

# BUSCANT L'ORIGEN DE LA VIDA EN LA COSMOQUÍMICA

## ELS ASTEROIDES I ELS SEUS METEORITS RICS EN CARBONI

SANDRA PIZZARELLO

Les condrites carbonàcies són meteorits que contenen carboni. Provenen d'asteroides primitius i són les úniques que, a hores d'ara, han aportat mostres d'evolució química per a les anàlisis en laboratori. Els estudis han revelat que existia una abundant química orgànica en el sistema solar abans del començament de la vida terrestre. Amb l'arribada de meteorits i cometes, aquests processos podrien haver impulsat l'origen de la bioquímica del nostre planeta.

Paraules clau: elements biogènics, meteorits carbonacis, evolució química, quiralitat, quimiobiogènesi.

Louis Lerman (2010) va escriure recentment:

Els problemes que planteja l'origen són la qüestió científica més conjectural i qualitativa. No és sorprenent, per tant, que l'origen de la vida, com l'origen de l'univers, no tinga supòsits i condicions inicials definits de manera unívoca. Individualment, són preguntes de Fermi de tipus funcional, que requereixen un enfocament conceptual rudimentari per a una situació d'ignorància quantitativa fonamental.

Ben explicat, si bé prou complex, ja que els processos que porten a l'origen de la vida continuen sent completament desconeguts i difícils de desxifrar.

No obstant això, els estudis sobre els orígens han avançat com si res, i aquesta ignorància tan intimidatòria s'ha vist moderada en certa manera perquè comparteix matèria amb una àmplia varietat de camps d'investigació, com l'astrofísica, la cosmoquímica i la biologia evolutiva, per mencionar-ne uns pocs. Aquesta àmplia perspectiva ha investigat més enllà de l'origen de la vida i ha estès el coneixement actual sobre l'evolució biològica, segons el qual tots els organismes deriven d'un avantpassat mínim comú i va estar precedida per una evolució química. A causa d'aquest procés, els elements biogènics H, C, N, O, P i S, originats en el Big Bang i en la posterior

generació d'estels, van evolucionar durant la llarga història còsmica i van formar molècules abiòtiques cada vegada més complexes, algunes de les quals van acabar arribant a sistemes planetaris com el nostre, per la qual cosa podrien haver portat a la creació de les molècules precursors de la vida.

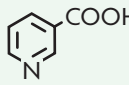
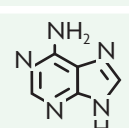
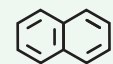
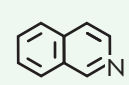
**«GRÀCIES A L'ANÀLISI D'UN GRUP DE METEORITS AMB ABUNDANT CONTINGUT CARBÒNIC S'HA POGUT SOTMETRE A ESCRUTINI EXPERIMENTAL LA POSSIBILITAT QUE UNA EVOLUCIÓ QUÍMICA PREBIÒTICA NATURAL ARRIBARA A LA TERRA PRIMIGÈNIA»**

### ■ EL CONCEPTE DE QUIMIIOBIOGÈNESI

Gràcies a l'anàlisi d'un grup de meteorits amb abundant contingut carbònic, les condrites carbonàcies, s'ha pogut sotmetre a escrutini experimental la possibilitat que una evolució química prebiòtica natural arribara a la Terra primigènia, idea a la qual Von Kiedrowski (2005) es va referir enginyosament com quimiobiogènesi ("chembiogenesis"). Basant-se en aquestes troballes i en el mencionat conjunt d'estudis, ja el 1985, la NASA (Wood i Chang, 1985) va

publicar una cridanera vinyeta resum que es mostra en la figura 1, que ens transporta al llarg d'un camí d'evolució còsmica de quasi deu mil milions d'anys (i en el qual, certament, incloure la cadena de DNA potser és un poc exagerat).

Alguns antecedents ens poden fer servei: un meteorit és qualsevol cos sòlid i petit que arribe a la Terra des

Classe de compost	Estructura	Molècula d'exemple	N. de compostos
Àcids carboxílics	$\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$	àcid acètic	48
Aminoàcids	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	alanina	74
Hidroxiàcids	$\begin{array}{c} \text{OH} \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	àcid làctic	20
Cetoàcids	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{COOH} \end{array}$	àcid pirúvic	12
Àcids dicarboxílics	$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_2-\text{COOH}$	àcid succínic	17
Sucres alcoholícs i àcids	$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\   \quad   \\ \text{H}_2\text{C}-\text{C}-\text{CHO} \\   \\ \text{H} \end{array}$	gliceraldehid	19
Aldehids i cetones	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	acetaldehid	18
Amines i amides	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2\text{NH}_2$	etilamina	13
Àcids carboxílics de base pirimidínica		àcid nicotínic	7
Purines		adenina	5
Hidrocarburs:			
Alifàtics	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	propà	140
Aromàtics		naftalens	87
Polars		isoquinolines	14

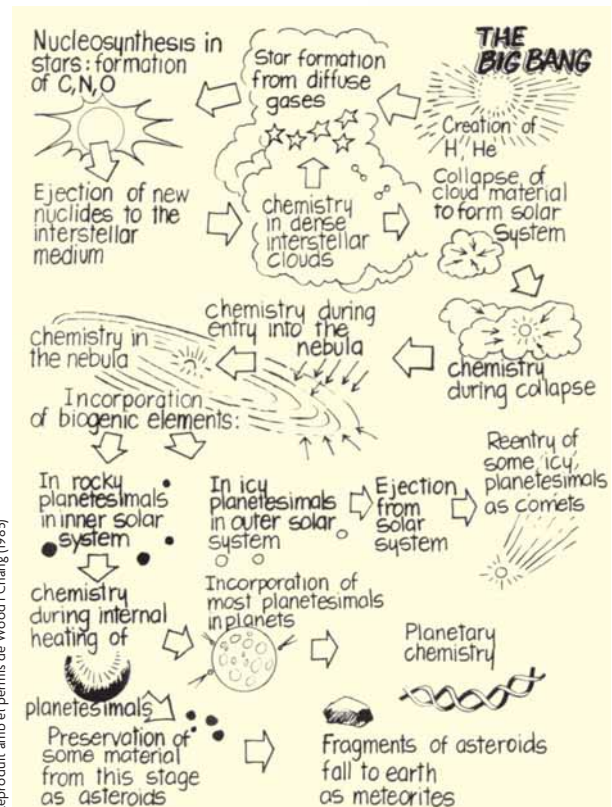
Taula 1. Resum dels tipus de molècules més importants que es troben en les condrites carbonàcies.

de l'espai exterior. Per exemple, s'han arreplegat mostres de meteorits originats en la Lluna, Mart o fins i tot Mercuri. L'aportació més important, però, és del cinturó d'asteroides. Els asteroides són petits cossos rocosos que, en caure en una òrbita d'acreció durant les primeres etapes de la formació del Sistema Solar, es van veure afectats per l'estirada gravitatòria dels planetes gegants que ja s'havien format però no van aconseguir formar el seu propi planeta, per la qual cosa n'hi va haver milers que van quedar orbitant el Sol com a grups de roques entre Mart i Júpiter. Tots els meteorits arriben a la Terra després de patir un impacte que en desestabilitza la localització original, però el cinturó d'asteroides està tan abarrotat que les col·lisions també són molt freqüents i han posat fragments d'asteroides en l'òrbita terrestre des de l'acreció del planeta.

Les condrites carbonàcies tenen una composició primitiva i mostren distribucions elementals semblants a les solars, desproveïdes, fins a un cert punt, dels elements més volàtils, H, C, O i N. Aquests meteorits són poc comuns, comprenen només el 4,7% del total dels que han caigut des de 1806. Se n'han trobat molts més (se'n diuen, de fet, «trobat») però, amb l'excepció d'alguns que es van trobar a l'Antàrtida se solen contaminar molt ràpidament per la química de la biosfera i, com que, especialment, els bacteris els prefereixen com a aliment, es descomponen en entorns terrestres. Les condrites carbonàcies es classifiquen en diferents subgrups depenent, entre altres factors, de la quantitat d'aigua que contenen, les fases hídriques dels seus minerals i les diferències d'inclusió (Zolensky et al., 1997).

Totes les condrites carbonàcies contenen carboni orgànic, que varia en complexitat des dels materials orgànics macromoleculars insolubles semblants als querògens fins a compostos solubles simples, alguns dels quals són idèntics a les biomolècules. Per tant, els estudis d'aquests meteorits han proporcionat no sols proves que es poden formar compostos idèntics a les molècules de la vida de manera abiòtica, sinó també informació sobre l'inventari orgànic que probablement va anar incorporant la Terra en els primers moments. La taula 1 mostra un resum dels tipus de molècules més importants que es troben en les condrites carbonàcies i la seua distribució, però se sap que molts més hi són presents, encara que només siga per la seua composició elemental (Schmitt-Kopplin et al., 2010).

Els compostos aplegats en la taula 1 (Pizzarello, Cooper i Flynn, 2006; Pizzarello, Williams, Lehman, Ho-



Reproduït amb el permís de Woodliff Chang (1985)

Figura 1. El 1985 la NASA va publicar aquesta curiosa vinyeta infogràfica que ens transporta al llarg d'un camí d'evolució còsmica de quasi deu mil milions d'anys (i en el qual, certament, la inclusió de la cadena de DNA potser va massa lluny).

**«ELS ESTUDIS DE METEORITS  
HAN PROPORCIONAT  
INFORMACIÓ SOBRE  
L'INVENTARI ORGÀNIC QUE  
PROBABLEMENT VA ANAR  
INCORPORANT LA TERRA EN  
ELS PRIMERS MOMENTS»**

lland i Yarger, 2011) se solen trobar en extraure la pols del meteorit mitjançant aigua i dissolvents. No obstant això, els compostos lliures també es poden extraure de materials orgànics insolubles sota condicions hidrotèrmiques (300 °C i 100 megapascals) no molt diferents de les que es troben en les fumaroles del fons de l'oceà (Yabuta, Williams, Cody, Alexander i Pizzarello, 2007). Aquest tractament pot

produir hidrocarburs, així com molècules que contenen oxigen com els àcids dicarboxílics i, sorprenentment, grans quantitats d'amoníac (Pizzarello i Groy, 2011).

Per bé que els profunds estudis moleculars i isotòpics fets durant més de quaranta anys han contribuït en gran manera a incrementar el nostre coneixement de la distribució, propietats i possibles condicions per a la formació de compostos meteorítics orgànics, encara no comprem completament les vies sintètiques ni els entorns originals bàsics (és a dir, presolars, enfront dels solars) d'alguns d'aquests.

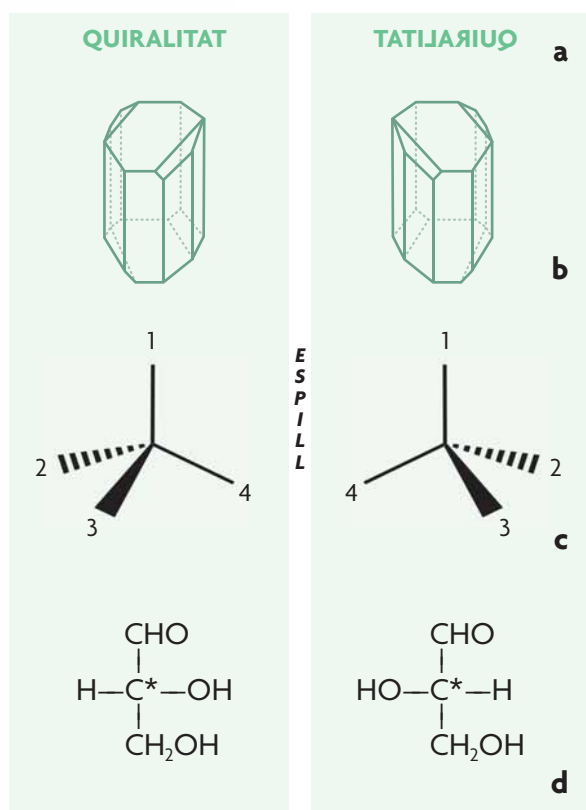


Figura 2. La quiralitat és una propietat general dels objectes que poden existir en dues formes que són imatges especulars l'una de l'altra però no es poden superposar. Podria ser la propietat d'assemblatges de diversos components (a), de cristalls (b) i de qualsevol molècula orgànica composta d'un carboni i quatre substituents diferents, coneguts com a carbons asimètrics (c-d).

Encara més esquiva és la valoració d'una possible exobiologia, és a dir, com l'aportació exògena de material meteorític podria haver portat a l'origen de la vida. Com suggereixen la figura 1 i la taula 1, la formació de molècules compostes de C, H, O i N sembla un procés evolutiu universal que provoca una gran complexitat química però es produeix per vies fonamentalment diferents abans i després de l'inici de la vida. L'evolució prebiòtica, de fet, mostra característiques d'una química regida únicament per forces fisicoquímiques, mentre que la resta de la vida terrestre, siga simple o complexa, demostra una selectivitat estrictament química en l'estructura i funció tant dels seus components polimèrics com dels monomèrics. Es poden trobar exemples comparatius en bioquímica. Per exemple, els aminoàcids meteorítics presenten una diversitat estructural quasi completa per a un cert nombre de carbonis, són menys abundants a mesura que creixen les seues cadenes de carboni i podem trobar-ne prop de cent de diferents, mentre que les proteïnes terrestres només tenen 22 components (Pizzarello et al., 2006).

## BIOQUÍMICA A PARTIR DELS METEORITS?

Un altre aspecte de la quimiobiogènesi és l'estudi de la possibilitat que alguna de les característiques químiques de la bioquímica terrestre poguera derivar de la cosmoquímica. En aquesta cerca d'una possible relació entre la matèria orgànica i la bioquímica dels meteorits destaca l'asimetria molecular. La quiralitat, del grec *χειρ*, que significa "mà", és una propietat general dels objectes que, com les mans, poden existir en dues formes que són imatges especulars l'una de l'altra però no es poden superposar. També és una propietat de qualsevol molècula orgànica amb un carboni i quatre substituents diferents, allò que es coneix com a carboni asimètric (C\* en la figura 2). Ens referim amb el nom d'enantiòmers a ambdues formes especulars d'un compost quiral. En el cas de compostos bioquímics com els aminoàcids i els hidroxiàcids, els denominem enantiòmers D- i L- (del llatí *dexter* i *laevus*).

La quiralitat és abans que res una propietat interactiva, ja que es pot visualitzar fàcilment pensant en dues persones encaixant les mans dretes en compte d'una d'esquerra i una de dreta. Per aquesta raó, és fonamental per al progrés de les funcions i estructures de la vida existent; per exemple, tots els aminoàcids de les proteïnes terrestres són de configuració L, mentre que el sucre dels polímers d'informació, el DNA i l'RNA, sempre és un enantiòmer D. La quiralitat, per tant, és un tret molecular indispensable d'algunes biomolècules essencials.

Ateses les distribucions estocàstiques determinades per a tots els meteorits orgànics, va ser inesperat i emocionant descobrir que alguns aminoàcids meteorítics presentaven un excés enantiomèric L. Anteriorment, la investigació va estar envoltada de polèmica a causa de l'«homoquiralitat» de les proteïnes terrestres i a la possibilitat que les mostres contingueren contaminació terrestre, però finalment es van detectar en alguns compostos que són abundants en meteorits però no molt comuns en la bioquímica terrestre, els  $\alpha$ -metil- $\alpha$ -aminoàcids, i es van observar excessos enantiomèrics (*ee*) que, si bé no eren tan extensos, sí que tenien la mateixa configuració (L) que els aminoàcids terrestres (Pizzarello i Groy, 2011). Fins avui, deu d'aquests compostos i un hidroxiàcid presenten *ee*, i les descobertes han fet ressorgir les especulacions sobre si els processos prebiòtics extraterrestres podrien haver aportat a la Terra primigènia un inventari «primordial» de molècules orgàniques essencials amb un avantatge en l'evolució molecular a causa de la seua asimetria quiral, és a dir, especulacions sobre una possible exobiologia.

Entre els possibles efectes d'una aportació exògena de material carbonaci, l'extracció de molècules forma-



MÈTODE

Figura 3. Un fragment del meteorit de Murchison al Museu Nacional d'Història Natural de Washington (EUA). Els descobriments que ha proporcionat aquest meteorit van permetre als científics suggerir que els components meteorítics podrien haver contribuït amb la seua capacitat d'autoassemblatge a l'entorn d'una Terra primerenca.

dores de vesícules del meteorit de Murchison també podria tenir especial rellevància (figura 3). Deamer va demostrar el 1985 que les vesícules estan formades per components orgànics del meteorit de Murchison, com la mescla entre components amfifílics i àcids carboxílics amb cadenes més llargues, entre d'altres, i que col·laboren eficientment amb la formació de membranes i vesícules amb un increment sostingut de la tensió superficial de les solucions aquoses (Deamer, 1985). Els resultats plantegen una perspectiva interessant, que els components meteorítics podrien haver contribuït amb la seua capacitat d'autoassemblatge a l'entorn d'una Terra primerenca.

Per a concloure aquest breu repàs de la química dels meteorits carbonacis ens podríem preguntar si el títol és raonable i podem, en efecte, pensar que la cosmoquímica va contribuir a l'origen de la vida. Encara que ens veiem restringits per tot el que ignorem sobre el seu origen, les dades disponibles fins ara ens permeten almenys establir un escenari plausible en què materials exògens com els dels meteorits i, probablement, els cometes van arribar en gran nombre a la Terra primigènia i van contribuir a la reserva orgànica del planeta, perquè proporcionaren un mitjà incipient de selecció mitjançant alguns dels seus compostos quirals i els seus catalitzadors i contribuïren a l'evolució molecular prebiòtica.

A causa de la immensa quantitat d'informació de què manquem en la nostra investigació, l'anunci del 6 de ge-

**«LES DADES DISPONIBLES  
FINS ARA ENS PERMETEN  
ESTABLIR UN ESCENARI  
PLAUSIBLE EN QUÈ  
MATERIALS EXÒGENS COM  
ELS DELS METEORITS  
I, PROBABLEMENT, ELS  
COMETES VAN ARRIBAR  
EN GRAN NOMBRE A LA  
TERRA PRIMIGÈNIA I VAN  
CONTRIBUÏR A LA RESERVA  
ORGÀNICA DEL PLANETA»**

ner de 2015 que deia que la missió Kepler havia confirmat el mil·lèsim exoplaneta candidat i que sis dels nous exoplanetes confirmats són d'una grandària semblant a la de la Terra i estan en les zones habitables dels seus respectius estels ha estat, en certa manera, tranquil·litzador... Potser Galileu no pensava en l'exobiologia quan va sentenciar *astra regunt*, però tot i això, mirar als estels encara pot oferir-nos informació bàsica. ☺

#### REFERÈNCIES

- Deamer, D. (1985). Boundary structures are formed by organic components of the Murchison carbonaceous chondrite. *Nature*, 317, 792–794. doi: 10.1038/317792a0
- Lerman, L. (2010). The primordial bubble: Water, symmetry breaking, and the origin of life. En R. M. Lyndell-Bell, S. C. Morris, D. Barrow, J. L. Finney, & C. Harper. (Eds.), *Water and life: The unique properties of H<sub>2</sub>O* (pp. 259–290). Boca Raton: CRC Press.
- Pizzarello, S., Cooper, G. W., & Flynn, G. J. (2006). The nature and distribution of the organic material in carbonaceous chondrites and interplanetary dust particles. En D. Lauretta, & H. Y. McSween Jr (Eds.), *Meteorites and the Early Solar System II* (pp. 625–651). Tucson: University of Arizona Press.
- Pizzarello, S., & Groy, T. L. (2011). Molecular asymmetry in extraterrestrial organic chemistry: An analytical perspective. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75, 645–656. doi: 10.1016/j.gca.2010.10.025
- Pizzarello, S., Williams, L. B., Lehman, J., Holland, G. P., & Yarger, J. L. (2011). Abundant ammonia in primitive asteroids and the case for a possible exobiology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 108, 4303–4306. doi: 10.1073/pnas.1014961108
- Schmitt-Kopplin, P., Gabelica, Z., Gougeon, R. D., Fekete, A., Kanawati, B., Harir, M., ... Hertkorn, N. (2010). High molecular diversity of extraterrestrial organic matter in Murchison meteorite revealed 40 years after its fall. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 107, 2763–2768. doi: 10.1073/pnas.0912157107
- Von Kiedrowski, G. (Org.). (2005, September 28–October 1). *Chembiogenesis: Prebiotic chemistry and early evolution*. ECLT: Venice International University. Consultat en [http://www.istpaae.org/Web\\_Final\\_Report/scientific\\_meetings\\_at\\_eclt/workshops/second\\_year\\_april\\_2005\\_marc/prebiotic\\_chemistry\\_and\\_ear.html](http://www.istpaae.org/Web_Final_Report/scientific_meetings_at_eclt/workshops/second_year_april_2005_marc/prebiotic_chemistry_and_ear.html)
- Wood, J. A., & Chang, S. (Eds.). (1985). *The Cosmic History of the Biogenic Elements and Compounds*. Washington, DC: Scientific and Technical Information Branch, National Aeronautics and Space Administration Publisher.
- Yabuta, H., Williams, L. B., Cody, G. D., Alexander, C. M. O'D., & Pizzarello, S. (2007). The insoluble carbonaceous material of CM chondrites: A possible source of discrete organic compounds under hydrothermal conditions. *Meteoritics & Planetary Science*, 42, 37–48. doi: 10.1111/j.1945-5100.2007.tb00216.x
- Zolensky, M. E., Mittlefehldt, D. W., Lipschutz, M. E., Wang, M.-S., Clayton, R. N., Mayeda, T. K., ... Barber, D. (1997). CM chondrites exhibit the complete petrologic range from type 2 to 1. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 5099–5115. doi: 10.1016/S0016-7037(97)00357-8

**Sandra Pizzarello.** Professora i investigadora del departament de Química i Bioquímica de la Universitat Estatal d'Arizona. Durant més de trenta anys s'ha centrat en l'estudi de la matèria orgànica en meteorits del tipus condrita carbonàcia, especialment en les característiques moleculars, isotòpiques i quirals dels seus compostos solubles. Recentment s'ha ocupat de l'estudi dels aminoàcids no racèmics provinents de meteorits. Ha publicat en revistes com *Science* i *PNAS*, entre d'altres.