

Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

El meteorito Allende y la asimetría quiral en el origen de la vida en la Tierra

Karina Galache · Monday, October 10th, 2022

Categorías: Ciencias Exactas, Zona Abierta

La vida es una propiedad emergente de la materia organizada. Los procesos que dieron paso al ensamble de sistemas moleculares y al origen de la vida, se vieron influidos por el aporte de energía y materia proveniente de la actividad geoquímica del planeta, así como por las colisiones de meteoritos y otros cuerpos celestes. El aporte de material exógeno procedente del espacio exterior con contenido de materia orgánica, como los meteoritos carbonáceos, establece un vínculo entre la química interestelar y la química nativa de la Tierra. La medición de los excesos enantioméricos en favor de los L-aminoácidos y los D-enantiómeros en ácidos y alcoholes derivados de azúcares en las condritas carbonáceas, así como la presencia de nanotubos de carbono descubiertos en el meteorito Allende, pueden significar un recurso de asimetría quiral asociada con la autoorganización y funcionalidad en los primeros sistemas vivos terrestres.

Quiralidad en los seres vivos

“El universo es un conjunto de disimetrías, y estoy convencido de que la vida, tal como se nos manifiesta, es una función de esta disimetría (...) La vida está dominada por acciones disimétricas (de las cuales presentamos la existencia envolvente y cósmica). Incluso presiento también que todas las especies vivientes, en su estructura y en sus formas exteriores son, en un comienzo, funciones de la disimetría cósmica”.

Así se dirigía Louis Pasteur en una carta a uno de sus ayudantes en 1870 (Pinilla 1980). El término *disimetría* es antecedente de lo que ahora conocemos como *quiralidad*, concepto definido por William Thompson (Lord Kelvin) en 1893. Basado en la metáfora del reflejo especular de las manos, la quiralidad (del griego *????*, *quir* o *jir*: mano), es una propiedad geométrica que se encuentra en sistemas capaces de existir en dos versiones a manera de imágenes reflejadas en un espejo. Al ser una propiedad de simetría, la quiralidad es un concepto amplio que puede encontrarse en objetos cotidianos como un tornillo o cualquier arreglo en hélice, pues su giro en un sentido, reflejado en un espejo, da paso a una geometría (su imagen especular) que no puede hacerse coincidir con la inicial por medio de rotaciones y traslaciones. Como el origen mismo del concepto lo indica, las manos son otro ejemplo de quiralidad, al igual que los remolinos formados en el agua y los huracanes, o incluso las galaxias en espiral, como la Vía Láctea en la que

habitamos (Pavlov y Klabunovskii, 2014). Un caso particular de quiralidad es la exhibida por algunas moléculas, que fundamenta la *estereoquímica*, donde encontramos las definiciones y ejemplos usuales acerca de la quiralidad. Consecuentemente, en química, a los pares de moléculas quirales se les llama *enantiómeros* (enantiómeros, *enántios*: opuesto; y *meros*: parte). A las mezclas conformadas por proporciones iguales de ambos enantiómeros, se les denomina *racémicas* (por el otrora llamado ácido racémico, que resultó ser una mezcla de cantidades equivalentes de ácido tartárico derecho e izquierdo).

En los sistemas vivos, la asimetría es una propiedad que optimiza funciones en diferentes niveles de organización, incluyendo los ámbitos anatómico, celular, y molecular. El entorno anatómico en organismos pluricelulares, por ejemplo, exhibe quiralidad en el acomodo de los órganos viscerales en los animales, optimizando el espacio al distribuirse de manera asimétrica (Inaki, Liu y Matsuno, 2016). Tal es el caso de la posición del corazón hacia la izquierda, o el tamaño asimétrico de los pulmones, o el acomodo desigual del intestino grueso, entre otros órganos en los vertebrados. Igualmente, el arreglo helicoidal del cuerpo de los caracoles gasterópodos dentro de su concha protectora puede presentar un giro hacia la izquierda (sinistral) o a la derecha (dextral), de acuerdo con su especie biológica.

En el estudio de la simetría molecular, inicialmente el sistema de clasificación para las sustancias quirales consistió en determinar el sentido en que desvían el plano de polarización de la luz linealmente polarizada: si lo hacían en sentido antihorario (hacia la izquierda) se les designó como *levógiras* (L); mientras que, si lo desviaban en sentido horario, se les clasificó como *dextrógiras* (D). Actualmente, el sistema de nomenclatura que se utiliza se basa en las reglas de Cahn-Ingold-Prelog. En esta clasificación se asignan prioridades a los grupos de átomos unidos a un centro de asimetría o estereocentro. Siguiendo estas reglas, si las prioridades ordenan a los grupos de átomos en sentido antihorario, la molécula se denomina *sinister* (S); pero si se define un orden en sentido hacia la derecha, la molécula resulta con una configuración *rectus* (R).

La quiralidad molecular presente en dinámicas biológicas a nivel celular permite la asociación de eventos con una geometría en particular, como en el reconocimiento de la molécula quiral carvona. El enantiómero R-carvona se halla en el aceite vegetal de la hierbabuena, y se identifica por las células sensoriales olfatorias que lo reconocen gracias a la complementariedad geométrica en sus receptores y lo asocian con el aroma característico; mientras que la forma S-carvona está presente en el aceite de las semillas de la alcaravea (una planta medicinal parecida al comino) y es reconocida mediante el complemento geométrico con los receptores moleculares que la relacionan con su respectiva fragancia. Otro ejemplo es el reconocimiento de la D-glucosa por los receptores de la membrana celular, que permiten su paso al medio intracelular y su catabolismo en la glucólisis. En el cerebro de los vertebrados, el neurotransmisor L-glutamato es el principal mensajero en las sinapsis químicas excitatorias de las neuronas del hipotálamo, relacionadas con los procesos de aprendizaje y memoria. La S-tiroxina actúa como hormona en los mamíferos, regulando la tasa metabólica celular y algunas funciones asociadas con ese efecto, como las frecuencias cardíaca y respiratoria, debidas al metabolismo aeróbico.

A nivel molecular, dentro de las células animales, las principales rutas metabólicas de carbohidratos usan el D-enantiómero como en la referida glucólisis, la fructólisis (que cataboliza a la D-fructosa) o la galactólisis (que hace lo propio con la D-galactosa). En la síntesis celular de los biopolímeros relacionados con el almacenamiento y flujo de información, como las proteínas y los ácidos nucleicos (Cruz-Rosas y cols. 2020), se usa un tipo de enantiómero: L-aminoácidos para la síntesis de péptidos (que dan paso a las proteínas), D-ribosa para el ARN y D-desoxirribosa para el

ADN. El concepto de la *homoquiralidad* biológica se refiere a esta última condición de asimetría molecular en péptidos y ácidos nucleicos, la cual es una propiedad de todos los sistemas vivos a tal grado que es considerada fundamental para la existencia de la vida. Por lo tanto, el evento que desvió la simetría molecular hacia la actual biohomoquiralidad fue crucial durante el origen y evolución de los organismos en nuestro planeta.

Algunas teorías sostienen que las primeras células se originaron sin influencia asimétrica alguna, por lo que la homoquiralidad biológica sería una consecuencia ulterior del proceso evolutivo de la vida. Este planteamiento se basa en que las formas vivas tienden a buscar los recursos disponibles en el medio que implican el menor gasto de energía posible en su obtención. Así, una probable abundancia de L-aminoácidos o, en su caso, D-ribosa y D-desoxirribosa en el ambiente, fue la circunstancia que favoreció un proceso evolutivo darwiniano hacia la condición homoquiral a partir de la selección sobre sistemas vivos racémicos. La asimetría quiral sería entonces una modificación adaptativa de las primeras formas vivas asociada con la economía de los recursos disponibles.

Por otra parte, las teorías que postulan a la asimetría quiral en la Tierra prebiótica como un requisito necesario para la aparición de dinámicas biogénicas (relacionadas con el origen de la vida), asumen que el primer tipo de sistema vivo se basó en procesos funcionales ya soportados por la asimetría quiral. Algunos argumentos en favor de esta segunda tesis se basan en la relativa sencillez y diversidad de localidades en la naturaleza para la emergencia de sistemas quirales (González-Campo y Amabilino, 2013). Así también la simplicidad y variedad de procesos capaces de romper la simetría quiral, que pueden conducir a estados con elevados excesos enantioméricos en los sistemas moleculares (Buhse y cols., 2021). De acuerdo con este segundo escenario, el origen de la vida tuvo lugar en un ambiente asimétrico en la química prebiótica. El hallazgo de excesos enantioméricos en el material orgánico de meteoritos del tipo condritas carbonáceas permite confirmar que no solo en la biósfera terrestre se hallan estos sistemas asimétricos, sino también en cuerpos estelares provenientes del Espacio Exterior. Es decir, que en dicha región sideral que se extiende más allá de la atmósfera terrestre, también puede haber procesos que conducen al dominio de un enantiómero sobre otro en las moléculas quirales.

Quiralidad molecular en el Espacio Sideral

El 8 de febrero de 1969, el Centro para los Fenómenos de Corta Duración del Instituto Smithsonian en Estados Unidos de América (EUA) envió un telegrama a los museos y centros de investigación estadounidenses que conforman el propio Instituto, donde se informaba sobre una ráfaga de luz que se observó en el sur de su país con trayectoria hacia el territorio mexicano. Se trataba de un meteoróide (cuerpo interplanetario de menor tamaño que un cometa o un asteroide, y que aún no impacta sobre la superficie de un planeta), el cual despertó —aproximadamente a la 01:05 de la mañana— a los habitantes del poblado de Allende en el estado norteño de Chihuahua, México, debido a una luz intensa seguida por un estruendo que rompió las ventanas en varias casas, sacudiendo la adormilada quietud de aquel pueblito. El meteoro (fenómeno luminoso producido en el firmamento por un meteoróide) dio paso a una lluvia de meteoritos que se dispersaron en un área de 50 km² a la redonda (Meteoritical Bulletin: Allende). Por el impacto se produjeron varios cráteres, el mayor de ellos medía unos 60 cm de radio y 15 cm de profundidad. Los pobladores de Allende, niñas, niños, hombres y mujeres, enterados y alentados por los científicos estadounidenses que arribaron al sitio, iniciaron la colecta de los fragmentos del

meteorito. A quienes participaban se les pagaba un dólar por pieza colectada, lo que provocó que las personas rompieran los especímenes grandes para obtener más fragmentos y así cobrar más. Los investigadores, al darse cuenta de ello, acordaron pagar un precio proporcional por el tamaño de las piezas recolectadas (Urrutia-Fucugauchi, 2016). Las colectas recuperaron 2 toneladas de material para repartirlo en varios laboratorios en el mundo, convirtiendo al meteorito Allende en uno de los objetos extraterrestres recuperados más examinados en la historia del estudio del Cosmos.

En otra lluvia de meteoritos ocurrida ese mismo año pero el 28 de septiembre en otro lado del planeta, aproximadamente a las 10:45 de la mañana, hora local de la ciudad de Murchison en Victoria, Australia, se avistó un meteoro centellante en el cielo que se dividió en tres partes, dejando a su paso una nube de gas seguida por un poderoso estruendo. El fenómeno arrojó cerca de 100 kilogramos de material esparcido en un área de unos 8 km². Tras el impacto, la gente del pueblo reportó un aroma desagradable que después fue identificado como piridina, uno de los componentes orgánicos del meteorito. El fragmento de mayor tamaño recuperado en Murchison fue de unos 680 gramos que voló por encima de los tejados y cayó en un camino secundario cubierto de heno (Meteoritical Bulletin: Murchison). Inicialmente, la colecta del material se realizó por estudiantes, científicos, y pobladores locales. El Centro para los Fenómenos de Corta Duración del Instituto Smithsonian lo notificó hasta el 9 de octubre a sus grupos de investigación.

Tras el resultado de una serie de estudios en diferentes laboratorios, los meteoritos Allende y Murchison fueron clasificados como *condritas carbonáceas*. Estas son un tipo de meteorito caracterizado por la presencia de un material inorgánico blancuzco de olivino y piroxeno que se encuentra en forma de esferas incrustadas en la matriz mineral que se conocen como cóndrulos, de allí la denominación de condritas (Figura 1). Estos meteoritos poseen, además, un elevado contenido de material orgánico, por lo que son del tipo carbonoso. Las condritas carbonáceas son de los meteoritos más comunes que han impactado sobre la superficie terrestre, siendo la condrita Alais de la que se tiene el registro más antiguo: el 15 de marzo de 1806 en Francia, cerca de la ciudad de Alès. Adicionalmente, las condritas carbonáceas tienen otro material inorgánico de forma ameboide compuesto por silicatos. Estas inclusiones minerales de silicatos son los primeros materiales que se condensaron en la nube protosolar hace unos 4.56 millones de años. Se les conoce como Inclusiones de Calcio y Aluminio (CAIs, por sus siglas en inglés). Y dada su génesis mineral, las CAIs han sido empleadas para estimar la edad del Sistema Solar.



Figura 1. Meteorito Allende. a: Sección de un espécimen de 297 g (imagen modificada de Cruz-Rosas y cols., 2019). b: Fragmentos de meteorito donde se observa el color oscuro debido al carbón. c: Imagen ampliada de una porción del espécimen, donde se pueden observar los cóndrulos (de color blancuzco y forma circular), las inclusiones de calcio y aluminio (CAIs, de color grisáceo y forma ameboide), y la matriz mineral de color oscuro.

La materia orgánica en las condritas carbonáceas es de particular importancia para los estudios del origen de la vida. Presenta una fracción macromolecular, insoluble en agua o solventes orgánicos (llamada por tal, material orgánico insoluble); y otra de bajo peso molecular, soluble en agua (el material orgánico soluble). Los análisis de laboratorio revelan que las condritas carbonáceas tienen moléculas solubles como azúcares, aminoácidos, purinas y pirimidinas. Las dos últimas, purinas y pirimidinas, son bases nitrogenadas relacionadas con la formación de nucleobases en el ADN y el

ARN de las células. Las mediciones de isótopos en la materia orgánica demuestran que estas moléculas son de origen sideral, debido a que contienen un enriquecimiento de isótopos de deuterio ^2H , así como de los isótopos de carbono ^{13}C y de nitrógeno ^{15}N que no se halla en algún material terrestre. La presencia de estas moléculas orgánicas en cuerpos meteoríticos asociadas con la biología terrestre, soporta la hipótesis de la existencia de un vínculo entre la química de la vida y la del Espacio Exterior, lo que resulta aun más sorprendente al tener registros de la presencia de aminoácidos con una mayor cantidad del L-enantiómero en muestras de condritas carbonáceas (Burton y Berger, 2018). Igualmente, se ha medido un exceso en favor del D-enantiómero en ácidos y alcoholes derivados de azúcares de origen meteorítico (Cooper y Rios, 2016). El origen interplanetario de la asimetría, que coincide con el sesgo a favor de los L-aminoácidos y D-azúcares en los seres vivos, demuestra que los sistemas con asimetría quiral pueden ocurrir de manera natural incluso en ambientes fuera de la Tierra.

Adicionalmente, se han medido otros dos componentes con asimetría quiral en muestras de las condritas carbonáceas Allende, Murchison y Murray (que cayó en 1950 en Kentucky, EUA); donde la matriz mineral, así como un componente de material orgánico insoluble (solo identificado como una macromolécula compuesta por cadenas de átomos de carbono), se encuentran en proporciones no racémicas. Las teorías más aceptadas que explican la ruptura de la simetría en los compuestos meteoríticos sugieren que ocurrió desde el asteroide del que se desprendieron las condritas carbonáceas (su cuerpo parental). Algunas hipótesis proponen un mecanismo determinista actuando sobre el Sistema Solar, donde la luz circularmente polarizada proveniente de una estrella de neutrones, al ser luz quiral, puesto que es irradiada con un sentido en su giro hacia la derecha o hacia la izquierda, como si fuera una espiral, pudo ser absorbida preferentemente por uno de los enantiómeros mediante sus cromóforos (grupos de átomos capaces de absorber los fotones con cierta longitud de onda) orientados a manera de espejo, ya sea hacia la derecha o a la izquierda (Figura 2). Esta interacción asimétrica entre las moléculas quirales y la luz circularmente polarizada ya sea dextral o sinistral (el llamado dicroísmo circular), pudo inducir la destrucción o la síntesis preferente del enantiómero. La otra teoría aceptada para explicar la ruptura de la simetría en moléculas de meteoritos y en sistemas terrestres, es un mecanismo considerado universal, dado por la violación de la paridad en las interacciones electrodébiles entre partículas subatómicas como los electrones. Este mecanismo haría que ciertos enantiómeros tuvieran mayor energía para reaccionar químicamente, en su caso los L-aminoácidos y los D-azúcares, tanto en sistemas meteoríticos como en cualquier sistema planetario.



Figura 2. Estrella de neutrones y radiación circularmente polarizada. La rotación de la estrella provoca la polarización circular hacia la derecha o hacia la izquierda según el polo del que se trate. En el ecuador de la estrella la luz no adquiere quiralidad. La radiación quiral interactúa de manera asimétrica con las moléculas quirales, como los aminoácidos, presentes en las nubes moleculares a partir de las que se pueden formar los sistemas planetarios.

Condritas Carbonáceas en el origen de la vida

La formación del Sistema Solar fue un proceso dinámico donde hubo flujo de materia y energía del interior al exterior del disco protosolar, acompañado por choques entre material que comenzó a fundirse para formar cuerpos que acumularon masa y atrajeron más material, en un proceso conocido como *acreción*. Tras la formación del Sol y los planetas, el material residual que quedó

orbitando provocó colisiones sobre la superficie de los planetas en una etapa llamada de *bombardeo intenso*. Los cinturones de asteroides acumulan gran cantidad de este material residual. El cinturón que se encuentra entre las órbitas de Marte y Júpiter es la principal fuente de meteoritos que impactan con la Tierra. Aunque desde el Cinturón de Kuiper, más allá de la órbita de Neptuno a las afueras del Sistema Solar, también han llegado cuerpos que chocan con nuestro planeta. Estas colisiones son un aporte de energía y también de materia exógena: escenario en el que se ha propuesto la hipótesis del recurso de luz circularmente polarizada que actúa sobre la materia orgánica en el Medio Interestelar (el espacio existente entre los sistemas de estrellas), induciendo la asimetría quiral directamente sobre los aminoácidos o los azúcares.

Para el caso de los aminoácidos, los experimentos con resultados favorables son los desarrollados con una mezcla congelada a $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$, compuesta por agua (H_2O), bióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metanol (CH_3OH) y amonio (NH_3). Este compuesto simula los hielos formados sobre granos de sílice en las regiones frías del Medio Interestelar. En los experimentos se irradia luz quiral sobre los hielos análogos a los interestelares y después se calientan a temperatura ambiente para que la mezcla sublime (cambie de fase sólida a gaseosa). Cuando el hielo se irradia con luz circularmente polarizada hacia la izquierda, ocurre una reacción química entre moléculas ionizadas que da paso a excesos enantioméricos de hasta 0.7% en favor de la L-alanina (Takano y cols., 2007; de Marcellus y cols., 2011). El resultado es consistente con los excesos reportados para las condritas carbonáceas, así como con la preferencia quiral del uso de L-aminoácidos en los sistemas vivos terrestres.

Se ha propuesto una variante a esta hipótesis, donde la actuación de una fuerza de asimetría, ya sea la luz circularmente polarizada o la acción de vórtices o la influencia de campos magnéticos en asociación con luz polarizada de algún tipo (no solo circular), pudo orientar el crecimiento de macromoléculas orgánicas durante la formación de planetesimales y demás cuerpos que incorporan dicho material en las nubes protoplanetarias de los sistemas solares en formación (Cruz-Rosas y cols., 2019). Esta orientación del material orgánico insoluble debió ocurrir en momentos en que los meteoritos aún no se desprendían del asteroide que les originó, lo que explicaría la asimetría reportada en el componente macromolecular de las condritas carbonáceas.



Figura 3. Alótropos de carbono. Estructuras reportadas en el material orgánico insoluble de las condritas carbonáceas.

El material orgánico insoluble en las condritas carbonáceas se compone por cadenas largas de átomos de carbono (querógeno), láminas de átomos de carbono (grafeno), esferas de grafeno (fullerenos), cebollas de carbono (una asociación de fullerenos contenidos unos dentro de otros, a manera de cebollas), y nanodiamantes. La presencia de nanotubos de carbono, un arreglo tubular del grafeno, se confirmó en un estudio realizado a muestras del meteorito Allende (Cruz-Rosas y cols., 2019). Los alótropos (formas alternas en que se acomodan los átomos) de carbono orientados de forma tubular, exhiben quiralidad si la hoja de grafeno al enrollarse, lo hace con cierto ángulo formando defectos sobre la malla molecular (Figura 3). De este modo, la observación de nanotubos de carbono en muestras del meteorito Allende, además de ser el primer reporte de este tipo de estructuras en especímenes de condritas carbonáceas, constituyen una posible superficie de reacción asimétrica. Las imágenes obtenidas en el estudio tienen nanotubos con diversos defectos (Figura 4a), lo que sugiere que estos alótropos tubulares de carbono se formaron en ambientes inestables en donde la red de átomos se desplazó con diversos ángulos que pudieron generar torceduras a manera de tornillos, las cuales resultan orientaciones quirales. Otra observación acerca

de este hallazgo es la morfología de tipo bambú, donde un nanotubo largo se encuentra encapsulando a otros de menor diámetro y longitud (Figura 4b), sugiriendo variaciones térmicas durante su formación, donde la disminución de temperatura provocó el cierre del nanotubo en crecimiento, a la vez que un posterior aumento de temperatura reinició el crecimiento, provocando la formación de una nueva pared y tubo sobre el ya formado.



Figura 4. Nanotubos de carbono en muestras del meteorito Allende. a: Nanotubo multipared con defectos en su superficie. b: Nanotubo tipo bambú. Imagen modificada de Cruz-Rosas y cols., 2019.

La presencia de nanotubos de carbono en muestras del meteorito Allende abre la posibilidad a nuevas investigaciones para caracterizar estas estructuras como canales quirales capaces de restringir la geometría molecular, lo que favorecería la síntesis preferente de los L-aminoácidos (Figura 5). De obtenerse estos datos complementarios, podría demostrarse que las condritas carbonáceas son vehículos que transportan un recurso de asimetría quiral capaz de ser depositado en los planetas con los que colisionan, como fue el caso de la Tierra durante la fase de bombardeo intenso en un escenario de la llamada *panspermia molecular*. Por ahora, esta es una hipótesis abierta a futuras investigaciones.



Figura 5. Nanotubos de carbono quirales como superficies de reacción. Síntesis asimétrica de aminoácidos debida a la restricción geométrica.

Los impactos de meteoritos y otros cuerpos interplanetarios son así un recurso de energía y de materia exógena que se ha depositado sobre la corteza terrestre. El material puede ser tan viejo como el de las condritas carbonáceas, contemporáneo a la formación del Sol. Durante el bombardeo intenso, la superficie primigenia terrestre se enriqueció con componentes orgánicos que contribuyeron a la diversidad de moléculas y, por lo tanto, a la emergencia de sistemas con propiedades o dinámicas también diversas. En particular, la asimetría quiral proveniente de las condritas carbonáceas pudo ser el detonante para la aparición de dinámicas biogénicas en sistemas moleculares con excesos enantioméricos directamente relacionados con el origen de la vida en la Tierra.

Referencias

Buhse T., Cruz J. M., Noble-Teran M. E., Hochberg D., Ribo J. M., Crusats J., y Micheau J. C. (2021). Spontaneous deracemizations. *Chemical Reviews*, 121(4), pp: 2147-2229.

Burton, A. S., y Berger, E. L. (2018). Insights into abiotically-generated amino acid enantiomeric excesses found in meteorites. *Life*, 8(2), 14.

Cooper G., y Rios A. C. (2016). Enantiomer excesses of rare and common sugar derivatives in carbonaceous meteorites. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(24), E3322-E3331.

Cruz-Rosas H. I., Riquelme F., Santiago P., Rendón L., Buhse T., Ortega-Gutiérrez F., ... y Cocho G. (2019). Multiwall and bamboo-like carbon nanotubes from the Allende chondrite: A probable source of asymmetry. *Plos one*, 14(7), e0218750.

Cruz-Rosas H. I., Riquelme F., Ramírez-Padrón A., Buhse T., Cocho G., y Miramontes P. (2020). Molecular shape as a key source of prebiotic information. *Journal of Theoretical Biology*, 499, 110316.

De Marcellus P., Meinert C., Nuevo M., Filippi J. J., Danger G., Deboffle D., ..., y Meierhenrich U. J. (2011). Non-racemic amino acid production by ultraviolet irradiation of achiral interstellar ice analogs with circularly polarized light. *The Astrophysical journal letters*, 727(2), L27.

González-Campo A., y Amabilino D.B. (2013). Biomolecules at Interfaces: Chiral, Naturally, en: *Biochirality: origins, evolution and molecular recognition*. Cintas P. (editor). *Topics in Current Chemistry*, volumen 333, Berlín: Ed. Springer, pp: 109–156. https://doi.org/10.1007/128_2012_405

Inaki M., Liu J., y Matsuno K. (2016). Cell chirality: its origin and roles in left–right asymmetric development. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371: 20150403. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0403>

Meteoritical Bulletin Database: Alès, Allende, Murchison, Murray (consultado en línea el mes de julio de 2022): <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>

Pavlov V.A., y Klabunovskii E.I. (2014). Homochirality origin in nature: Possible versions. *Current Organic Chemistry*, 18(1), 93-114.

Pinilla R. (1980). Pasteur, en: *Genios y líderes de la historia*, tomo XI, México: Ed. Promexa, pp. 42-50.

Takano Y., Takahashi J. I., Kaneko T., Marumo K., y Kobayashi K. (2007). Asymmetric synthesis of amino acid precursors in interstellar complex organics by circularly polarized light. *Earth and Planetary Science Letters*, 254(1-2), 106-114.

Urrutia-Fucugauchi J. (2016). El meteorito Allende fue parte de un planeta en los inicios del Sistema Solar. *Crónica de El Colegio Nacional* (consultado en línea el mes de julio de 2022): <https://colnal.mx/noticias/el-meteorito-allende-fue-parte-de-un-planeta-en-los-inicios-del-sistema-solar-jaime-urrutia-fucugauchi/>

This entry was posted on Monday, October 10th, 2022 at 11:13 am and is filed under [Ciencias Exactas](#), [Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.