

Karina Elizabeth Cervantes de la Cruz

Meteoritos: portadores de los ingredientes de la vida

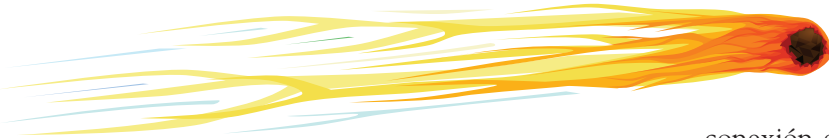
Hace apenas dos siglos que un joven científico francés, Jean-Baptiste Biot, aportó la primera evidencia de que los meteoritos tenían un origen extraterrestre, que podían venir de asteroides o de otros cuerpos celestes. Fue hasta 2006 que la misión Hayabusa confirmó esa hipótesis cuando regresó con muestras del asteroide Itokawa, idénticas a los meteoritos llamados condritas. Las condritas son clave para entender los bloques que dieron origen a la Tierra y a la vida.

La fundación de la meteorítica

Los meteoritos son rocas que caen sobre la superficie de nuestra Tierra, haciendo una entrada triunfal y espectacular. La fragmentación de los asteroides y meteoroides que entran a la atmósfera produce una serie de luces de colores, estelas de polvo y grandes estruendos que anuncian su llegada a la superficie. Los asteroides son rocas de más de un metro de diámetro, que orbitan alrededor del Sol y que provienen principalmente del cinturón de asteroides, mientras que los meteoroides también son rocas viajeras, pero con un tamaño menor a un metro. Cuando un evento meteorítico ocurre, las redes sociales estallan y quien presenció el evento, o lo grabó, no tarda en compartirlo. Los comentarios de todo

tipo no se hacen esperar, desde memes que anuncian la llegada de Superman, hasta quienes dicen lo que realmente pudo haber ocurrido. La

conexión entre fragmentos de asteroides o de superficies planetarias con los meteoritos es ahora la explicación más lógica para este fenómeno. Sin embargo, fue hasta finales del siglo XVIII cuando Ernst Chladni reunió evidencias suficientes para proponer que los meteoritos eran realmente rocas extraterrestres; pero no le creyeron. A inicios del siglo XIX Jean-Baptiste Biot constató que el meteorito de la provincia francesa de L'Aigle era una roca que había caído del cielo, así que en 1803 se funda una nueva ciencia conocida como *meteorítica*.





La condrita Alais, 1806

Pasaron varios años antes de comprobar que los ingredientes básicos para la vida estaban contenidos en los meteoritos. Dichos ingredientes son: carbono, oxígeno, hidrógeno, azufre y fósforo. De acuerdo con la investigación histórica de Ursula Marvin, fue una tarde de 1806 cuando en la comunidad francesa de Saint-Étienne-de-l'Olm, una familia de granjeros escuchó unas estruendosas detonaciones y presenciaron el bombardeo de unos pedruscos sobre un campo de cultivo. La roca no contenía las esferas milimétricas características de las condritas, las cuales representan el 86% de los meteoritos que se ven caer, aunque 98 años después se darían cuenta de que la composición química guardaba similitud con lo que hoy conocemos como condritas carbonosas de tipo Ivuna o condritas CI (véase la Figura 1). Lo que sí, en 1806 el profesor de química del Collège de France, Louis Jacques Thénard (1777-1857), se dio cuenta de que el meteorito contenía alrededor de 2.5% en peso de carbono. Ésta fue la primera vez que se describió la presencia de carbono presunta-

mente extraterrestre y de minerales hidratados como las arcillas en un fragmento de cuerpo celeste caído sobre la Tierra. Sin embargo, la cromatografía de gases –que es una de las técnicas analíticas que permiten una caracterización más amplia de algunos compuestos orgánicos importantes como los aminoácidos– se estableció hasta 1955, fecha antes de la cual no se disponía de evidencia acerca de la presencia de compuestos orgánicos en meteoritos, más que nada porque el desarrollo analítico y los protocolos de cuartos ultralimpios para manipular el material aún no estaban disponibles. Así que, ¿cómo asegurar que la presencia de material orgánico no haya sido resultado de contaminación terrestre?

Condrita Murchison (el primer estudio de aminoácidos)

Los conocedores inmediatamente identificaron un olor similar al del alcohol metílico, después de ver una luz intensa que terminó en una nube alargada de polvo y de escuchar tres detonaciones que hicieron

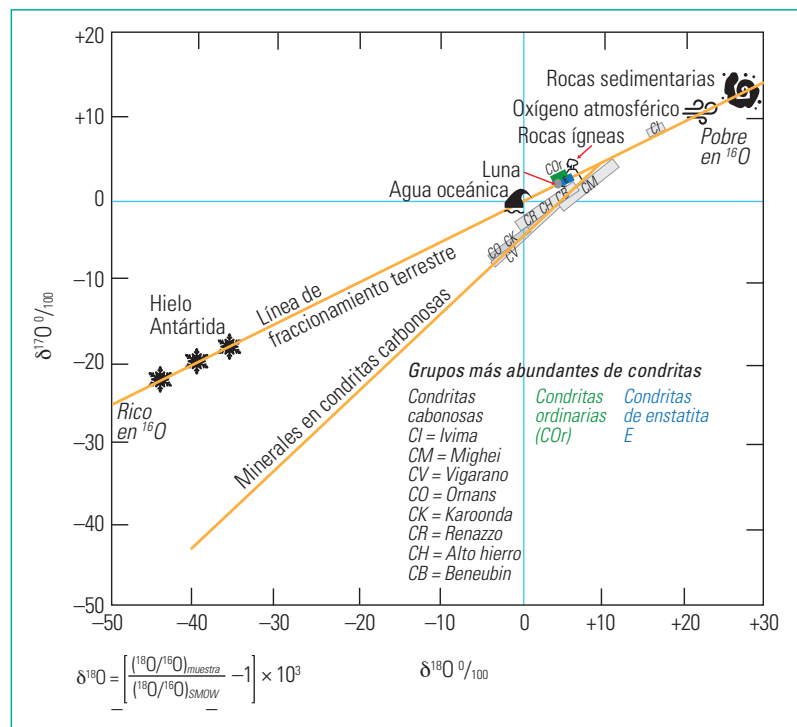


Figura 1. En la imagen se muestran las relaciones isotópicas de oxígeno para los diferentes grupos de condritas y la línea del fraccionamiento terrestre (TF) que conecta todos los materiales terrestres que tienen oxígeno. Ilustración realizada a partir de Greenwood y cols. (2023).

cimbrar la tierra. Así fue la caída del meteorito que se fragmentó sobre la población de Murchison, al suroeste del continente australiano, cerca de la ciudad de Melbourne. Según el portal del *Meteoritical Bulletin*, se encontraron cerca de 100 kg de fragmentos de una condrita carbonosa similar a la de Mighei, es decir tipo CM (Condrita Mighei). Eso lo convierte en la condrita carbonosa con mayor masa de su grupo. El olor a alcohol que continúa penetrando los frascos que contienen la roca indican la presencia de material orgánico. A dos años de la caída de Murchison, Kvenvolden y cols. (1970) utilizaron muestras del interior de algunos fragmentos grandes del meteorito y reportaron la presencia de aminoácidos con enantiómeros D y L; eso demostraba la procedencia extraterrestre, ya que los aminoácidos presentes en los seres vivos sólo contienen el isómero L. ¿Qué es esto de isómeros D y L? Si ves una foto tuya, el coque-to lunar de la mejilla derecha aparecerá a la izquierda y si lo comentas con tus amigos, te verán raro porque ellos siempre te ven así, mientras que la imagen que ves en el espejo en realidad es una imagen invertida de ti. Es decir, los enantiómeros tienen la misma composición química, pero por la disposición de sus átomos, cuando se hace pasar luz a través de ellos, polarizan la luz a la derecha (dextrógiros = D), o a la izquierda (levógiros = L). Otra prueba irrefutable del origen extraterrestre del material carbonoso del meteorito Murchison fue la firma isotópica del oxígeno, la cual es muy diferente a la firma típica de la vida en la Tierra, aunque esto lo veremos a detalle en la última sección.

Asteroides Itokawa y Ryugu


 Hace mucho tiempo, los jóvenes nos divertíamos saltando la cuerda; el truco estaba en entrar a saltar cuando la cuerda pasaba frente a ti con el fin de que ésta no te golpeará el cuerpo. Aunque la cuerda va a una velocidad alta, con un buen cálculo lográbamos acoplarnos a su ritmo. Algo similar pasó con la llegada de la primera misión japonesa, Hayabusa, que tuvo que acoplarse primero a la órbita del asteroide antes de posarse sobre la superficie del asteroide Itokawa, de acuerdo con el artículo publicado el 2



Imagen del asteroide Itokawa desde la nave Hayabusa. Crédito: ISAS, JAXA.

de junio de 2006 por Fujiwara y cols. en la revista *Science*. Las texturas de los meteoritos son como páginas que describen la historia de la formación, deformación e impactos que ocurrieron en el cuerpo parental, tal como lo describen Cervantes-de la Cruz y cols. (2010), pero la propuesta de que los cuerpos parentales de los meteoritos provenían de los asteroides era una mera especulación. La misión Hayabusa comprobó que los meteoritos condriticos sí vienen de los asteroides, el 20 de noviembre de 2005, cuando se posó sobre la superficie del asteroide Itokawa y logró traer muestras de regreso a la Tierra.

Tiempo después, otra misión, la Hayabusa 2, tomó muestras del asteroide Ryugu, el 22 de febrero y el 11 de julio de 2019, y regresó a la Tierra el 6 de diciembre de 2020, en plena pandemia de COVID-19. La misión la enviaron allí porque la superficie del asteroide se parecía a la de los meteoritos condriticos tipo Ivuna o CI (Figura 1), una clase muy antigua de meteoritos que guarda similitud composicional con la atmósfera de nuestro Sol. Lo más sorprendente es la cantidad de compuestos orgánicos no biógenos y minerales hidratados analizados en muestras que nunca se contaminaron en la Tierra. Por lo que, de acuerdo con lo reportado por Oba y cols. en la revista *Nature Communications* (2023), los aminoácidos no proteicos, el uracilo y muchos otros compuestos orgánicos contenidos en Ryugu son de origen extraterrestre.

La formación de la Tierra a partir de material condrítico

Muchas personas dicen que mi cara es similar a la de mi madre, pero mis dedos son como los de mi padre; eso me hace ser hija de mis padres, pues compartimos el mismo material genético. De la misma manera, los planetas conservan la huella de los materiales que los formaron. El material de los planetas terrestres está formado por compuestos que tienen oxígeno; por ejemplo, el material más abundante de los planetas rocosos son los silicatos, los cuales son una combinación de silicio con oxígeno y pueden contener alguno o varios de los elementos de la siguiente lista: hierro, magnesio, aluminio, calcio, potasio, etc. Un aspecto particular en el oxígeno es que tiene tres isótopos; es decir, átomos del mismo elemento con el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones en el núcleo. Esto hace que los isótopos de un elemento tengan diferente peso; por ejemplo, las masas atómicas de los isótopos de oxígeno son 16, 17 y 18. Es decir, el isótopo de oxígeno 16 tiene 8 protones y 8 neutrones ($8 + 8 = 16$), el 17 tiene 8 protones y 9 neutrones, mientras que el 18 tiene 8 protones y 10 neutro-

nes. Una particularidad que tienen estos isótopos es que son susceptibles a diferenciarse, es decir, a separarse por su masa dependiendo de condiciones físicas como la presión y la temperatura. Un ejemplo de diferenciación isotópica ocurre en las profundidades abismales del agua de los océanos (Figura 1), la cual es agua enriquecida en isótopos de oxígeno pesado; es decir, con oxígeno 18 (por ejemplo, las rocas sedimentarias del fondo marino de la Figura 1). Por otra parte, el agua que se evapora de la superficie del mar y que se almacena en los hielos de la Antártida tiene una mayor proporción de isótopos de oxígeno 16. De manera análoga, en el sistema solar interno abunda el isótopo más pesado, con respecto a los bordes del sistema solar, en donde en las condritas carbonosas abunda el isótopo de oxígeno más ligero. En el pie de la Figura 1 se muestra la manera de calcular la proporción de oxígenos 16, 17 y 18 con relación al estándar, que es el agua del mar (SMOW = Standar Mean Ocean Water); para calcular el $\delta^{17}\text{O}$ sólo se sustituye el isótopo de ^{18}O por ^{17}O .

En la Figura 1 se observa una línea que se llama “línea del fraccionamiento terrestre de los isótopos de oxígeno”, en donde todos los compuestos terrícolas



con oxígeno caen sobre esa línea; es decir, desde el agua contenida en el océano, la atmósfera, hielos, rocas y hasta las rocas de la Luna. De hecho, ésta es una de las características principales que ligan al blanco satélite de nuestro cielo con la Tierra, derivado del impacto de la proto-Tierra y un embrión planetario llamado Theia (Figura 1). En esta línea vemos también que se grafican dos grupos de condritas: las condritas de enstatita y las condritas carbonosas tipo Ivuna o CI. Las condritas carbonosas CM, como la Murchison, aparecen en otra sección del diagrama y otros grupos de meteoritos también.

Esto sugiere que la Tierra está formada por este tipo de materiales condriticos. Ya sea que el material de las condritas carbonosas haya llegado antes o después de la formación del sistema Tierra-Luna, lo cierto es que la evidencia sugiere que los bloques que contenían los ingredientes de la vida fueron los mismos bloques que formaron nuestro hogar, la Tierra. Por lo que, al final, Carl Sagan tenía toda la razón, “estamos hechos de polvo de estrellas”.

La autora agradece al Conahcyt por el apoyo del proyecto Fronteras de la Ciencia (núm. 1530) y al proyecto PAPIIT IN117619. Se reconoce el trabajo de los revisores que contribuyeron al mejoramiento del texto y el trabajo de las editoras invitadas, la Dra. Elva Escobar y la Dra. Lilia Montoya.

Karina Elizabeth Cervantes de la Cruz

Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, UNAM.
kcervantes@encit.unam.mx

Lecturas recomendadas

- Cervantes de la Cruz, K. E. *et al.* (2010), “Termometría de dos piroxenos en condros de la condrita ordinaria Nuevo Mercurio H5, México”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27(1):134-147. Disponible en: <http://www.rmccg.unam.mx/index.php/rmccg/article/view/727>.
- Fujiwara, A. *et al.* (2006), “The rubble-pile asteroid Itokawa as observed by Hayabusa”, *Science*, 312(5778):1330-1334. Disponible en: doi.org/10.1126/science.1125841.
- Greenwood, R. C. *et al.* (2023), “Oxygen isotope evidence from Ryugu samples for early water delivery to Earth by CI chondrites”, *Nature Astronomy*, 7(1):29-38. Disponible en: doi.org/10.1038/s41550-022-01824-7.
- Kvenvolden, K., J. Lawless, K. Pering, E. Peterson, J. Flores *et al.* (1970), “Evidence for extraterrestrial amino-acids and hydrocarbons in the Murchison meteorite”, *Nature*, 228(5275):923-926. Disponible en: doi.org/10.1038/228923a0.
- Marvin, U. (2006), “Meteorites in history: an overview from the Renaissance to the 20th century”, en G. J. H. McCall, A. J. Bowden y R. J. Howart (eds.), *The History of Meteoritics and Key Meteorite Collections: Fireballs, Falls and Finds*, Geological Society, Londres, 256(1):15-71. Disponible en: doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.256.01.02.
- Oba, Y., T. Koga, Y. Takano, N. O. Ogawa, N. Ohkouchi *et al.* (2023), “Uracil in the carbonaceous asteroid (162173) Ryugu”, *Nature Communications*, 14(1):1292. Disponible en: doi.org/10.1038/s41467-023-36904-3.
- Righter, K. y D. P. O'Brien (2011), “Terrestrial planet formation”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(48):19165-19170. Disponible en: doi.org/10.1073/pnas.1013480108.