante un eclipse de Sol, privilegiados serán los que puedan observar este objeto (del tamaño de un crucero grande) con la tranquilidad de que no sufrirán un descalabro, de acuerdo a la página web de la AEE, aunque sí estará más cerca que nuestros satélites de comunicación, señala la Sociedad Planetaria. Dato impresionante.

La misión RAMSES, así como las lanzadas, entre otras, por las agencias espaciales china y japonesa para obtener muestras de asteroides, ofrecerán experiencia que derivará en mejores estrategias, capaces de proteger nuestra casa en el Espacio de encuentros peligrosos del tercer tipo con objetos cósmicos.

Aunque en México no existe una dependencia dedicada exclusivamente a la detección de esos cuerpos, sí ha colaborado con la NASA y la AEE en algunos proyectos de vigilancia espacial.

“México participa por medio del Instituto de Astrofísica, Óptica y Electrónica ubicado en Tonantzintla, en la Red Internacional de Alerta de Asteroides”, subrayó María Dolores Maravilla Meza, investigadora del Instituto de Geofísica, según leemos en la *Gaceta UNAM* del 26 de julio de 2021.



Misión RAMSES hacia el asteroide Apophis, ESA. Impresión artística.



Misión DART, NASA.



De explosivos, naves huidizas y búnkers

¿Otra alternativa para evadir los golpes espaciales? Destruirlos con explosivos sería muy peligroso, “imagínate que tienes un asteroide enorme acercándose y ha sido posible calcular su movimiento, pero si lo rompes, los fragmentos, inestables, saldrían disparados hacia diferentes direcciones no fáciles de calcular; podrían chocar contra satélites, naves sonda, o entrar a la Tierra, y si los fragmentos son grandes, la atmósfera no los podría detener”, subraya el doctor Joel Sánchez.

Además, aun cuando ya se ha logrado con vehículos no tripulados, descender en un asteroide, como sucede en la película *Armageddon* (Michael Bay, 1998) es muy complicado porque no viajan de manera estable: pueden girar sobre sí mismos, tener cambios de rotación, los hay binarios –uno girando alrededor de otro–, y hasta con anillos alrededor (escombros), como el 10199 Chariclo.

Respecto a utilizar una nave espacial para que algunos de la élite o los elegidos abandonen la Tierra antes del impacto, el especialista comenta:

“El único cuerpo que ha pisado el humano, además de la Tierra, es la Luna. Y si ha sido difícil el envío de misiones allí, más complicado sería llevarlas a otro planeta. Se ha proyectado llegar a Marte y colonizarla, pero eso llevará generaciones”.

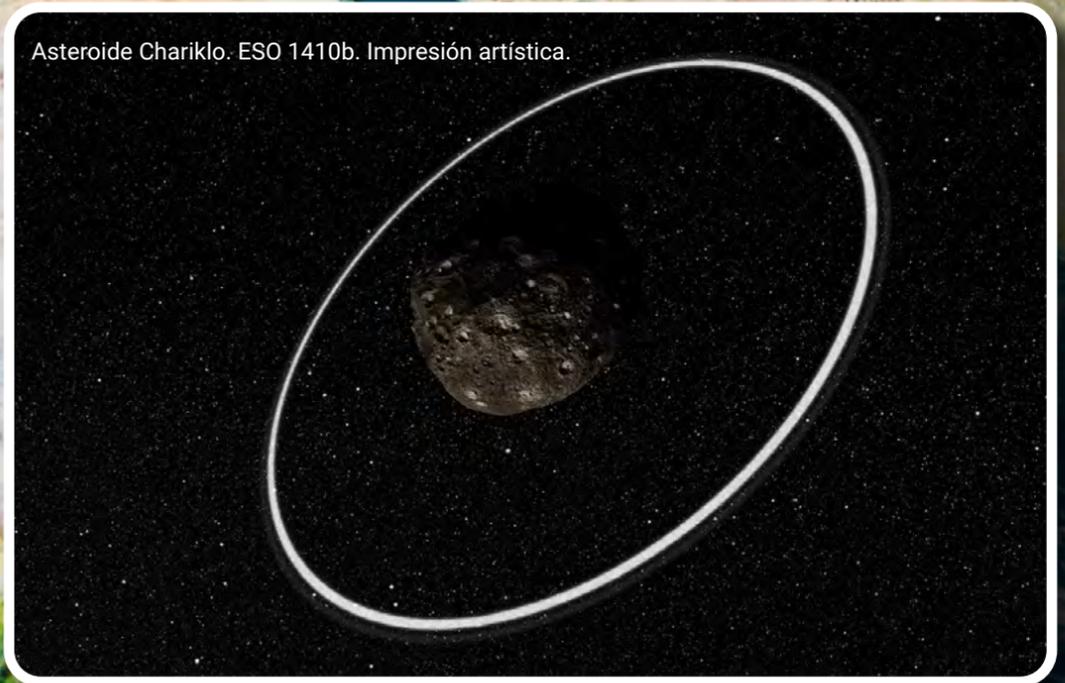
En el caso de que la nave se quedara únicamente orbitando arriba de la atmósfera durante meses o años, mientras pudiera regresar a nuestro planeta, necesitaría estar abastecida con suficientes víveres y agua para que los tripulantes pudieran sobrevivir, lo que no sería nada fácil.

“Hace poco estuve en el Museo de Historia Natural de Nueva York, y en una infografía leí, sorprendido, que, debido al impacto del asteroide de 10 a 15 kilómetros de diámetro que cayó en Chicxulub hace unos 66 millones de años, la Tierra estuvo cubierta por polvo y nubes durante millones de años, no meses. La colisión tan brutal afectó tanto la dinámica terrestre, que inmediatamente después del choque comenzaron las erupciones volcánicas en Italia, al otro lado de donde aconteció la catástrofe”.

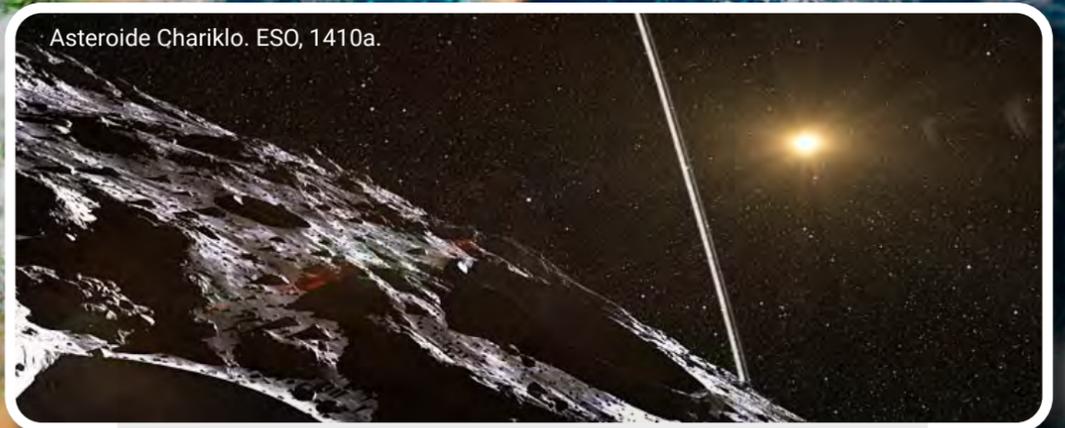
Ante esta explosión colosal, ni los búnkers serían un refugio, no habría nada que nos salvara, asegura.

Así que la mejor alternativa ante los asteroides peligrosos es darles un empujoncito.

Asteroide Chariklo. ESO 1410b. Impresión artística.



Asteroide Chariklo. ESO, 1410a.



NORMA ÁVILA JIMÉNEZ

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



PSICOACÚSTICA

Mensaje del maestro Roncador ¿Tranquilo es aburrido?

TRANQUILO = ¿ABURRIDO?

MAESTRO RONCADOR



Hoy ha venido la Directora. Se ha sentado en el lugar de la alumna aventajada. Toda la clase está revuelta por esta presencia. La verdad es que domina la clase. Yo soy el que más lo noto, porque seguramente no va a salirme bien la explicación y los argumentos de hoy. Y no puedo perderla otra vez. Soy consciente de mis desesperados ronquidos, pero debo conquistarla con mis razonamientos.

—Todo esto os lo digo porque quiero tratar de los espacios sonoramente denominados “tranquilos” —Me giro a la pizarra y escribo:

TRANQUILO = ¿ABURRIDO?¹

—Mi dormitorio es tranquilo sonoramente. Tiene un nivel equivalente de menos de 25 dBA durante la noche, claro, cuando no duermo yo en él. Pero la verdad es que es muy aburrido sonoramente hablando. Por esto no os he invitado a visitarlo.

No se ríen. Vaya. Todavía no he conseguido romper el hielo.

¹ - Según el artículo 3 de la Directiva 200249/CE, se define como zona *relativamente tranquila* aquella determinada por la administración local que no está sometida a niveles superiores a un determinado nivel de L_{den} fijado por el Estado miembro correspondiente. Para ello, se requiere que esta zona tenga asignado un determinado objetivo de calidad acústica como valor de referencia. El artículo 14 del RD 1367/2007 hace referencia a esta consideración: “como objetivo de calidad acústica aplicable a las zonas tranquilas en las aglomeraciones y en campo abierto, se establece el mantener en dichas zonas los niveles sonoros por debajo de los valores de los índices de inmisión de ruido establecidos en la tabla A, del anexo II, disminuido en 5 decibelios, tratando de preservar la mejor calidad acústica que sea compatible con el desarrollo sostenible”. Si buscamos la tabla A del anexo II, encontramos:

	Tipo de área acústica	Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55

—Supongamos que diseñamos un espacio tranquilo. Técnicamente cumplimos con que el nivel sea unos cinco decibelios aproximadamente menor que los índices de inmisión de su entorno. Pero observamos que la gente prefiere otro espacio tranquilo situado muy cerca. ¿Verdad que nos preguntaremos la razón de ese desprecio?

Me bebo un sorbo del vaso de agua. Hace años aprendí que debo interrumpir la explicación con pequeñas pausas que aumenten la tensión y el interés hacia lo que voy a explicar a continuación.

—Si descubrimos que no van porque nuestro espacio es anodino, ¿no estudiaremos qué cualidades acústicas, además de las culturales, arquitectónicas y sociales tiene ese espacio preferido? Quizás veamos que, entre esas cualidades, están presentes la consideración estética e histórica del lugar, los criterios acústicos cualitativos y subjetivos, y en suma, la relevancia del contexto en la percepción de sus sonidos.

Otro sorbo de agua, y esta vez, dirijo mi mirada a la Directora, mientras continúo pensando en el enorme significado de la palabra contexto.²

—Imagínate que estás en un parque urbano, donde, enmascarando el sonido del tráfico y de la ciudad, se escuchan el trino de los pájaros, el entrechocar de las hojas de los árboles por el viento, el arrastre superficial de alguna hoja seca por la brisa, el sonido de pisar las hojas caídas, el roce de la arenilla por los paseantes, o la explosión de las semillas en las jacarandas, espinillos del diablo, pepinos venenosos, no me toques, *impatiens capensis*, patas de buey, y liquidámbar, ¿Crees que este es un lugar acústicamente tranquilo?

Ella no ha perdido la atención de su mirada hacia mí. Asiente con la cabeza y prosigue:

—Esas explosiones deben ser increíbles, y el rumor a la sombra de la rosaleta, o los susurros de los enamorados en el banco de los secretos del Parque de la Alameda de Santiago de Compostela.

Contexto: m. Entorno físico o de situación, político, histórico, cultural o de cualquier otra índole, en el que se considera un hecho. (Real Academia de la Lengua Española.)



Lo ha dicho con una entonación de emoción y sentimiento tan alto, que me estoy derritiendo. Y continúa mirándome. Yo con la tiza temblándome en la mano.

Seguramente la clase se ha dado cuenta de que algo nos sucede, porque empiezo a ver miradas cruzadas entre mis compañeros, y también algunas sonrisas que no creo se deban a mi explicación.

He de continuar, ¿o me voy a quedar observándola? Vuelvo a tomar otro sorbo de agua.

—Por todo ello, debemos aumentar la promoción y la sensibilización sobre estas zonas por los propios ciudadanos, y conseguir consecuentemente que se interesen por ellas y así lograr el apoyo necesario para protegerlas.

Otro poco de agua.

—Veamos, ¿Quién me sabe decir los cuatro adjetivos psicoacústicos básicos que debemos definir en estos lugares?

El alumno burlesco responde enseguida.

—Son la nitidez (S), la sonoridad (N), la rugosidad (R) y la fuerza de fluctuación (F).

—Vaya, perfecto. Y los demás, ¿sabéis su significado?

Otros alumnos se ofrecen para aclararlos.

—La agudeza o nitidez o *sharpness*, describe la sensación de timbre de acuerdo con el contenido de altas frecuencias del sonido. Cuanta mayor proporción de altas frecuencias hay, más agudo y cortante es el sonido. Su unidad es el “*acum*” (del latín “*acum*” = agudo).

Una alumna de la primera fila añade:

—La sonoridad o *loudness*, es una medida subjetiva de la intensidad o volumen sonoro con el que percibimos los sonidos, distinguiéndolos entre más fuertes y más débiles. La sonoridad se agudiza para sonidos débiles y disminuye para sonidos fuertes. Su unidad es el “*sonio*” (derivado del latín “*sonare*”), que está definido como la sonoridad de un sonido senoidal de 1 kHz con un nivel de intensidad sonora de 40 dB. Un tono que se percibe con el doble de *loudness* tiene el doble de *sonios*.

—Y la rugosidad, aspereza o *roughness*, cuantifica el grado de molestia provocado por causa de modulaciones rápidas. Su unidad es el “*asper*”, definido como la rugosidad producida por un tono de 1000 Hz a 60dB,



modulado a 70 Hz con un índice de modulación del 100%. Con un *roughness* mayor, las emisiones de ruido se hacen como más perceptibles y normalmente más agresivas y molestas, incluso si, por ejemplo, el *loudness* o el nivel de presión sonora con ponderación A permanecen invariables. —Indica otro alumno, esta vez del fondo.

Me quedo sorprendido de estas respuestas.

—Y la fuerza de fluctuación, ¿recordáis lo que significa?

Finalmente el alumno burlesco levanta lentamente la mano y responde:

—Te refieres al *fluctuation strength*, que es una impresión psicoacústica dada por las variaciones de señal con frecuencias de modulación muy bajas. El máximo está a frecuencias de modulación alrededor de 4 Hz. La unidad, 'vacil' viene definida por el mismo tono sinusoidal que en el caso del *roughness*, excepto porque en este caso, la frecuencia de modulación es de 4 Hz en vez de 70 Hz.

—Vaya, muy bien. Por lo que veo todos habéis repasado la lección que os impartió el profesor Jeromen Life.

Los alumnos están felices de conocer las respuestas, y de que la Directora lo constate en directo.

Yo voy a continuar si es que puedo concentrarme y no distraerme mirándola

—Lo sabéis todo. No creo que necesitéis ninguna clase mía respecto las unidades, o sea que voy a continuar con lo aburrido que puede llegar a ser un espacio solo tranquilo.

Me tomo otro sorbo de agua y prosigo.



—Supongamos que consigo un espacio tranquilo, donde estos parámetros sean bien percibidos y aceptados por los asistentes al mismo. ¿Significará esto que dicho espacio me gustará igual que un espacio también tranquilo, pero con un sauce y un lago y césped, y un banco para sentarse a la sombra de este sauce? ¿Cuál preferiréis vosotros? ¿Aquél que cumpla todos los parámetros sonoros, o aquel que quizás no cumpla alguno de ellos, pero que lo consideremos estética o sonoramente más bello?

Ahora los alumnos callan. Nadie sabe qué responder, pero la Directora se atreve a decir:

—Hombre, si considero que es más bello estéticamente, entonces evidentemente prefiero el del sauce, o el del banco sonoro o “banco dos namorados”.

Y dice todo esto con una entonación que me pone los pelos de punta de la emoción.

Estoy convencido de que lo ha recordado delante de todos con alguna intención más que manifiesta. Resulta que el banco de los enamorados se encuentra en la Alameda de Santiago de Compostela, y es famoso por ser un pequeño lugar semicircular para que los enamorados, sentados en ambos extremos, puedan decirse secretos.

Yo realizaba una evaluación para la Agencia de Calidad del Sistema Universitario Gallego, y la encontré allí, sentada en un extremo del banco. Me senté en la otra esquina, de espaldas, y le susurré unas palabras. Primero de asustó, pero luego, viendo que yo estaba lejos, se quedó escuchando. Los susurros no se parecen demasiado a nuestras voces. Suenan muy suaves, como si fuéramos a decirnos secretos, por lo que no me reconoció.

Yo aproveché para flirtear un poco con ella, y citarla para encontrarnos luego en el Hostal de los Reyes Católicos.

Ella se presentó, pero yo no me atreví. Mis ronquidos continuaban siendo insoportables. Es más, habían aumentado en volumen sonoro desde la última vez que estuvimos juntos.

Pero al parecer ella sí que me reconoció en el Parque.



—¿Y si la razón no es por la belleza sino por razones históricas? —Sigo yo, y todavía no sé cómo consigo articular palabra. —Supongamos que ese lugar contiene el Mausoleo del General Grant.

—Seguramente también lo preferiremos, pero para mí la Alameda de Santiago siempre será especial. —Responde ella.

“¿Me está diciendo un secreto?”

—Entonces, —prosigo yo ahora con acento de conclusión, preguntando a toda la clase— ¿no es más cierto que preferimos aquel lugar que tiene un contexto específico más significativo para nosotros?

Ahora todos asienten con la cabeza. Nos miran divertidos por nuestro extraño diálogo.

—Tranquilo no significa aburrido. —Concluyo yo finalmente, mirando como tiembla la tiza en mi mano

Justo entonces suena la campana de fin de clase.

Ahora, todos los alumnos me contemplan sonrientes mientras recojo los papeles.



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



TIERRAS RARAS, PIEZAS CLAVE EN NUESTRA VIDA

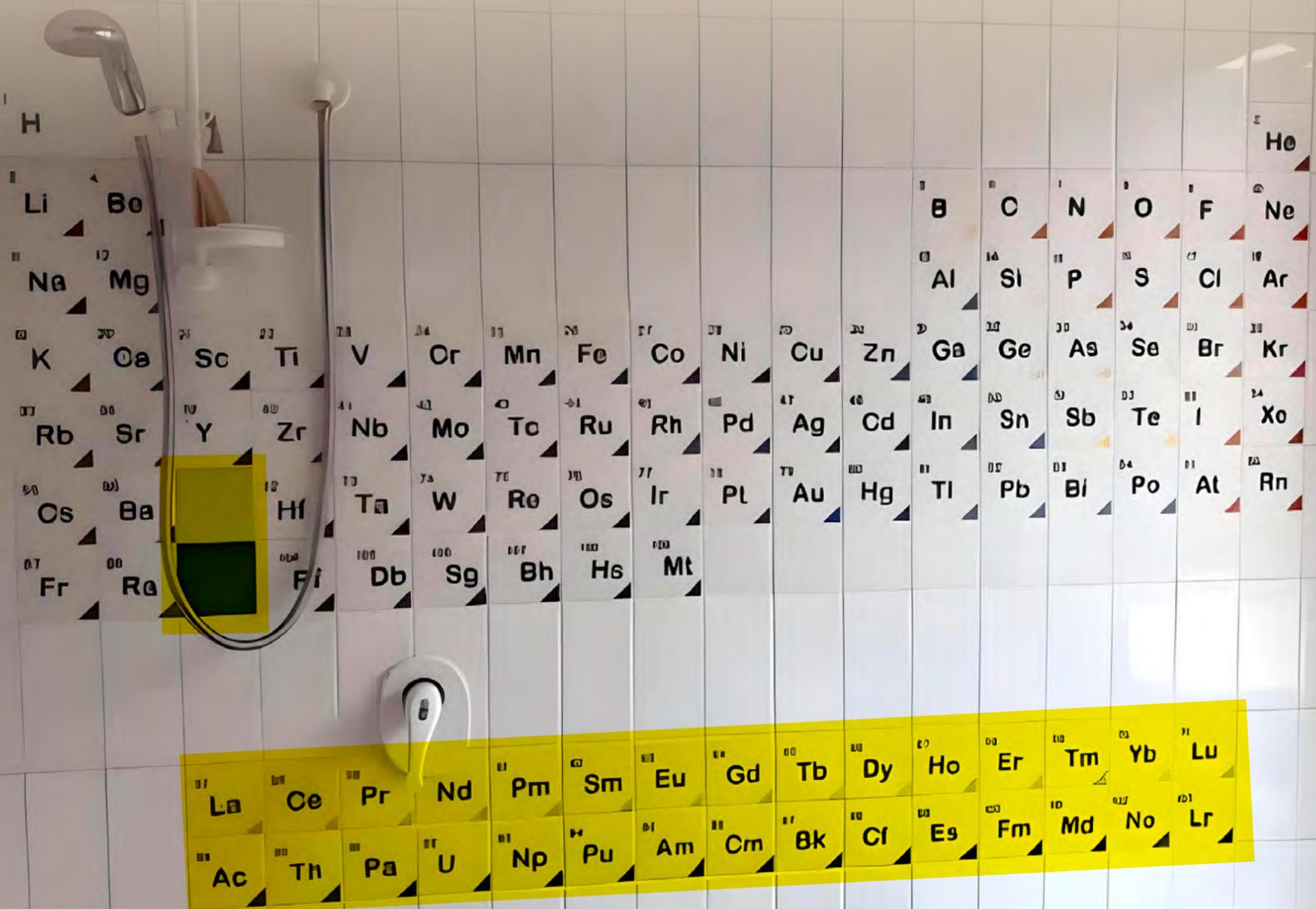
GABRIELA PÉREZ

¿Qué son las tierras raras, a qué deben su nombre? William Crookes, uno de los científicos más importantes del siglo XIX, inventor del tubo de rayos catódicos y descubridor del elemento químico talio, dijo una vez:

“Las tierras raras nos desconciertan en nuestras investigaciones, nos desconciertan en nuestras especulaciones y nos persiguen en nuestros sueños. Se extienden como un mar desconocido ante nosotros, burlándose,

mistificando y murmurando extrañas revelaciones y posibilidades.”

Las tierras raras han adquirido un alto valor en el mercado mundial porque son estratégicos para el desarrollo de alta tecnología. La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) define los elementos de tierras raras (ETR) como un grupo de 17 elementos, que comprende los 15 lantánidos o lantanoides, más el escandio y el itrio.



La Edad de las tierras raras

Cuando Dimitri Ivánovich Mendeléyev presentó su sistema periódico (1869), solo seis de los diecisiete elementos pertenecientes a las tierras raras habían sido descubiertos. Para Mendeléyev, cada descubrimiento de un nuevo elemento de tierras raras suponía un nuevo enigma, ya que cada uno mostraba un comportamiento químico muy similar que dificultaba la asignación de posiciones en su tabla periódica.

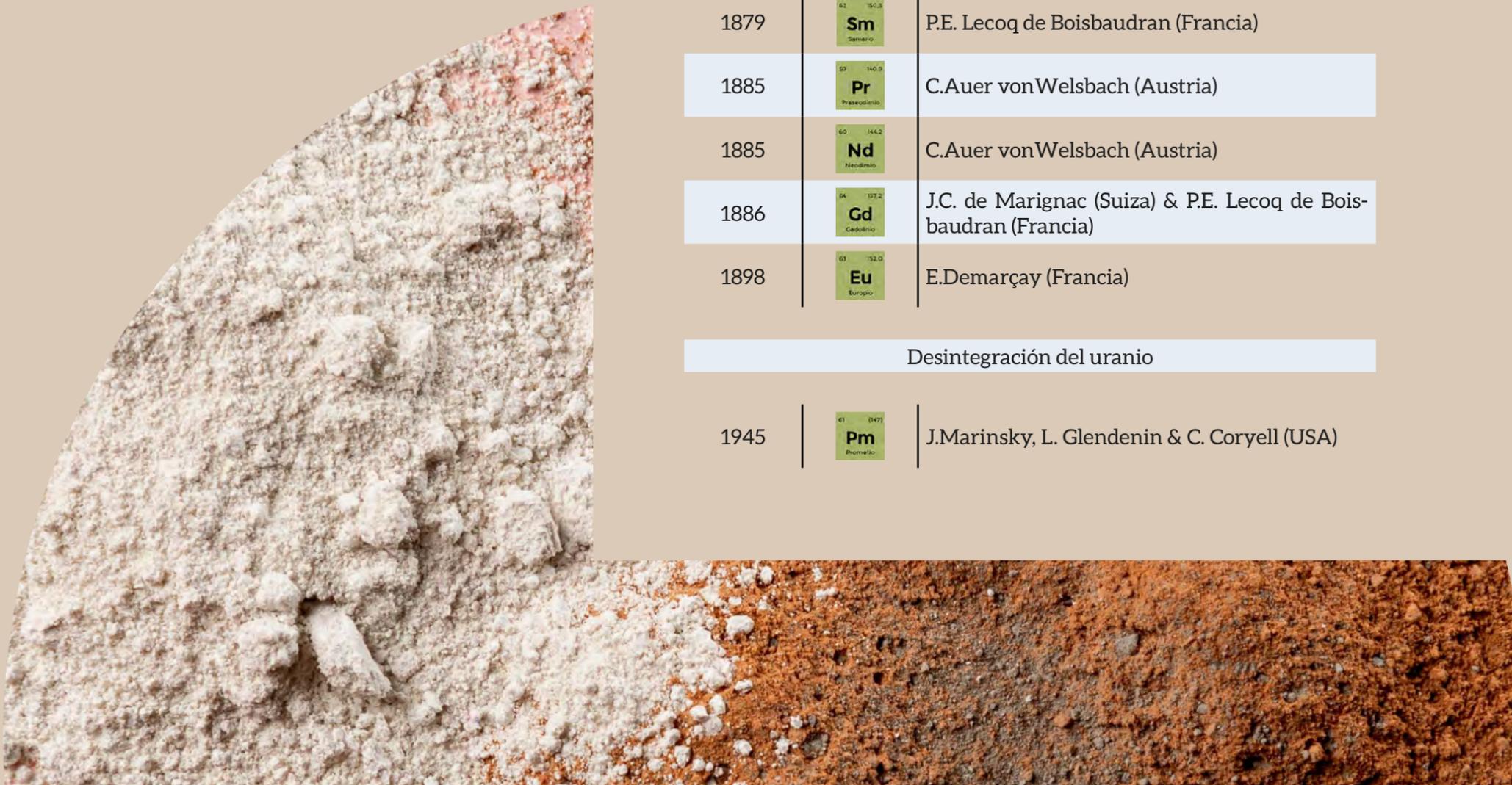
Esta singular similitud química se debe al comportamiento de los electrones de valencia 4f y su relación con los orbitales 5s y 5p completamente llenos. La belleza de esta familia de elementos reside en que si bien sus miembros son muy similares desde un punto de vista químico, cada uno posee propiedades físicas muy específicas, como el color, la luminiscencia y las propiedades magnéticas nucleares.

Lantánido viene del griego lanthaneis, que significa "yacer escondido", y data del siglo XVIII. Estos elementos fueron conocidos inicialmente como tierras raras, junto con el escandio, el itrio y el lantano, porque se identificaron como parte de un nuevo tipo de "tierra", que era una referencia coloquial a los óxidos metálicos insolubles en agua. El término "raras" se debe a la dificultad en esa época para lograr su separación del mineral madre, y a la separación entre ellos, debido a sus amplias similitudes químicas. Algunos argumentan aun hoy que fueron llamadas "raras" porque se presumía que eran elementos escasos, pero en realidad era el tiempo de los descubrimientos y no había forma de cuantificar o imaginar cuánto había de los elementos que se iban descubriendo. El hecho es que las tierras raras no son tierras, ni tampoco son raras, esto es, no son escasas. En la corteza terrestre son más abundantes que el mercurio, el oro y la plata, por ejemplo.

El estudio de las tierras raras estuvo inicialmente restringido, ya que los científicos solo disponían de pequeñas cantidades de muestras para su investigación. Esta limitación terminó en 1879 con el hallazgo de yacimientos de samarskita en Estados Unidos; este óxido acabó con la carestía en los laboratorios químicos, sin embargo, las tierras raras mantuvieron su nombre. El descubrimiento y aislamiento de estos elementos prosperó entre 1794 (itrio) y 1907 (lutecio), con la excepción del prometio (1945), surgido con la fabricación de la primera bomba atómica.

Tabla 1. Descubrimiento de los elementos de las tierras raras.

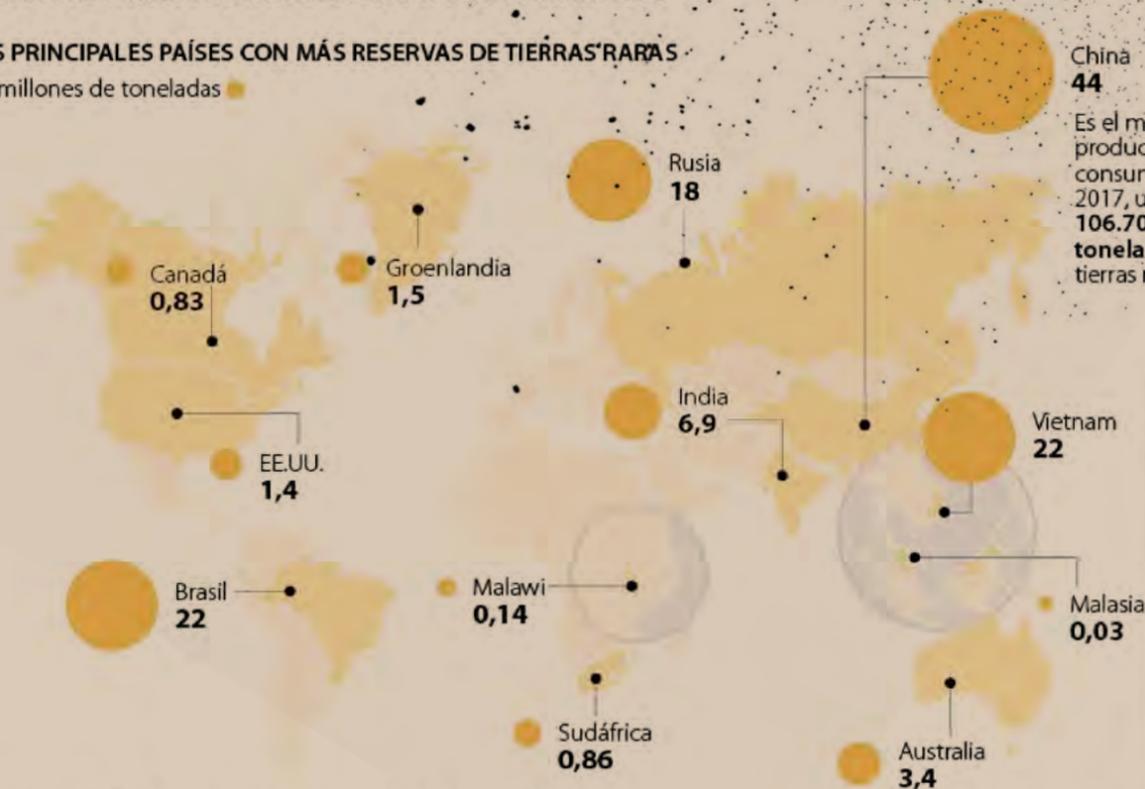
Año	Elemento (símbolo)	Descubridor (país)
Mineral gadolinita (o iterbita)		
1794	 Y	J.Gadolin (Suecia)
1843	 Er	C.Mosander (Suecia)
1843	 Tb	C.Mosander (Suecia)
1878	 Tb	J.C. de Marignac (Suiza)
1879	 Tm	P.T. Cleve (Suecia)
1879	 Sc	L.Nilson (Suecia)
1879	 Ho	P.T. Cleve (Suecia)
1886	 Dy	P.E. Lecoq de Boisbaudran (Francia)
1907	 Lu	G.Urbain (Francia) & C. Auer von Welsbach (Austria)
Mineral cerita		
1803	 Ce	J.J. Berzelius & W. Hisinger (Suecia); M. Klaproth (Alemania)
1839	 La	C.Mosander (Suecia)
1879	 Sm	P.E. Lecoq de Boisbaudran (Francia)
1885	 Pr	C.Auer vonWelsbach (Austria)
1885	 Nd	C.Auer vonWelsbach (Austria)
1886	 Gd	J.C. de Marignac (Suiza) & P.E. Lecoq de Boisbaudran (Francia)
1898	 Eu	E.Demarçay (Francia)
Desintegración del uranio		
1945	 Pm	J.Marinsky, L. Glendenin & C. Coryell (USA)



JUGADORES INTERNACIONALES EN UN NUEVO MERCADO

LOS PRINCIPALES PAÍSES CON MÁS RESERVAS DE TIERRAS RARAS

En millones de toneladas



China **44**
Es el mayor productor y consumidor. En 2017, utilizó **106.700 toneladas** de tierras raras

ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS

- Escandio
- Lantano
- Cerio
- Praseodimio
- Neodimio
- Prometio
- Samario
- Europio
- Gadolinio
- Terbio
- Itrio
- Disprobio
- Holmio
- Erblio
- Tulio
- Iterbio
- Lutecio

OBJETOS QUE SE FABRICAN CON TIERRAS RARAS

Objeto	Elementos
Vehículos híbridos	Disprobio, lantano, neodimio, praseodimio
Lámparas	Europio, terbio, itrio
iPods	Disprobio, neodimio, praseodimio, samario, terbio
Aerogeneradores	Disprobio, neodimio, praseodimio, terbio
Fibras ópticas	Erblio, europio, terbio, itrio

EXPORTACIONES DE ÓXIDOS DE TIERRAS RARAS EN 2018

Toneladas de REO (óxidos de tierras raras)



Fuente: Usgs/Upme Gráfico: LR-GR

Los elementos de tierras raras (ETR) son relativamente abundantes en la parte superior de la corteza terrestre; la abundancia cortical de cerio (Ce) y lantano (La) es mayor que la de cobre (Cu) y plomo (Pb), mientras que tulio (Tm) y lutecio (Lu) –que son los más raros de los ETR–, son más abundantes que dos metales conocidos, oro (Au) y plata (Ag). Sin embargo, la abundancia de un elemento particular en la geósfera no siempre significa facilidad de explotación. La viabilidad de la explotación generalmente depende de la geología, la ley, el tonelaje, las tecnologías de procesamiento disponibles, los costos y los problemas ambientales asociados. Las tierras raras generalmente no se concentran en cantidades económicamente viables y, al tener radios iónicos similares, dificultan su extracción y recuperación rentable. La producción mundial de tierras raras se concentra en una pequeña cantidad de países.

¿Por qué son tan importantes las tierras raras?

Entre los científicos que participaron en la investigación para el descubrimiento de los elementos de tierras raras (ETR) se encuentra Carl Auer von Welsbach, quien no solo era un buen químico –descubrió al praseodimio (Pr) y neodimio (Nd)–, sino también un brillante hombre de negocios. Auer von Welsbach inventó la lámpara incandescente de manto calentada por llama de gas, en 1885. En la llama azul de un mechero Bunsen calentó una tela tejida que brillaba seis veces más que la propia llama. La tela se colgaba sobre el mechero, única fuente de calor, en una forma que inspiró el nombre de "manto" (es decir, una capa).

El manto estaba compuesto por una malla de algodón ligeramente tejida, empapada en una solución líquida de nitrato de torio y cerio. Al encender un manto por primera vez, el algodón se quemaba, dejando un esqueleto rígido y frágil de óxidos de torio y cerio. Estos óxidos

emitían una luz brillante al calentarse a temperaturas muy altas: el principio de la incandescencia. Este nuevo principio fue revolucionario, especialmente en el alumbrado público, y se extendió rápidamente por todo el mundo industrializado. En 1913 se fabricaron 300 millones de lámparas Auer (llamadas Auerlicht).

Otra consecuencia de su inventiva, que perduró hasta nuestros días, fue la piedra de los encendedores, una aleación de cerio y hierro que desbancó a los cerillos con los que se encendían fuegos. Esta visión práctica de Auer hace ver que disponer fácilmente de energía, es importante, pero también el saber gastarla, sacando el mayor rendimiento posible sin aumentar su consumo.

El recurso de los elementos de las tierras raras ha transformado nuestra sociedad a partir de la década de 1960. Sus elementos son abordables técnicamente al disponer de energía, procedimientos e instalaciones para el aislamiento de esos metales. Tras la labor de Auer hace un siglo, las invenciones sucesivas de los microprocesadores (1971), imanes (1966-1983), Internet (1981) teléfonos móviles (1991) y teléfonos inteligentes (2005) aumentaron la demanda de tierras raras; ellas nos han impulsado hacia una sociedad de alta tecnología.

Los elementos de las tierras raras están, por ejemplo, en los billetes que usan la fluorescencia como medida de seguridad, tal es el caso de los euros; en los teléfonos móviles, en nuestras gafas, si las usamos; en algunas circonitas de joyería; en computadoras, pantallas de televisión y cámaras fotográficas, automóviles, refrigeradores y congeladores, raquetas de tenis y palos de golf, bicicletas (eléctricas o no), luces; fibras ópticas y wifi ...; la tecnología que disfrutamos hoy en día se basa en buena parte en las tierras raras. Después de las Edades del Cobre, Bronce y Hierro podremos decir, por sus aplicaciones, que estamos en la Edad de las Tierras Raras.



¿Cómo llegamos aquí?

Usualmente se considera que la historia de las tierras raras ha seguido tres etapas: una inicial con su descubrimiento (hasta 1947) que fue seguida por su estudio (hasta 1969) para terminar con el desarrollo de aplicaciones (hasta hoy en día) y su introducción en la vida cotidiana. No obstante, los hechos asociables a cada etapa se superponen. Son ejemplo las patentes de Auer o la investigación en marcha de nuevas propiedades fisicoquímicas sobre láseres y magnetismo.

El gran impulso lo recibieron las tierras raras con la invención de los televisores de color en la década de 1960. Ese éxito comercial estuvo ligado a una mayor explotación minera junto con nuevos métodos para la obtención de sus elementos en estado de gran pureza, lo que facilitó la investigación de nuevas propiedades y aplicaciones. A partir de entonces la búsqueda científica surgida a finales del siglo XVIII para entender mejor el mundo que nos rodea con la recompensa de gloria académica u honores científicos se ha convertido en el negocio tecnológico de las aplicaciones, que condicionan mucho la investigación científica centrándola en resultados económicos.

Las propiedades químicas de las tierras raras son muy parecidas, pero no las físicas, lo que explica la especificidad de sus propiedades ópticas y magnéticas. En el mer-

cado de consumo no existe una clasificación uniforme para las aplicaciones de tierras raras y se suelen agrupar siguiendo nueve sectores: baterías, aditivo para vidrios, catalizadores (refinado del petróleo, vehículos), cerámica, imanes, metalurgia (aleaciones...), pigmentos y luminiscentes (láser, iluminación, pantallas LCD...), pulido y otros.

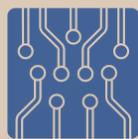
Cálculos estimados para 2020 no difieren de anteriores, por ejemplo, los de 2015. La mitad de la producción se consume para imanes y catálisis. En términos de valor económico, los imanes y luminiscentes generan las mayores ganancias. El consumo de elementos de las tierras raras está dominado por el neodimio (Nd) y praseodimio (Pr), que son ingrediente principal de los imanes, seguido por el lantano (La), cerio (Ce) y terbio (Tb); los demás están por debajo del 2%. Sin embargo, el costo de los diferentes óxidos de estos elementos va ligado a su escasez en los minerales y en la dificultad de separación. El iterbio y el lutecio tienen un precio elevado por su reducida producción. Entre los demás destacan los óxidos de escandio (Sc) y terbio (Tb). Hay que tener en cuenta que los precios varían mensualmente, según el mercado (chino, hindú...), el grado de pureza del óxido o, incluso, el volumen de la compra. Los usos militares merecen un comentario separado por su importancia en los juegos geopolíticos, aunque engloben algunas de las aplicaciones citadas.



MAGNÉTICOS

- Discos duros de ordenador
- Motores de disco duro
- Frenos antibloqueo
- Repuestos para automóviles
- Cojinetes sin fricción
- Refrigeración magnética
- Válvulas de potencia para microondas
- Generación de energía
- Micrófonos y altavoces
- Sistemas de comunicación
- Resonancia magnética

Nd Tb Dy Pr



CERÁMICA

- Condensadores
- sensores
- Colorantes
- Centelladores
- Refractarios

Nd Y Eu Dy Lu Gd La Ce Pr

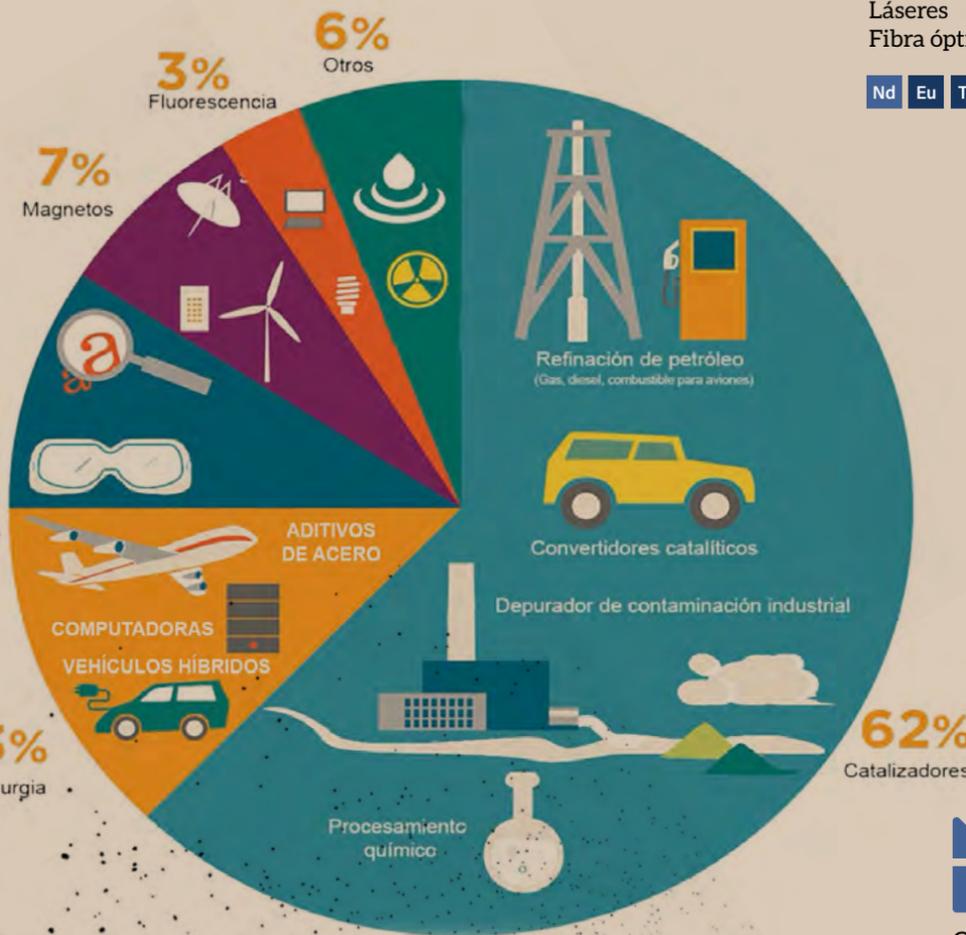


ALEACIONES METÁLICAS

- Baterías de NiMH
- Pilas de combustible
- Acero
- Superalloys

Nd Y La Ce Pr

ALGUNOS USOS DE LOS ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS



FUENTE: United States Geological Survey (2013)
Distribución del consumo de los elementos de las tierras raras según sus aplicaciones



MATERIAL LUMINISCENTE

- Pantallas luminiscentes
- CRT, LPO, LCD
- Flourescentes
- Imagen médica
- Láseres
- Fibra óptica

Nd Eu Tb Y Er Gd Ce Pr



VIDRIO Y PULIDO

- Compuestos para pulido
- Pigmentos y recubrimientos
- Vidrio resistente a los rayos UV
- Vidrio foto-óptico
- Imágenes por rayos X
- Resonancia magnética nuclear

Nd Gd Er Ho La Ce Pr



CATALIZADORES

- Refinación de petróleo
- Convertidor catalítico
- Aditivos para combustibles
- Procesamiento químico
- Control de la contaminación atmosférica

Nd La Ce Pr

Aplicaciones militares

La historia de las tierras raras y el uranio se entrecruzan al aparecer ambos juntos en algunos minerales y que, en ocasiones, los expertos nucleares también intervinieron en el aprovechamiento de las menas de las tierras raras. El proyecto Manhattan para la fabricación de las dos primeras bombas, una de hidrógeno y otra de plutonio, abrió la puerta a una mejor separación de las tierras raras. En ese entorno secreto tres científicos norteamericanos, Jacob Marinsky, Lawrence Glendenin y Charles Coryell, fueron contratados por su experiencia en tierras raras y la similitud de ellas con el uranio y el plutonio, para que investigaran cómo separar isótopos radiactivos.

Según Marinsky, los dos proyectos más interesantes desarrollados en los laboratorios Clinton entre 1944 y 1945 fueron el descubrimiento del elemento prometio (Pm) y la obtención de la fuente radiactiva que necesitaba Robert Oppenheimer para hacer estallar una bomba atómica. Todo lo relacionado con ello era considerado secreto militar por el ejército norteamericano, por lo que el anuncio del descubrimiento se retrasó hasta 1947.

El prometio es el único elemento de las tierras raras que merece la calificación de raro. En toda la corteza terrestre es tan escaso que no llega a sumar un kilogramo; es radiactivo y se desintegra completamente en unos pocos años. El necesario para unas pocas aplicaciones se obtiene artificialmente en reactores nucleares, ya que es uno de los elementos resultantes de la fisión del uranio.

La guerra fría condujo a la búsqueda y desarrollo de sistemas de vigilancia de otros países y a la carrera espacial, lo que impulsó aún más la investigación de las aplicaciones y la demanda de los elementos de las tierras raras. El poder basado en los ejércitos se apoya completamente en el espectro de tecnologías militares que dichos elementos proporcionan. Sin ellos, los países no podrían producir gran parte del equipo necesario para su defensa. Las naciones son reacias a proporcionar información. En los países avanzados se mezcla la investigación científica civil y militar, y se intercambian algunos frutos de las aplicaciones.



DEFENSA
Comunicaciones satelitales
Sistema de guía
Estructuras de aeronaves
Mísiles inteligentes

Nd Eu Tb Dy Y Lu Sm Pr La



Usos y desafíos de las tierras raras en el sector energético y ambiental

Además de todas las aplicaciones citadas, las tierras raras tienen un papel muy importante en las energías renovables y las baterías, lo que las convierte en uno de los pilares de la transición energética. Por ello, actualmente no podemos pensar en la transición energética y cuidado ambiental sin tener en cuenta las tierras raras.

Extracción de las tierras raras y su contaminación

Las tierras raras se extraen de los yacimientos utilizando varias técnicas según el tipo de mineral y la ubicación del yacimiento. Las técnicas más comunes son: Minería a cielo abierto, minería subterránea, perforación, fracking y minería in situ. Una vez que han sido extraídas se someten a los procesos de separación y refinamiento para poder obtener los compuestos y óxidos que se utilizarán en sus distintas aplicaciones. Este proceso de extracción, separación y refinamiento puede generar un impacto negativo en el entorno si no se cumple un riguroso control medioambiental. Véase la contaminación asociada a la extracción de tierras raras:

Agua. Durante el proceso de extracción y procesamiento, se utilizan productos químicos que pueden filtrarse al suelo y llegar a fuentes subterráneas y superficiales, afectando a la calidad del agua. Otros residuos líquidos como los lodos pueden contener elementos tóxicos y metales pesados que presentan un riesgo para la vida acuática y la salud humana.

Suelo. Para extraer las tierras raras, se debe remover una gran cantidad de suelo y roca que implica la destrucción del ecosistema terrestre. Además, los productos químicos anteriormente mencionados pueden filtrarse en el suelo, afectando la capacidad del suelo, los ecosistemas locales y la producción agrícola.

Residuos tóxicos. Los residuos de la extracción de las tierras raras contienen elementos radiactivos, metales pesados y sustancias químicas. De no manejarse estas sustancias correctamente, se puede dañar el ecosistema de la zona.

Gases de efecto invernadero. La extracción y procesamiento tiene un alto consumo energético que genera grandes emisiones de gases de efecto invernadero. Esto ha provocado que muchos países reduzcan su producción de tierras raras y opten por cubrir sus necesidades con la de otras naciones. En el caso de China, principal productor, la regulación medioambiental, menos rígida, supone un mayor peligro para el medio ambiente global.

Principales usos en la producción de energía

Paneles solares fotovoltaicos. Las tierras raras desempeñan un papel clave en la producción de células fotovoltaicas, que son los componentes fundamentales de los paneles solares. Uno de los elementos de tierras raras más utilizados en las células fotovoltaicas es el silicio (Si). Este elemento, dopado con pequeñas cantidades de elementos de tierras raras como el gadolinio (Ga) o el praseodimio (Pr), permite mejorar la eficiencia de absorción de la luz solar.

Turbinas eólicas. En las turbinas eólicas se utilizan imanes de neodimio-hierro-boro (Nd-Fe-B), que contienen elementos de tierras raras, como el neodimio y el disprosio. Estos imanes son fundamentales para la generación de electricidad en turbinas eólicas de alta eficiencia. Los imanes de tierras raras tienen propiedades magnéticas superiores, como una alta coercitividad y una alta temperatura de Curie, lo que permite la generación de campos magnéticos más fuertes y una mayor eficiencia de conversión de energía.

Baterías. Las baterías de iones de litio (Li) son ampliamente utilizadas en una variedad de aplicaciones, desde dispositivos electrónicos portátiles hasta vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía a gran escala. Estas baterías son conocidas por su alta densidad de energía, su larga vida útil y su capacidad de recarga.

Las tierras raras desempeñan un papel clave en la composición de los cátodos y electrolitos de las baterías de iones de litio. Los cátodos de las baterías de iones de litio suelen estar compuestos de óxidos de metales de transición, como cobalto (Co), níquel (Ni) y manganeso (Mn). Las tierras raras, como lantano (La), cerio (Ce) y praseodimio (Pr), se utilizan como aditivos en los cátodos para mejorar la eficiencia de carga y descarga de la batería. Estos aditivos de tierras raras ayudan a estabilizar la estructura del cátodo, mejorar la conductividad

iónica y reducir la degradación de los materiales durante los ciclos de carga y descarga. Como resultado, las baterías de iones de litio que contienen tierras raras pueden tener una mayor capacidad de almacenamiento, una mayor eficiencia energética y una vida útil más larga. Las baterías de níquel-metal hidruro (Ni-MH) son otra tecnología de batería recargable ampliamente utilizada en dispositivos electrónicos, herramientas eléctricas y vehículos híbridos. Estas baterías ofrecen una alternativa más respetuosa con el medio ambiente en comparación con las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd), ya que no contienen materiales tóxicos. Lantano (La) y neodimio (Nd) se utilizan como aditivos en la aleación de hidruro metálico, que actúa como ánodo en la batería. Estos aditivos de tierras raras ayudan a aumentar la capacidad de almacenamiento de hidrógeno en el ánodo, lo que se traduce en una mayor capacidad de la batería y una mayor eficiencia energética. Además, pueden mejorar la resistencia a la corrosión y la estabilidad térmica de la batería de Ni-MH, lo que contribuye a una vida útil más larga y un mejor rendimiento en condiciones adversas.

Vehículos eléctricos. Los imanes permanentes de neodimio-hierro-boro (NdFeB), que contienen elementos de tierras raras como el neodimio, se utilizan en los motores de tracción de los vehículos eléctricos. Estos imanes generan un campo magnético potente y estable, lo que permite una mayor eficiencia y rendimiento del motor. Los motores de tracción de imanes de tierras raras son más compactos, ligeros y eficientes en comparación con los motores convencionales, lo que contribuye a mejorar la autonomía y la eficiencia energética de los vehículos eléctricos. También podemos encontrar tierras raras en los imanes y bobinas de los convertidores de potencia para mejorar la eficiencia y el rendimiento de los sistemas de propulsión de los vehículos eléctricos.

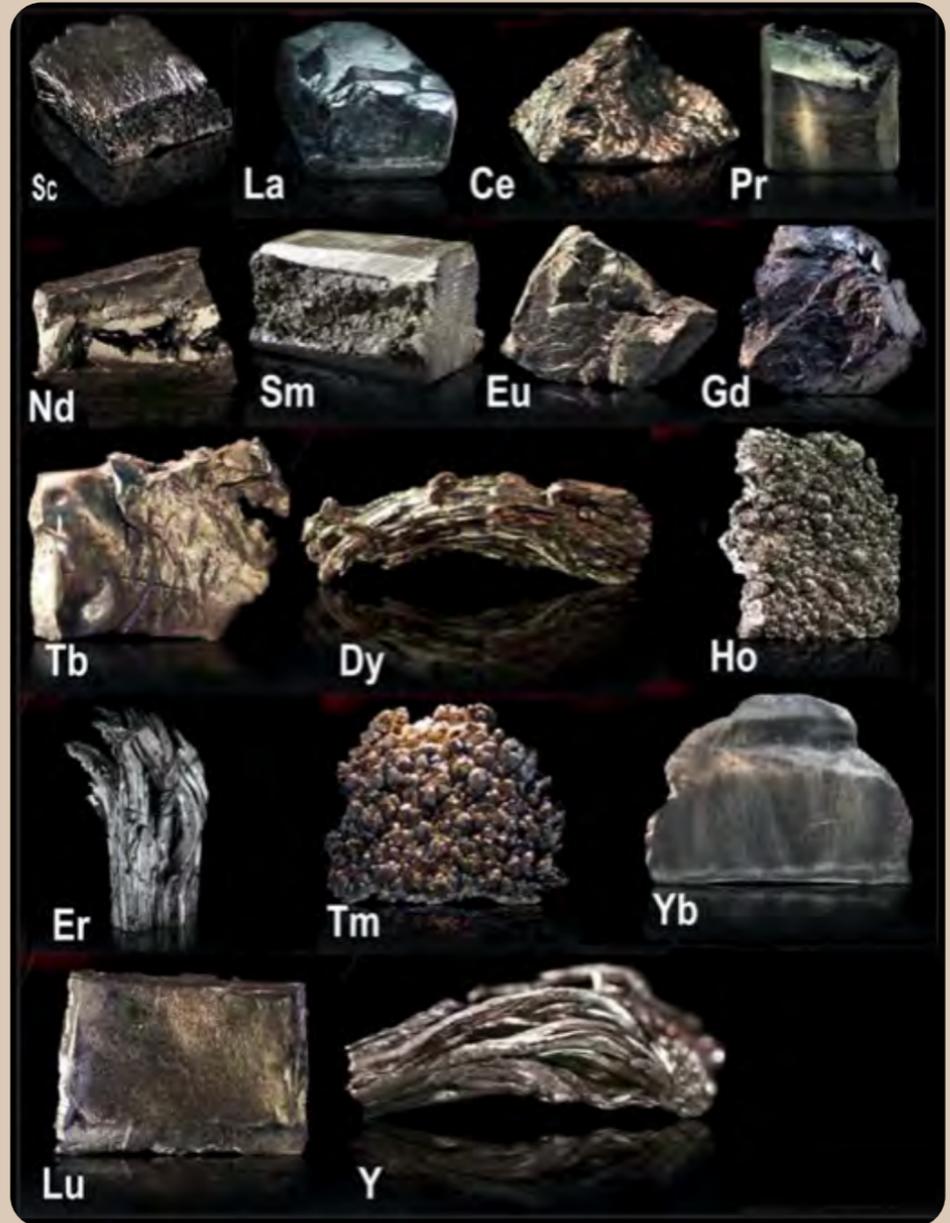


Desafíos de las tierras raras

«Una nación en la cual las ciencias y las artes aplicadas languidezcan será adelantada por las naciones rivales y perderá poco a poco su capacidad de competición; su comercio, su riqueza, pasarán a manos de los extranjeros...». Antoine Lavoisier (1743-1794)

Uno de los principales desafíos es que China es el principal productor y exportador de tierras raras en el mundo, lo que produce una preocupación directa en cuanto a la seguridad de suministro y la volatilidad de los precios. Estas fluctuaciones afectan directamente a la viabilidad de los proyectos renovables y baterías, lo que podría suponer un freno a la transición energética. Estrategia fundamental para garantizar la sostenibilidad de estos elementos químicos es la diversificación de las fuentes de suministro. En lugar de depender en gran medida de un solo país o región, es necesario buscar y desarrollar nuevas fuentes de tierras raras en diferentes partes del mundo. Si la producción se realiza de manera más "local", se puede llevar un mayor control del impacto ambiental que se está ocasionando. Además, el transporte de las tierras raras también implica una huella ambiental significativa.

Actualmente se está promoviendo la investigación y desarrollo de alternativas y sustitutos, tanto en energías renovables como en baterías. Estos otros materiales podrían reducir la dependencia que existe actualmente, e incluso disminuir el impacto en la naturaleza. Reciclaje y reutilización son esenciales para reducir el impacto y la dependencia.



Reserva Global de tierras raras

Año 2022

En millones de toneladas métricas



Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos

Lully Luis Reyes-eDinero

Tabla 2. Principales aplicaciones de los elementos de las tierras raras.

ESCANDIO

Agente de rastreo en refinerías de petróleo, aditivo en lámparas de halogenuros, aumentar la dureza del aluminio (bicicletas, raquetas, palos de golf...), aleaciones de metales en la industria aeroespacial.

ITRIO

Bombillas de bajo consumo, cerámica, aleaciones metálicas, láseres cortadura, mejora eficiencia de combustibles, comunicación por microondas, pantallas LCD, sensores de temperatura.

LANTANO

Electrodos para baterías recargables, catalizadores para el refinado de petróleo, baterías vehículos eléctricos, lentes de cámaras digitales de alta tecnología, cámaras de video, baterías de portátiles, películas de rayos X, láseres.

CERIO

Catalizador en refinerías de petróleo, piedras de mechero, electrodos para baterías recargables, colorante cerámico, aditivo diésel para catalizar descomposición de humos, filtros UV, aleaciones metálicas, abrillantadores de lentes (vidrio, placas frontales de televisión, espejos, vidrio óptico, microprocesadores de silicio y unidades de disco).

PRASEODIMIO

Láseres, motores eléctricos (v.g., aerogeneradores, vehículos, drones), aditivo en los cristales de las gafas de soldadura, aumentar la resistencia a la corrosión del imán, pigmento en vidrios y esmaltes, reflectores, lentes de señales de aeropuerto, filtros fotográficos.

NEODIMIO

Motores eléctricos (v.g., aerogeneradores, vehículos, drones, por ejemplo), aditivo en los cristales (gafas de soldadura, faros coches, por ejemplo), condensadores de cerámica, electrodos para baterías recargables, aparatos de resonancia magnética para hospitales, imanes de alta potencia para portátiles, láseres, catalizadores de fracking de fluidos.

PROMETIO

Pinturas fosforescentes, baterías nucleares, fuente de radiación beta, fuente radioactiva para instrumentos de medición de espesores.

SAMARIO

Láseres, imanes de alta temperatura, varillas de control de reactores nucleares.

EUROPIO

Láseres, autenticar billetes, pantallas de cristal líquido (LCD), iluminación fluorescente, aditivo para vidrio.

GADOLINIO

Memorias de ordenadores, láseres para cortar acero, tubos de rayos X, agente de contraste para resonancias magnéticas en hospitales, aditivo para vidrio.

TERBIO

Láseres, lámparas fluorescentes, aditivo en imanes de neodimio, iluminación y pantallas, sistemas de guía y control.

DISPROSIO

Discos duros en informática, aditivo en imanes de neodimio, láseres.

HOLMIO

Láseres, los más poderosos imanes fabricados, aparatos de resonancia magnética para hospitales.

ERBIO

Láseres, paneles solares, mantenimiento de la señal en fibras ópticas, colorante en vidrios.

TULIO

Láseres, aparatos radiografía de rayos X (v.g., clínicas dentales), imanes de alta potencia.

ITERBIO

Tecnología de fibra óptica, paneles solares, aleaciones (acero inoxidable), fuente de radiación para equipos portátiles de rayos X, láseres (cortar metales y plásticos duros), bengalas.

LUTECIO

Bombillas led, vidrios con altos índices de refracción, pantallas de rayos X, catalizador en refinerías de petróleo para producir gasolina y diésel.

GABRIELA PÉREZ AGUIRRE

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



*leyendas de la ciencia
contemporánea*

FRED SANGER:

DOS VECES NOBEL, DOS VECES AFORTUNADO

CARLOS CHIMAL

Conocí a Frederick Sanger, gigante de la genética temprana, padre de la genómica, en Cambridge, donde realizó las investigaciones que lo llevaron al Nobel no una, sino dos veces.

¿Qué es lo que más le ha satisfecho al hacer ciencia?, le pregunté mientras almorzábamos.

“Pensar no me cuesta trabajo, me convierto en una rana saltarina, pero si se trata de hablar, soy una tortuga fuera del agua. Prefiero realizar, concretar lo que mi cabeza me ha permitido discurrir. Eso me produce una gran satisfacción”.

Espigado, de estatura regular, tenía esa mirada de las personas diligentes, mesuradas, astutas. Cuáquero pacifista, fue objetor de conciencia durante la Segunda Guerra Mundial, pero cumplió con su deber humanitario conduciendo ambulancias, al mismo tiempo que continuaba sus estudios de doctorado.

Su genuina modestia lo llevó a rechazar el título de Caballero del Imperio Británico, distinción que se otorga gracias a alguna aportación significativa en favor de la sociedad, aunque él aseguraba no haber tomado semejante decisión por argumentos similares a los que lo llevaron a no pelear en la guerra, sino porque le molestaba la idea de que ya no lo llamaran Fred, ahora sería “Sir Frederick”, inaceptable. Me miró, arqueó sus cejas, movió su larga nariz y sonrió mientras alzaba los hombros.

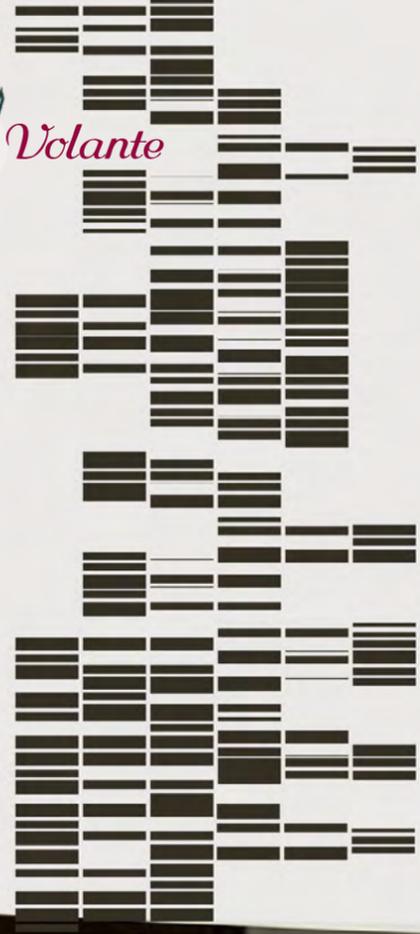
Caminé por el Pasaje de Todos los Santos hasta la calle de St. John. Me acerqué al colegio del mismo nombre, donde Fred me había citado, pues, según me dijo más tarde, le traía buenos recuerdos regresar de vez en cuando a la escuela en la que inició sus trabajos en bioquímica. Luego se mudó al célebre Medical Research Council (MRC), semillero de premios Nobel. Fred es parte del pequeño grupo de personas que han obtenido dicho galardón dos veces. Marie Curie, Linus Pauling, John Bardeen y Barry Sharpless son los otros cuatro.

“Nací en el seno de una familia cuáquera, rama del cristianismo que se distingue por su austeridad”, me dijo. “Mi padre, médico, venía de una familia de ricos industriales. Cuando inicié mis estudios en Cambridge quedé huérfano. Por fortuna mi herencia me permitió inscribirme en

los programas doctorales del Instituto Dunn de Bioquímica, disciplina que por entonces era muy socorrida”.

Al concluir su doctorado, Fred fue aceptado en el Departamento de Bioquímica de la Universidad de Cambridge. Fue allí donde ideó una manera de determinar la estructura aminoacídica de la insulina. El método consistía en degradar dicha molécula en fragmentos y transferirlos a un papel vegetal. Enseguida aplicaba una corriente eléctrica, lo cual obligaba a los diferentes fragmentos a desplazarse hacia un lado del papel. Esto le permitió deducir la secuencia de la insulina. El descubrimiento de la estructura aminoacídica de esta molécula crucial le valió el Nobel de Química, en 1958. Consiguió precisar la secuencia que siguen los bloques fundamentales para formar esa y no otra molécula.





“Elegí este compuesto biológico por obvias razones médicas, pero también porque resultaba fácil adquirirlo en la farmacia de la esquina, incluso en 1943”, aseguró Fred.

Al cabo de un poco más de una década de investigación meticulosa encontró la solución. Tres años después ganó el premio de la Academia Sueca de Ciencias. Sin embargo, esto no significó el fin de su carrera.

“Una noticia de esa magnitud puede conmocionarte, confundirte, hacerte sentir acabado”, afirmó, “yo pensé que, luego de la incredulidad y el júbilo, había que situarse como si estuvieras enfrentando un revés. No debía quedarme lamentando, es decir, festejando, sino buscar otro tema de investigación que me alejara de la postración complaciente”.

Y lo encontró en la década de 1970.

Usted estaba rodeado de genios estudiando el ADN y su expresión genética: Francis Crick, Aaron Klug, Max F. Perutz, James Watson, le dije.

“Aun así, el gran desafío era encontrar el orden correcto de las bases Adenina, Citosina, Guanina y Timina”, contestó.

Fred desarrolló uno de los primeros métodos de secuenciación del ADN. A lo largo de quince años, junto con sus colaboradores inventó un primer método para secuenciar ADN. Hoy esta técnica se conoce como método de Sanger o método de secuenciación de didesoxinucleótidos.





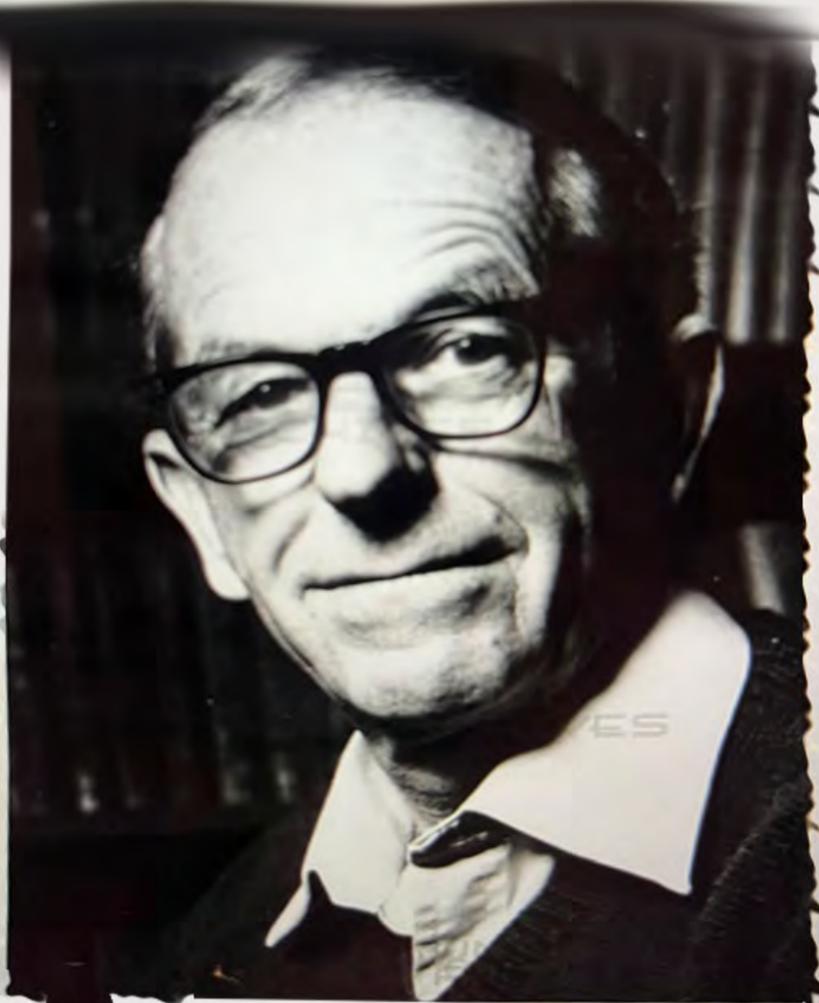
El trabajo de Fred fue esclarecedor, una verdadera hazaña, pues permitió obtener por primera vez la secuencia entera de un genoma. En 1980 volvió a ganar el Nobel de Química precisamente por el desarrollo de la secuenciación de didesoxinucleótidos, así como por su trabajo con el bacteriófago mencionado. Este premio lo compartió con los norteamericanos Walter Gilbert y Paul Berg.

“Me serví de este método para determinar el genoma del fago Phi-X174”, aseguró.

Dicho microvirus (Familia *Microviridae*) posee un genoma circular de ADN de tan solo 5,386 bases. En este minúsculo genoma se codifican once genes. Lo más sorprendente es que ocho de ellos están empalmados en, por lo menos, una base. En particular, los genes E, K, A* y B están codificados en su totalidad en empalme con otros genes, según nos cuenta el genetista evolutivo de la Unidad Irapuato (Cinvestav), Luis José Delaye Arredondo, en la revista *Avance y Perspectiva* de dicha institución (30 de noviembre de 2021).

El trabajo de Fred fue esclarecedor, una verdadera hazaña, pues permitió obtener por primera vez la secuencia entera de un genoma. En 1980 volvió a ganar el Nobel de Química precisamente por el desarrollo de la secuenciación de didesoxinucleótidos, así como por su trabajo con el bacteriófago mencionado. Este premio lo compartió con los norteamericanos Walter Gilbert y Paul Berg.





A los 65 años de edad dejó la investigación para dedicarse a cultivar rosas en el jardín de su casa de Cambridge hasta su deceso, el 19 de noviembre de 2013, aunque siempre estuvo dispuesto a guiar a los jóvenes entusiastas y creativos que se acercaron a él. Algunos también ganaron el Nobel.

Gracias a semejante labor secuencial, más la aparición de las PCR, se abrió la posibilidad iniciar el Proyecto del Genoma Humano una década después. De hecho, su método se sigue empleando hoy en día, si bien perfeccionado debido a recientes descubrimientos. Por sus hallazgos trascendentales al estudiar los tres polímeros de la vida (las proteínas, el ARN y el ADN) puede considerarse el químico más importante del siglo XX.

Pocos días después de este primer encuentro fue inaugurado el Instituto Sanger, dedicado a la investigación en genómica, patrocinado por Wellcome Trust. El 4 de octubre de 1993 fue, sin duda, un día muy especial para él, me confesó en otra ocasión. Me había citado esta vez en el MRC, en cuya entrada se exhibía un modelo a gran escala de la doble hélice en espiral del ADN.

Al pasar por ahí Fred me contó que, no hacía mucho tiempo, las autoridades de la ciudad realizaron una ceremonia en el porche de la casa de James Watson, en Cambridge, con objeto de develar una réplica de la misma hélice, ¡solo que la espiral giraba hacia la izquierda, mientras que en la realidad lo hace hacia la derecha! ¿Rumor o verdad? La cosa es que la pieza de metal fue retirada meses más tarde.

“Las cosas eran más fáciles en aquellos días”, me confesó, refiriéndose a los años sencillos del siglo pasado.

“Solo tenía que ir a ver al secretario ejecutivo del MRC y platicarle brevemente el caso. Él respondía: ‘¿por qué no lo contratamos?’. Y eso era todo, nada de paneles, árbitros, sistemas de evaluación sobre el desempeño académico ni entrevistas, ni tampoco interminables reportes. Apenas unos cuantos con criterio y poder de decidir”.

Desde luego, Fred sabía bien que eso en esta época de sofisticada ingeniería burocrática sería impensable. La población en las áreas de la bioquímica ha crecido, si bien no como en la física de altas energías, por ejemplo, aun así el número de doctorandos es abundante y los filtros deben aplicarse con rigor.

A los 65 años de edad dejó la investigación para dedicarse a cultivar rosas en el jardín de su casa de Cambridge hasta su deceso, el 19 de noviembre de 2013, aunque siempre estuvo dispuesto a guiar a los jóvenes entusiastas y creativos que se acercaron a él. Algunos también ganaron el Nobel.



A PARTIR DE ADRIAN PIPER, *AUTORRETRATO A LA EDAD DE 5 CON MUÑECA* (1966). ILUSTRACIONES DE ANA C. LANDA

Mercurio  Volante
SUPLEMENTO DE
hipócritalector

SUPLEMENTO
MERCURIO VOLANTE

CARLOS CHIMAL
EDITOR

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

JOSÉ GORDON
GERARDO HERRERA CORRAL
ROALD HOFFMANN
EUSEBIO JUARISTI
PIOTR KIELANOWSKI
JUAN LATAPÍ ORTEGA
CARMEN LEÑERO
ELÍAS MANJARREZ
ARTURO MENCHACA ROCHA
MAURICIO MONTIEL FIGUEIRAS
CARLOS NARANJO CASTAÑEDA
CELINA PEÑA GUZMÁN
GABRIELA PÉREZ AGUIRRE
OCTAVIO PLAISANT ZENDEJAS
ROSALÍA PONTEVEDRA
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.