

Los impactos de asteroides en la Tierra y su posible contribución al **origen** de la *vida*

Luisa Ramírez Vázquez,
Guadalupe Cordero Tercero,
Jorge A. Cruz Castañeda



Es común relacionar los eventos de grandes impactos de asteroides o cometas a situaciones catastróficas para nuestro planeta. Desde el gran impacto que sucedió hace aproximadamente 65 millones de años y su asociación con la extinción de la mayoría de las formas de vida en la Tierra en ese momento, incluidos los dinosaurios, pasando por las situaciones que nos muestran las películas como *Impacto profundo* (1998) o *Armageddon* (1998) (entre otras), hasta la misión DART de la NASA en 2022, en la cual se logró exitosamente impactar al asteroide Dimorphos moviendo su trayectoria. Esta misión sirvió como ensayo con fines de defensa planetaria en caso de una amenaza real por el posible impacto por un cuerpo celeste, como un asteroide. Con todo esto al parecer 'impactos' y 'catástrofe' pueden pertenecer a un mismo campo semántico.

Pero... ¿Alguna vez habías pensado si estos choques entre cuerpos celestes con la Tierra pueden tener algún beneficio? Si nos remontamos a edades muy tempranas del sistema solar, es decir, unos pocos miles de años después de su formación, la frecuencia de impactos era mucho mayor en todos los planetas. El número de impactos disminuyó hace aproximadamente 3900 millones de años y se ha mantenido más o menos constante desde entonces. A la Tierra cae material de naturaleza asteroidal y cometaria continuamente, la mayor parte de este material mide de micras a milímetros y su entrada se manifiesta en lo que se conoce como estrellas fugaces. Se ha estimado que entran alrededor de 40,000 toneladas de este tipo de objetos por año. Cuerpos de mayor dimensión no son tan frecuentes, de hecho, mientras mayor es el tamaño es menos común que caigan, por ejemplo, se estima que la frecuencia de caída de objetos del orden de metros es una vez cada 2.5 días,

de objetos de unos cien metros, una vez cada 623 años y objetos de 10 km, una vez cada 62 millones de años. El impacto más famoso es el ya mencionado choque de un asteroide de entre 10 y 15 kilómetros que cayó hace unos 65 millones de años en la península de Yucatán y entre sus consecuencias está una de las mayores extinciones masivas que han ocurrido en nuestro planeta, dejando además como resultado el cráter conocido como Chicxulub (Figura 1).



Figura 1. Representación del impacto que formó el cráter Chicxulub.

Se ha propuesto que los impactos de asteroides con nuestro planeta pudieron haber tenido un papel esencial en la *evolución química* y el origen de la vida en la Tierra (Oró, 1961). La evolución química es un período hipotético en el cual se propone la formación y acumulación de compuestos orgánicos de origen no biológico que hoy en día son relevantes para los seres vivos. Estos compuestos orgánicos y las fuentes de energía disponibles en el pasado (energía térmica, radiación, descargas eléctricas por tormentas, entre otras) pudieron interactuar entre sí para producir moléculas más complejas, que eventualmente desencadenaría (mediante procesos que aún no conocemos) la aparición de vida. La disciplina científica que estudia la evolución química en el laboratorio se denomina *química prebiótica*.

Mensajeros químicos desde el espacio: Pioneros en la Tierra primitiva

Cuando los asteroides o núcleos cometa-rios entran en contacto con la atmósfera terrestre, la gran velocidad con la que entran (entre 11 y 72 km/s, lo que equivale a 106 y 685 veces respectivamente la velocidad récord (0.105 km/s) de los autos de Fórmula 1) provoca que el material del cuerpo celeste se caliente al grado de fundirse, evaporarse e incluso ionizarse, razón por la cual empieza a brillar. A esa luz se le conoce como meteoro (estrella fugaz) o bólido si el brillo del meteoro es muy intenso. Además, el objeto puede fragmentarse en la atmósfera. Si el objeto o fragmentos de él subsisten al paso por la atmósfera, se le cambia de nombre a meteorito. Existen tres tipos de meteoritos: pétreos, metálicos y mixtos. Cada uno de ellos tie-

ne una serie de subclasificaciones dependiendo del contenido de minerales y de qué tan prístino es su material. Los meteoritos tipo condrita carbonosa son muy interesantes, pues son materiales que se han conservado casi intactos desde su formación hace 4567 millones de años, por lo que son como cápsulas de tiempo que nos dicen cómo era el sistema solar en sus orígenes (Ortega-Gutiérrez, 2015).

Por otro lado, los análisis de algunos meteoritos tipo condrita carbonosa (meteoritos pétreos que contienen hasta un 20% en peso de carbono en forma elemental o de moléculas orgánicas) como por ejemplo los meteoritos *Murchison* y *Murray* han revelado que el contenido orgánico puede persistir en ellos después de todo el viaje que realizaron por el medio interestelar para luego ser atraído hacia nuestro planeta, atravesar su atmósfera y finalmente impactarse en la superficie. Entre las moléculas encontradas gracias a los análisis químicos se hallan compuestos orgánicos como ácidos carboxílicos, aldehídos y cetonas, purinas y pirimidinas, alcoholes y aminoácidos. Todos estos tipos de compuestos pudieron haber participado en procesos de la evolución química contribuyendo a aumentar la complejidad química en esta etapa de la Tierra primitiva.

Adicionalmente, se ha propuesto que la energía de impacto que se deposita en la atmósfera cuando el objeto entra en contacto con ella, conocida como *onda de choque*, puede conferir una vía de generación de reacciones químicas y, por lo tanto, producción de compuestos que pudieron haber influido en el paso anterior al origen de la vida. Aunque hasta ahora la composición química de la atmósfera primitiva continúa siendo tema de discusión entre la comunidad científica, los grandes impactos pudieron haber generado compuestos como el metano o

el amoníaco, que favorecen dicha producción de moléculas orgánicas relevantes en esta etapa, por ejemplo, los aminoácidos, que son bloques constructores de otras moléculas más complejas, como las proteínas.

Impactos que dejan su huella: cráteres, formación de sistemas hidrotermales y potenciales nichos.

Muchos impactos de estos cuerpos celestes son capaces de dejar una huella peculiar sobre las superficies sólidas planetarias. Los cráteres de impacto son la característica más común presente en los planetas rocosos y satélites, el ejemplo más claro es nuestra Luna. La Tierra también ha sido impactada en numerosas ocasiones, sin embargo, es más difícil encontrar cráteres muy antiguos debido a los procesos propios de nuestro planeta, como la tectónica de placas, que hace que la corteza se renueve continuamente y “borre” estos registros, además del vulcanismo y procesos de erosión. Actualmente se han identificado alrededor de 190 cráteres de impacto en el planeta, aproximadamente 60 de ellos presentaron una particularidad importante: la formación de un sistema hidrotermal.

Los cráteres de impacto con actividad hidrotermal (Figura 2) son sitios delimitados que cuentan con una fuente de energía térmica, agua, gradientes de temperatura y de pH y diferentes minerales como arcillas, zeolitas, carbonatos, óxidos y sulfuros de hierro (Kirsimäe & Osinski, 2012). Estos sistemas hidrotermales generados por impacto pueden darse en cráteres que se forman a nivel del suelo, por ejemplo, el cráter Siljan, en Suecia, o el cráter Ries, en Alemania; o en los impactos submarinos, como el caso del cráter Chixculub.

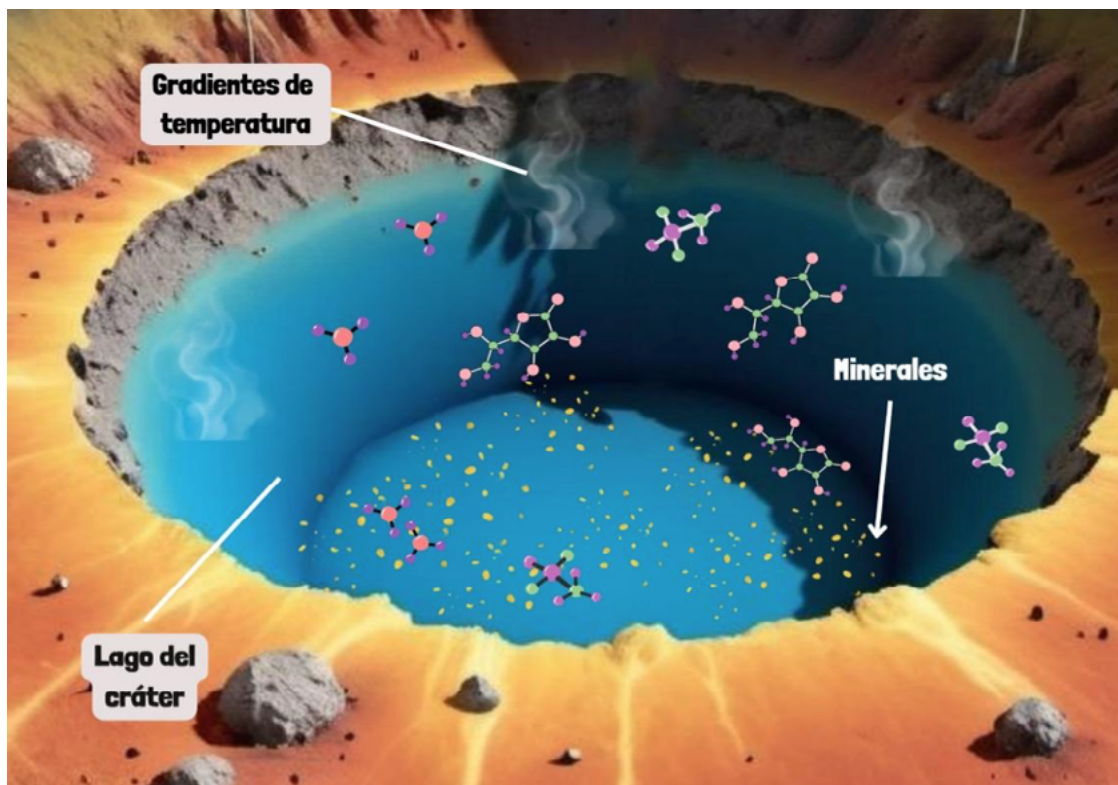


Figura 2. Representación de un sistema hidrotermal generado por impacto. En la etapa de la evolución química, las moléculas presentes en estos ambientes pudieron haber interactuado entre sí para formar otras más complejas (OpenartAI, 2024).

En química prebiótica, los sistemas hidrotermales son escenarios importantes de estudio, ya que son candidatos potenciales como sitios geológicos que pudieron existir en el pasado y donde pudieron haber ocurrido reacciones químicas para la formación de moléculas relevantes para el origen de la vida. Además, es posible que los minerales presentes también hayan podido contribuir a la concentración de moléculas o acelerar reacciones químicas, pues poseen propiedades fisicoquímicas que pueden favorecer estas capacidades dependiendo del entorno químico (Negrón-Mendoza & Ramos-Bernal, 2004). Un ejemplo de estos ambientes hidrotermales es el Parque Nacional de Yellowstone, en EUA.

El tiempo de vida de los sistemas hidrotermales generados por impacto es variado y depende del tamaño del cráter; en algunos casos estos sistemas pueden durar desde miles, cientos de miles de años e incluso poco más de un millón de años. Una vez que el sistema hidrotermal se vuelve inactivo, el lago del cráter puede enfriarse y llegar a persistir durante cientos de miles de años más, además que quedan fracturas y cavidades en las rocas y permanecen minerales y sedimentos producidos por la alteración hidrotermal que originalmente no formaban parte de la geología propia del sitio de impacto. Todas estas condiciones hacen que los cráteres de impacto se conviertan en potenciales hábitats para distintas formas de vida, como microbios o especies más complejas (Cockell & Bland, 2005; Osinski *et al.*, 2020).

No sólo en nuestro planeta: hidrotermalismo extraterrestre

El craterismo de impacto es un proceso que no solamente sucede en la Tierra. Las superficies de otros planetas rocosos, como Marte, poseen miles de cráteres en su superficie, incluso el cráter

Gale y el cráter *Jezero* han sido elegidos para el amartizaje de las misiones que se dedican al estudio de la geología y mineralogía del planeta rojo, así como también a la búsqueda de moléculas orgánicas que nos puedan dar un indicio de la generación de vida en ese planeta. Algunos de los resultados muestran que en los sitios de impacto existen fases minerales asociadas con actividad hidrotermal, rocas sedimentarias y arcillas, lo que indica que en el pasado hubo agua líquida en la superficie de Marte, específicamente en estos lugares (Osinski *et al.*, 2013; Tornabene *et al.*, 2013).

¿El pequeño estanque cálido?

La obra de Charles Darwin, “El origen de las especies” (1859), marcó un parteaguas para la biología y el entendimiento de la evolución de los seres vivos. Aunque él prefería ser cauteloso sobre el tema del origen de la vida en sus libros y no ahondar mucho al respecto, este hecho provocó que algunos de sus amigos y otros científicos llegaran a creer que su teoría estaba incompleta. No obstante, Darwin alguna vez envió una carta a un amigo suyo mencionando “...*Pero sí (y qué gran si) pudiéramos concebir en algún pequeño estanque cálido...*” refiriéndose al posible sitio donde existieran compuestos químicos y fuentes de energía para favorecer la complejidad de las moléculas orgánicas y luego pudiera surgir la vida (Lazcano, 2012).

Por tanto, Darwin estaba a favor de que la vida no se originó de manera espontánea, sino que los seres vivos surgieron como consecuencia de la evolución química de compuestos simples.

Es por todo lo resumido en este texto, que quizás (y qué gran quizás) los sistemas hidrotermales generados por impacto pudieron fungir como un ejemplo de ese pequeño estanque cálido en la Tierra primitiva... y más allá.

Referencias

- Cockell, C. S., & Bland, P. A. (2005). The evolutionary and ecological benefits of asteroid and comet impacts. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(4), 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.01.009>
- Kirsimäe, K., & Osinski, G. R. (2012). Impact-Induced Hydrothermal Activity. In G. R. Osinski & E. Pierazzo (Eds.), *Impact Cratering: Processes and Products* (pp. 76–89). Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9781118447307.ch6>
- Lazcano, A. (2012). The Origin and Early Evolution of Life: Where, When and How? In *Evolution: Education and Outreach* (Vol. 5, Issue 3, pp. 334–336). Bio-Med Central Ltd. <https://doi.org/10.1007/s12052-012-0452-8>
- Negrón-Mendoza, A., & Ramos-Bernal, S. (2004). The role of clays in the origin of life. *Origins*, 181–194.
- Oró, J. (1961). Comets and the Formation of Biochemical Compounds on the Primitive Earth. *Nature*, 190(4774), 389–390. <https://doi.org/10.1038/190389a0>
- Ortega-Gutiérrez, F. (2015). El origen geológico de la vida: una perspectiva desde la meteorítica. *Tip*, 18(1), 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.05.007>
- Osinski, G. R., Cockell, C. S., Pontefract, A., & Sapers, H. M. (2020). The Role of Meteorite Impacts in the Origin of Life. *Astrobiology*, 20(9), 1121–1149. <https://doi.org/10.1089/ast.2019.2203>
- Osinski, G. R., Tornabene, L. L., Banerjee, N. R., Cockell, C. S., Flemming, R., Izawa, M. R. M., McCutcheon, J., Parnell, J., Preston, L. J., Pickersgill, A. E., Pontefract, A., Sapers, H. M., & Southam, G. (2013). Impact-generated hydrothermal systems on Earth and Mars. *Icarus*, 224(2), 347–363. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2012.08.030>
- Tornabene, L. L., Osinski, G. R., McEwen, A. S., Wray, J. J., Craig, M. A., Sapers, H. M., & Christensen, P. R. (2013). An impact origin for hydrated silicates on Mars: A synthesis. *Journal of Geophysical Research E: Planets*, 118(5), 994–1012. <https://doi.org/10.1002/jgre.20082>
- OpenartAI (2024). <https://openart.ai/community/1oty-DDvhQrlM6hWALxjb>

Canva (2024). https://www.canva.com/design/DAGJLHNXU4s/SBUABeF_SKLKUVJWkkH4lQ/view?utm_content=DAGJLHNXU4s&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=editor

Lecturas recomendadas:

NASA Space Place (13 de junio de 24). ¿Asteroide o Meteoro? Recuperado el 26 de junio de 2024 <https://spaceplace.nasa.gov/asteroid-or-meteor/sp/>

NASA Space Place (1 de septiembre de 20). Los rovers de Marte: Curiosity. Recuperado el 26 de junio de 2024 <https://spaceplace.nasa.gov/mars-curiosity/sp/>

Dra. Luisa Ramírez Vázquez. Investigadora Posdoctoral cuya línea de investigación se enfoca en la evolución química y el papel que pudieron tener los impactos de asteroides y los sistemas hidrotermales generados por impacto en el origen de la vida, trabaja en los Laboratorios de Química de Plasmas y Estudios Planetarios (I y II) del Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM. Además es profesora de asignatura en la Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra. Email: luisa.ramirez@correo.nucleares.unam.mx

Dra. Guadalupe Cordero Tercero. Investigadora Titular A, se dedica a la investigación sobre las colisiones entre objetos cósmicos, cráteres de impacto, asteroides, cometas, meteoroides, meteoros, bólidos y meteoritas. Forma parte de la Sección de Riesgos Espaciales del Instituto de Geofísica, UNAM. Email: gcordero@igeofisica.unam.mx

Dr. Jorge A. Cruz Castañeda. Investigador Asociado C TC, sus líneas de investigación incluyen estudios de química de radiaciones enfocados a la evolución química, química prebiótica, química analítica, hidrotermalismo, simulación de atmósferas de planetas tipo terrestre, simulación de atmósferas extraterrestres, y simulación de ambientes extraterrestres con interés astrobiológico. Es responsable de la Unidad de Laboratorios “Dr. Rafael Navarro González”, que incluye a los Laboratorios de Química de Plasmas y Estudios Planetarios I y II del Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM. Email: jorge.cruz@nucleares.unam.mx