



Recuperación de la biota después de la extinción masiva Cretácico-Paleoceno

Cuando hablamos de los sucesos que tuvieron lugar a lo largo de la historia del planeta y de la suerte corrida por el conjunto de sus seres vivos o *biota*, medimos normalmente el tiempo en millones de años (Ma). Así, decimos que la Tierra se originó hace unos 4600Ma, y que la vida hizo su aparición en ella hace unos 3800Ma. El prolongado lapso de la historia de la vida está retratado en forma discontinua en yacimientos fosilíferos que, como fotos tomadas cada tantos millones de años en distintos puntos del planeta, nos permiten en cierta medida hilvanar un relato continuo.

Entre los orígenes de la Tierra y el presente se sucedieron numerosos cambios, tanto geológicos como biológicos. Los cambios más importantes en la biota se dieron durante y luego de las *extinciones masivas*, fenómenos que producen la desaparición de gran cantidad de

especies y alteraciones drásticas de los ecosistemas. El más reciente de esos cataclismos se produjo hace unos 66Ma y se llama la *extinción Cretácico-Paleoceno*, habitualmente simbolizada por K-P, famosa por haber traído aparejada la desaparición de los dinosaurios -junto con aproximadamente el 75% de la vida del planeta-. (La era cretácica se extendió entre hace 145 y 66Ma; la época llamada Paleoceno, entre hace 66 y 56Ma.)

No es frecuente encontrar yacimientos que contengan fósiles de fechas próximas (en la escala del tiempo geológico) a una extinción masiva, o que reflejen la situación durante los primeros millones de años luego de haber acaecido una. Un descubrimiento excepcional de este tipo fue recientemente publicado en la revista *Science* por un grupo de investigadores estadounidenses de distintas instituciones que estudiaron una

secuencia de rocas de aproximadamente 250m de espesor. Esta está situada en un extenso afloramiento que incluye un área recreativa llamada Corral Bluffs, en el estado norteamericano de Colorado, a unos 100km al sur de Denver, su capital, y a unos 25km al este de las primeras estribaciones de las montañas Rocallosas.

Los integrantes de grupo hallaron numerosos restos de vertebrados y de plantas que registran, de forma casi continua, los últimos cien mil años de la era cretácica y el primer millón de años del Paleoceno. La antigüedad de las rocas fue datada con precisión mediante distintos métodos, entre ellos biozonificación, magnetismo, fechado radiométrico y polen fósil, y brindó una oportunidad sin precedentes para estudiar la recuperación de la biota luego de la extinción en un ecosistema terrestre.



Izquierda. Ian Miller (izq.) y Tyler Lyson, del Denver Museum of Nature and Science, dos de los autores del artículo de *Science*, en Corral Bluffs. **Derecha.** Interpretación del aspecto que habría tenido el mamífero *Loxolophus*, de unos 50-70cm de largo (el tamaño de un osito lavador actual), buscando alimento en los posibles bosques aparecidos dentro de los 300.000 años posteriores a la extinción K-P.


Los paleontólogos encontraron en Corral Bluffs una gran variedad de granos de polen, semillas, hojas, raíces y troncos de distintas especies de plantas. A partir de ellos, determinaron que en el Paleoceno la diversidad de plantas con flores era menos que la mitad de la de fines del Cretácico, y que el 46% de las hojas cretácicas no estaban presentes en el Paleoceno. Por otro lado, en este último registraron por primera vez la familia de las legumbres, constataron que la familia de las juglandáceas (a la que pertenecen los nogales) se había diversificado y que sus especies pasaron de tener semillas pequeñas y aladas esparcidas por el viento a semillas de mayor tamaño y sin alas, que habrían sido diseminadas por animales.

Entre los vertebrados, descubrieron gran variedad de mamíferos, tortugas y

cocodrilos, muy completos y bien preservados. El nivel excepcional de detalle temporal los llevó a reconocer que, por ejemplo, muchos mamíferos habían modificado su dieta omnívora a herbívora, lo que se vio favorecido por un aumento de la flora que incluyó, por ejemplo, muchas nuevas especies de juglandáceas. Además, en el límite K-P desaparecieron los mamíferos de gran tamaño, los que reaparecieron unos cien mil años más tarde y aumentaron luego de talla en dos períodos, a los 300.000 y a los 700.000 años después de la extinción K-P.

Los cambios en la biota estuvieron fuertemente relacionados con cambios climáticos. El cálculo de la temperatura media anual realizado estudiando las hojas fósiles puso en evidencia un enfriamiento de 4,6°C durante los últimos

100.000 años del Cretácico, y luego un aumento de 5,1°C a lo largo de los primeros 60.000 años del Paleoceno, a lo cual siguieron otros dos episodios de calentamiento, el último 700.000 años después del límite K-P.

Este registro detallado de la recuperación de la biota luego de una extinción masiva provee un marco de trabajo adecuado para predecir posibles recuperaciones de los ecosistemas luego de otras extinciones masivas, como aquella que, según los autores, ya comenzó en la actualidad. 

Daniela P Ruiz

druiz@macn.gov.ar

Más información en LYSON *et al.*, 2019, 'Exceptional continental record of biotic recovery after the Cretaceous-Paleogene mass extinction', *Science*, 366: 977-983.

Una química con conciencia ambiental

El químico estadounidense Linus Pauling (1901-1994) fue premiado en 1954 con el Nobel de esa disciplina por sus descubrimientos sobre la naturaleza de las uniones químicas, y en 1962 con el Nobel de la paz por su oposición a las armas de destrucción masiva. Pauling fue un ejemplo de científico que desmiente la difundida caricatura del investigador ensimismado en las cuestiones de su laboratorio e insensible a la realidad social. En el mismo sentido, la revista *Science*, al presentar en un reciente número una sección dedicada a la 'Química para la Tierra de mañana', señala que 'el actual sistema de producción, distribución y eliminación [de compuestos sintéticos] en muchos casos causa daño al ambiente y la salud humana', y discute cómo avanzar hacia una química que

ayude a asegurar la sustentabilidad de la vida en nuestro planeta.

Desde la Revolución Industrial, la ciencia de las moléculas y sus transformaciones ha acompañado -o iniciado- muchos cambios económicos y sociales, como el nacimiento de la industria de las anilinas, impulsado por el primer colorante orgánico sintético, la malveína, que describe un artículo de este número. Históricamente, la producción de compuestos químicos para un fin específico, sean tinturas, medicamentos, fertilizantes o herbicidas, estaba orientada a lograr máxima funcionalidad con mínimo costo, sin pensar demasiado en consecuencias adversas como daño ambiental. Pero de algunos años a esta parte, entre los desafíos de la química está el de lograr mínima toxicidad y



persistencia en el ambiente de los compuestos que inventa, con el propósito de cuidar no solo la salud humana sino también los ecosistemas. El concepto de riesgo químico se expandió hoy para tomar en cuenta la combinación de peligro y de exposición, por lo que un producto de baja toxicidad, pero persistente en el ambiente, ya no es aceptable. Y en materia de subproductos no



buscados de la industria química, el desafío actual es evitar, reciclándolos, que se conviertan en desechos, así como minimizarlos en forma sistemática, con una visión global de la salud del planeta y sus habitantes.

En esta era en que entendemos cada vez mejor la influencia de los genes sobre nuestra salud, todavía tenemos poco clara la relación entre compuestos químicos en el ambiente y enfermedad. La generación de nuevas sustancias incrementa el amplio conjunto de compuestos al que estamos expuestos que puede alterar nuestra biología y la de otros seres vivos. El farmacólogo y epidemiólogo británico Christopher P Wild, ex director de la Agencia Internacional para Investigación de Cáncer (IARC), llamó a ese conjunto *exposoma*. ¿Qué hace tan difícil comprender su influencia en nuestra salud? En primer lugar, su variedad, que aumenta con cada componente nuevo. En segundo lugar, el hecho de que las sustancias que lo conforman interactúan, por lo que un análisis particular de los efectos de cada una no refleja el resultado de la exposición al conjunto. Finalmente, que no todos los componentes guardan la misma proporción en el espacio y el tiempo. Pero si los

estudios para caracterizar el exposoma son complejos, dos importantes factores favorecen que la ciencia pueda encararlos: que reconozca el problema y su alcance, y dispone de nuevas técnicas para abordarlo.

Un estudio dado a conocer en 2010, realizado por investigadores de la Universidad Stanford, analizó la influencia de 543 factores ambientales en la diabetes tipo 2, e identificó cinco, entre ellos pesticidas y contaminantes orgánicos persistentes, como claramente asociados con el desarrollo de la enfermedad. También el medio industrial ha tomado conciencia de los problemas ambientales. Por ejemplo, la firma Sherwin-Williams, conocida por vender pintura pero también activa en otras áreas industriales, promovió en 2015 una investigación para encontrar un material con el que sustituir el bisfenol A o BPA ($C_{15}H_{16}O_2$). Este fue creado en 1891 y era usado, entre otras muchas cosas, para revestir el interior de latas de bebidas gaseosas. Ello se debió a que cierta evidencia hizo suponer que tendría efectos negativos sobre la salud de los consumidores.

La química de hoy, como muchas otras disciplinas, se ve crecientemente comprometida en situaciones cuyas con-

secuencias van más allá del laboratorio académico, de la misma manera que las decisiones de la industria tienen repercusiones que exceden a su ámbito. Viene al caso aquí una de las citas más conocidas de Linus Pauling, con quien comenzamos esta nota y a quien consideramos adecuado para terminarla: 'Todo aspecto del mundo de hoy, aun la política y las relaciones internacionales, se ve afectado por la química'. Tal influencia, sin embargo, es mutua: la conciencia ambiental que actualmente caracteriza a la sociedad también ha llegado a esta disciplina. Bienvenida sea. **CH**

Karina V Mariño
kvmarino2017@gmail.com

Más información en 'Chemistry for tomorrow's Earth', *Science*, 367, 6476, 24 de enero de 2020; en WILD CP, 2005, 'Complementing the genome with an exposome: The outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology', *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 14, 8: 1847-1850, DOI 10.1158/1055-9965; en PATEL CJ, BHATTACHARYA J & BUTTE AJ, 2010, *PLoS One*, 3, 5: e10746, accesible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873978/>, y en CORNWALL W, 'To replace controversial plastic additive BPA, a chemical company teams up with unlikely allies', *Science*, 367, 6476, 24 de enero de 2020, DOI 10.1126/science.aba.9956.

¿Por qué en el universo hay más materia que antimateria?

Los científicos se hacen esta pregunta desde que en 1928 el físico inglés Paul Dirac (1902-1984), que en 1933 recibiría el premio Nobel de esa disciplina, predijo en forma teórica la existencia de la antimateria. Había relacionado la teoría de la relatividad de Albert Einstein (1879-1955) con ecuaciones de la mecánica cuántica, recién formuladas, y advertido que obtenía el mismo resultado

si postulaba que los electrones tenían carga eléctrica negativa como positiva, si bien en la realidad la tienen negativa. En 1932, Carl D Anderson (1905-1991), un físico norteamericano, descubrió en forma experimental en el Instituto de Tecnología de California (Caltech) la existencia de *positrones*, que tienen carga eléctrica positiva y son las antipartículas de los electrones. Recibió el

premio Nobel de física de 1936 por ese descubrimiento. Desde entonces, la antimateria ha estado con nosotros.

Sin embargo, no abunda en la naturaleza; cuando aparece, se aniquila con su contraparte de materia y quedan como resultado un par de fotones con la energía equivalente a la suma de las masas de ambas partículas desaparecidas, de acuerdo con la famosa equiva-

lencia de Einstein entre masa y energía ($E = mc^2$). Por otro lado, nuestro modelo matemático básico de la física de partículas, llamado *modelo estándar de partículas elementales*, contiene una antipartícula para cada partícula.

Lo anterior refleja el comportamiento de la materia en la Tierra, pero ¿qué pasa en el resto del universo? Cuando instantes después del Big Bang, hace unos 13.800 millones de años, el universo comenzó a expandirse, era muy denso y caliente, y bullía con pares de partículas-antipartículas que se formaban y aniquilaban entre sí. Si solo hubiese habido partículas y antipartículas que aparecían y se destruían, hoy nosotros no estaríamos aquí para ver qué resultó. Pero acaeció que una partícula de cada mil millones sobrevivió. Esas partículas sobrevivientes formaron la materia que existe hoy y de la que estamos hechos.

Por medio de experimentos se ha constatado que las leyes de la naturaleza no son iguales para partículas que para antipartículas. Hay algo que, en el proceso de aparición y aniquilación de los pares partícula-antipartícula, favorece la supervivencia de las partículas más que la de las antipartículas. Como consecuencia, cada elemento de la tierra, del agua y del aire, y todos los seres vivos, están constituidos por partículas y no por antipartículas.

Se han buscado antipartículas en otras regiones del universo, por si existiesen aglomeraciones de antimateria separadas de las de materia. La búsqueda se hace en toda la esfera celeste con la esperanza de detectar regiones donde abunden dichas aniquilaciones de pares, lo que podría indicar que se está cruzando a una región de antimateria. Sin embargo, nada de ello se ha detectado. O sea, el universo parece estar hecho casi completamente de materia.

Esa absoluta dominancia de materia podría explicarse si se advirtiera una violación de una propiedad de la naturaleza llamada *simetría de carga-paridad-tiempo* o *simetría CPT*. Esto significa que, si a una partícula del modelo estándar le suce-


diera un cambio de carga, se le invirtiera la paridad (lo que era izquierda pasara a derecha y viceversa) y se le cambiara el sentido de su evolución en el tiempo, el resultado sería una antipartícula. Si la simetría fuese exacta, la física de partículas y antipartículas sería idéntica. Pero si verificáramos que durante el Big Bang hubo una violación minúscula de ella, tendríamos una explicación de por qué en el universo casi no hay antimateria.

Un lugar adecuado para buscar violaciones de simetría es el más simple de los átomos, el de hidrógeno. Las propiedades del hidrógeno se pueden, además, calcular con una precisión impresionante. Durante más de un siglo, su estudio produjo ideas innovadoras sobre la estructura de la materia. El espectro óptico del hidrógeno se midió con gran precisión en la década de 1880, antes de que se lo explicara cuantitativamente en la de 1910. La estructura del átomo estaba entonces en el corazón de la formulación de la mecánica cuántica, y también estuvo en la generalización de esa teoría a las partículas relativistas en la década de 1920. El descubrimiento inesperado de una pequeña diferencia de energía entre los estados excitados del átomo de hidrógeno, hecho en 1947 por el físico estadounidense Willis Lamb (1913-2008), por el cual obtuvo el premio Nobel de 1955, motivó la formulación de la electrodinámica cuántica, una teoría que describe las interacciones entre partículas y luz, la que para muchos físicos es la mejor teoría que tenemos.

La diferencia mencionada, por lo común llamada *corrimiento de Lamb* (*Lamb shift*), se constata tanto para el hidrógeno como para el *antihidrógeno*. (Así como un átomo de hidrógeno se compone de un protón y un electrón, las antipartículas de estos -un antiprotón y un positrón- forman un átomo de antihidrógeno.) Dicha diferencia obedece, principalmente, a las *fluctuaciones cuánticas*, que son pares de partículas-antipartículas aparecidos espontáneamente en el espacio vacío y luego aniquilados. Sin embargo, la magnitud de la diferen-

cia de energía entre los estados excitados del átomo de hidrógeno se ve sutilmente afectada por fenómenos como la fuerza nuclear débil, el radio de carga de protón o antiprotón y otros actualmente desconocidos que podrían ser la fuente de la asimetría de materia-antimateria en el universo. Por ello, medir el corrimiento de Lamb en un átomo de antimateria es muy relevante.

En un reciente artículo aparecido en la revista *Nature*, un grupo de científicos de varios países que trabajan en el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN), denominado 'Colaboración ALPHA', dio a conocer las mediciones de precisión que realizó de un átomo de antihidrógeno, en particular de los niveles de energía del positrón. De encontrarse pequeñas diferencias entre lo constatado en un átomo de hidrógeno y uno de antihidrógeno, se comenzaría a entender cómo y cuánto se viola la simetría CPT.

Eso no sucedió: los niveles de energía medidos en el átomo de antihidrógeno estuvieron muy de acuerdo con los del hidrógeno. En otras palabras, los resultados de mediciones realizadas con la misma precisión de un átomo de materia no difieren de los similares de la correspondiente antimateria. Este resultado experimental, fruto de un gran esfuerzo científico, marca límites bastante estrictos a la violación de la simetría CPT y sugiere buscar otras razones que puedan explicar la diferencia entre cantidad de materia y de antimateria. Una puerta que se cierra no es una investigación fracasada: es un conocimiento valioso para buscar las otras puertas que puedan abrirse. Sabemos ahora más que antes, pero no lo suficiente para responder la pregunta que titula esta nota. 

Aníbal Gattone
anibal.gattone@gmail.com

Más información en ALPHA Collaboration (Ahmadi M et al.), 2020, 'Investigation of the fine structure of antihydrogen', *Nature*, 578: 375-380. Accesible en <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2006-5>.