



©Ausiàs Acarín

Escrit per:

**Antonio Lazcano**

Universitat Autònoma de Mèxic

## ***L'ASTROBIOLOGIA I L'ESTUDI DEL SORGIMENT DE LA VIDA A L'UNIVERS***

### **Introducció**

Temps abans que Jean-Baptiste de Lamarck introduís la idea de la generació espontània a la biologia evolutiva per tal d'explicar la primera aparició de vida, tant científics com filòsofs (Lazcano, 2001) havien discutit, a voltes amb un detall considerable, la possibilitat que altres planetes estiguessin habitats. La majoria de les vegades es tractava d'especulacions que s'assentaven sobre la idea d'un univers uniforme però amb cap o poques bases empíriques. Avui en dia, les nostres aproximacions al sorgiment de la vida a l'Univers han canviat de manera espectacular; ni la formació dels planetes ni l'origen de la vida no són considerats el resultat d'esdeveniments inescrutables i atzarosos, sinó més aviat la conseqüència natural d'esdeveniments evolutius. La interconnexió entre aquests dos processos és evident: comprendre la formació dels planetes és de vital importància per a la nostra comprensió sobre l'ambient terrestre primerenc i, en conseqüència, sobre l'origen dels sistemes vius.

Tot i que és temptador assumir que l'aparició de la vida és un procés inevitable que s'esdevé contínuament per tot l'Univers, encara està per demostrar que existeixi (o hagi existit) en altres llocs que no siguin la Terra. Amb l'excepció de Mart i d'algunes especulacions sobre Europa,

les perspectives que hi hagi vida en el nostre Sistema Solar han disminuït. Malgrat que hi ha proves que l'ambient marcià primerenc era temperat i podria haver estat semblant a la Terra primitiva, avui la superfície de Mart és un desert absolutament glaçat, banyat constantment per una radiació ultraviolada de longitud d'ona curta. Aquest ambient altament oxidant ha fet que qualsevol hipotètica biosfera s'extingís o l'ha limitada a uns pocs nínxols soterrats sota la superfície, on sembla ser que hi ha aqüífers de salmorres. De fet, el balanç de proves suggereix que la vida en el nostre sistema planetari està confinada al nostre planeta. Les discussions encetades arrel de l'anunci que el meteorit Allan Hills 84001 duia restes de vida marciana antiga (McKay et al., 1996) palesaren que manquem d'un consens ben definit quant als criteris pels quals poder reconèixer ràpidament proves d'activitat biològica extraterrestre.

El reconeixement que els impactes de meteorits podrien haver portat a un intens intercanvi d'ejeccions rocoses entre els planetes interns durant les primeres fases del Sistema Solar ha portat a alguns científics a discutir la possibilitat que la vida en el nostre planeta tingués un origen últim a Mart (Nisbet i Sleep, 2001). És força divertit veure que les discussions sobre la panspèrmia, és a dir la transferència d'organismes d'un planeta a un altre, ressusciten periòdicament sense aportar cap

explicació detallada dels darrers mecanismes que poden haver dut a l'aparició de vida en ambients extraterrestres habitables. És cert que l'elevada resistència als rajos UV de diferents espècies procariotes en les baixes temperatures de l'espai profund, la probabilitat de transport artificial o direccional de microorganismes a través de sondes enviades a altres cossos al Sistema Solar, i el reconeixement de l'origen marcià d'alguns meteorits han donat un suport addicional a la hipòtesi de la panspèrmia (Horneck, 1998). Tanmateix, això només situa el problema en un altre lloc, i la majoria d'investigadors prefereixen estudiar l'origen de la vida en el marc històric de l'anàlisi evolutiva que assumeix que aquesta tingué lloc a la Terra.

### L'antiguitat de la vida a la Terra

Tal i com han demostrat els recents debats, la determinació de l'origen biològic del que han estat considerades les primeres traces de vida pot esdevenir un assumpte més aviat conflictiu (van Zullen et al., 2002). El registre geològic de l'Arqueà primerenc és encara més escàs, i la majoria de les roques que s'han preservat han sofert metamorfosis en una extensió considerable. Tanmateix hi ha proves que la vida va sorgir a la Terra tan aviat com fou possible. S'ha discutit



© Georgette Douwma

(Brasier et al., 2002) l'origen biològic de les microestructures interpretades com remanents de cianobacteris en els sediments d'Apex de  $3,5 \times 10^9$  anys d'antiguitat de la formació australiana Warrawoona (Schopf, 1993). Tot i que és possible que l'origen últim d'alguna d'aquestes estructures pugui ser explicat mitjançant processos no biològics, d'altres estan clarament dotades de característiques diagnòstiques de comunitats microbianes associades a un sistema de fons marí hidrotermal.

Així doncs, malgrat que tradicionalment s'ha assumit que l'origen i l'evolució primerenca de la vida implicà diversos bilions d'anys (Oparin, 1938; Huang, 1959; Cloud, 1968; Dickerson, 1978), aquestes visions ja no són sostenibles. Si bé és cert que no és possible assignar una cronologia precisa a l'aparició de la vida, en els darrers anys s'han reduït considerablement les estimacions sobre el temps necessari perquè es doni tal esdeveniment. Generalment es considera que el planeta romangué fos durant diversos centenars de milions d'anys després de la seva formació ara fa  $4,6 \times 10^9$  anys (Wetheril, 1990), i que el darrer augment dels impactes podria haver consumit els oceans i destruït tota la vida en els planetes fa  $3,8 \times 10^9$  anys (Sleep et al, 1989). No obstant això, hi ha

proves paleontològiques convincents que indiquen que comunitats microbianes molt diverses eixiren durant l'Arqueà primerenc i mitjà (Nisbet i Sleep, 2001; Schopf, 2002; Van Kranendonk, 2002).

Aquest desenvolupament tan ràpid explica l'escala de temps relativament petita requerida per l'origen i l'evolució primerenca de la vida a la Terra, i suggereix que el factor crític podria haver estat la presència d'aigua líquida, cosa possible un cop la superfície terrestre es refredà. Però fins ara no se sap si el sorgiment de la vida terrestre era un esdeveniment probable perquè el rol de la casualitat en l'evolució química estava fortament constret per les condicions ambientals i/o les propietats inherents als sistemes químics prebiòtics, o si nosaltres som l'únic resultat d'una sèrie d'esdeveniments a l'atzar poc probables.

### El registre fòssil molecular

El coneixement que els gens i els genomes són uns documents històrics extraordinàriament rics dels quals es pot recuperar abundant informació evolutiva ha ampliat el nombre d'estudis filogenètics d'una manera insospitada. El desenvolupament de tècniques de seqüenciació d'àcids nucleics eficients, que ara permeten la seqüenciació ràpida de genomes cel·lulars, combinat amb

l'auge simultani i independent de la ciència informàtica, ha portat no només a un creixement explosiu del nombre de bases de dades i nous i sofisticats enginyers per a la seva explotació, sinó també al reconeixement que diferents macromolècules podrien estar unides en qualitat de cronòmetres en la construcció de filogènies gairebé universals.

La cladística molecular podria proporcionar algunes claus d'alguns estadis molt primerencs de l'evolució biològica. Tanmateix, és difícil d'imaginar com l'aplicabilitat d'aquest enfocament pot estendre's més enllà d'un llinar que correspon a un període d'evolució cel·lular en el qual la biosíntesi proteica encara estava gestant-se. Els estadis més antics encara no són susceptibles d'anàlisis filogenètiques moleculars. Tot i que hi ha hagut avenços considerables en la comprensió dels processos químics que haurien tingut lloc abans del sorgiment dels primers sistemes vius, els inicis de la vida encara estan sumits en el misteri. Abordar el problema de forma cladística no és factible, ja que tots els possibles intermediaris que podrien haver existit antany fa temps que han desaparegut. La temptació de fer-ho d'una altra manera encara es resisteix més. A causa del gran forat que hi ha en les descripcions actuals de la transició evolutiva entre

la síntesi prebiòtica de compostos bioquímics i el darrer ancestre comú de tots els éssers vius existents (Lazcano, 1994), és naïf provar de descriure l'origen de la vida i la naturalesa dels primers sistemes vivents a partir dels arbres filogenètics amb arrel disponibles.

No obstant, hi ha hagut diferents intents d'utilitzar dades macromoleculares per tal de donar suport a les demandes d'hipertermofília dels primers organismes vius i a la idea d'un origen calent de la vida. L'examinació de les branques procariòtiques dels arbres d'rRNA sense

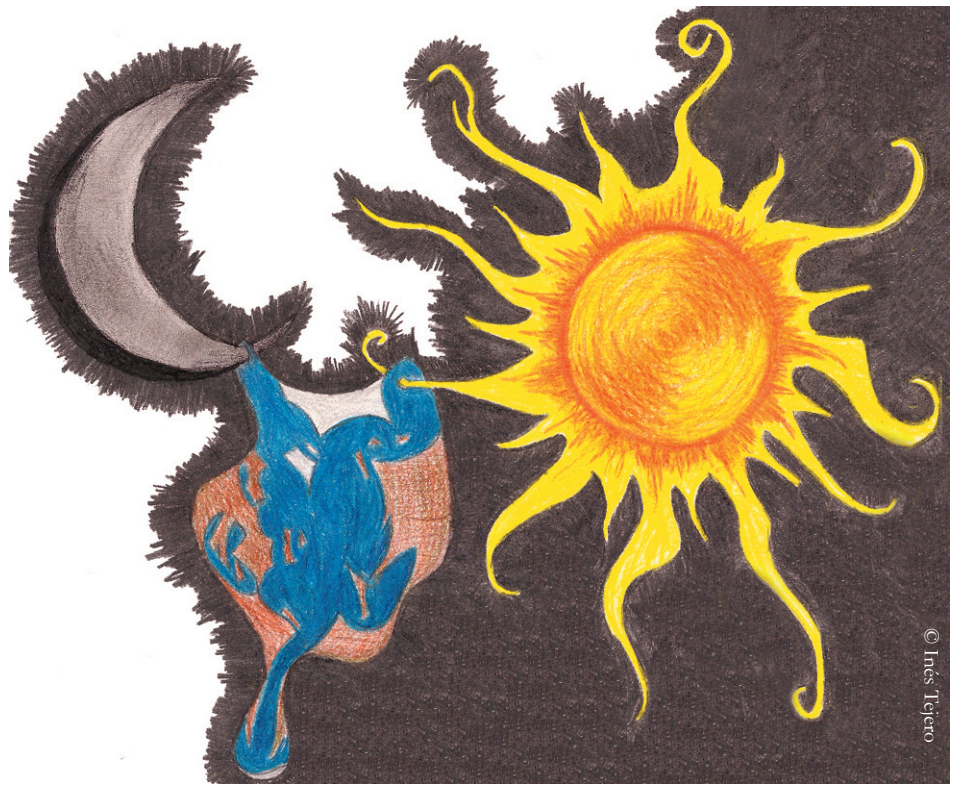
© Julian Baum



arrel ha suggerit que els ancestres tant d'eubacteris com d'arqueobacteris eren termòfils extrems, és a dir organismes que creixen òptimament a temperatures que van de 90° C en amunt (Achenbach-Richter et al., 1987). Sembla que les filogènies universals amb arrel confirmen aquesta possibilitat, atès que els bacteris *amants de la calor* ocupen branques curtes a la porció basal dels cladogrames moleculars (Stetter, 1994).

Aquesta correlació entre la hipertermofília i el primitivisme ha donat suport a la idea que els estils de vida *amants de la calor* són rèpliques dels règims d'alta temperatura de l'Arqueà primerenc que podrien haver estat el resultat d'un règim d'impacte sever (Sleep et al., 1989). També s'ha interpretat com una prova d'un origen de la vida d'alta temperatura, la qual cosa (d'acord amb aquestes hipòtesis) va tenir lloc en ambients extrems tals com aquells que avui es troben en les boques volcàniques submarines (Holm, 1992) o en altres llocs en els quals les superfícies minerals podrien haver potenciat l'aparició dels sistemes biològics quimioautotrofics primordials (W'SchtershSuser, 1990).

Tot i que no s'han descobert organismes mesofílics més antics que els bacteris *amants de la calor* és possible que la hipertermofília sigui una adaptació secundària que evolucionés en temps geològics primerencs (Sleep et al., 1989; Confalonieri et al., 1993; Lazcano, 1993). De fet aquesta possibilitat està fortament recolzada per l'anàlisi filogenètica del contingut de G+C dels gens d'rRNA, que suggereix que l'últim ancestre comú no fou un organisme hipertermofílic (Galtier et al., 1999). En realitat, els hipertermòfils no només comparteixen les mateixes característiques bàsiques de la maquinària molecular de totes les altres formes de vida; també ells requereixen un nombre d'adaptacions bioquímiques específiques. Qualsevol teoria sobre l'origen calent de la vida ha de portar associada la qüestió de com aquests trets, o els seus predecessors evolutius, sorgiren espontàniament en l'ambient prebiòtic. Aquestes adaptacions podrien incloure proteïnes semblants a les histones, enzims modificadors del RNA, i la girasa



© Inés Tetero

reversa, un peculiar enzim dependent d'ATP que retorça el DNA tot donant-li una conformació superenrotllada positiva (Confalonieri et al., 1993). Les claus de l'origen de la hipertermofília poden estar ocultes en aquesta llista. En conseqüència, tot i que l'antiguitat dels hipertermòfils sembla estar ben establerta, no hi ha evidències que tinguin un aparell genètic molecular primitiu. Les qüestions més bàsiques quant a l'origen de la vida estan relacionades amb entitats replicatives molt més simples que foren precedides per una llarga sèrie d'esdeveniments evolutius, el més antic dels quals (que coneguem) són els bacteris *amants de la calor*. Perquè els hipertermòfils es localitzen a la base dels arbres evolutius universals és encara una qüestió sense resoldre, però no pot descartar-se totalment la possibilitat que l'adaptació a ambients extrems sigui part de les innovacions evolutives que aparegueren al tronc de l'arbre.

### Un origen de la vida heterotròfic?

És improbable que el registre paleontològic proporcioni les dades que expliquin com s'originà la vida. No hi han proves geològiques de les condicions ambientals a la Terra en el temps de l'origen de la vida ni tampoc cap registre fòssil dels processos evolutius que

precediren l'aparició de les primeres cèl·lules. Hi ha una manca d'informació directa no tan sols sobre la composició de l'atmosfera terrestre durant el període de l'origen de la vida, sinó també sobre la temperatura, els valors de pH de l'oceà, i d'altres condicions ambientals locals que podrien o no haver estat importants per al sorgiment dels sistemes vius. Atesa aquesta situació, no és sorprenent que s'hagin proposat moltes teories alternatives i fins i tot oposades.

La idea de la vida com a característica emergent de la naturalesa estava molt estesa durant el segle passat, però no fou fins que Oparin (1938) proposà que els primers sistemes vius foren microorganismes heterotròfics que resultaren de l'evolució de compostos orgànics sintetitzats abiòticament i de la formació de sistemes supramoleculars autosustentables, que l'estudi de l'origen de la vida passà de ser una discussió purament especulativa a ser un programa de recerca en què treballar. Avui en dia els esforços científics en aquest camp no estan orientats necessàriament cap a una producció in vitro d'un sistema viu, sinó més aviat cap a la construcció d'una narrativa històrica coherent tot teixint conjuntament un gran nombre de troballes observacionals diverses i els resultats experimentals.

La hipòtesi de l'evolució química està recolzada no només per un nombre de simulacions de laboratori, sinó també per un ampli rang d'observacions astronòmiques i l'anàlisi de mostres de material extraterrestre. Aquestes inclouen l'existència de molècules orgàniques de possible significat prebiòtic en els núvols interestel·lars i en els nuclis dels cometes, i de petites molècules de considerable importància bioquímica que es troben a les condrites carbonoses. La copiosa ordenació d'aminoàcids, àcids carboxílics, purines, pirimidines, hidrocarbonis, i d'altres molècules que han estat trobades en el meteorit Murchison de  $4,5 \times 10^9$  anys d'antiguitat i en d'altres condrites carbonoses donen una credibilitat considerable a la idea que apunta que a la Terra primitiva s'esdevingueren síntesis semblants (Or- et al., 1990; Becker et al., 2002).

També hi ha un fort suport experimental a la idea de la formació prebiòtica de molècules orgàniques. La primera síntesi exitosa de compostos bioquímics sota condicions primordials plausibles fou acomplerta per l'acció de descàrregues elèctriques que actuaren durant una setmana sobre una barreja de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  i  $\text{H}_2$ , tot produint una barreja racèmica que incloïa diversos aminoàcids proteics i no proteics, així com hidroxiàcids, urea i altres molècules orgàniques (Miller, 1953). Uns anys més tard, Or- (1960) demostrà que l'adenina, un compost purínic que juga un rol central tant en processos genètics com en l'ús de l'energia biològica, era un producte principal de la condensació no enzimàtica de l'HCN, el qual al seu torn és un constituent principal dels núvols interestel·lars i dels nuclis dels cometes. El rol potencial de l'HCN com a precursor en la química prebiòtica ha estat, a més a més, recolzat per evidències experimentals que demostren que els productes hidrolítics dels seus polímers inclouen aminoàcids, purines i àcid oròtic, que és un intermediari de la biosíntesi d'uracil i citosina, dos components principals de l'RNA, cosa que indica que diversos compostos bioquímics podrien haver estat formats simultàniament a partir de reactius

simples (Ferris et al., 1978). Arreu s'ha revisat (Or- et al., 1990) la síntesi al laboratori d'altres compostos orgànics d'importància bioquímica tals com àcids tricarboxílics, alcohols, porfirines, àcids grassos i diversos coenzims sota possibles condicions primitives.

Els resultats esmentats anteriorment suggereixen que la sopa prebiòtica havia de ser un meravellós i desconcertant món de química orgànica, però que no podia incloure tots els compostos o les estructures moleculars que avui es troben fins i tot en les formes de vida existents més antigues -les primeres cèl·lules tampoc no van néixer completament emboetades, com el monstre d'en Frankenstein, a partir de simples precursors presents en els oceans primitius. El fet que un nombre de constituents químics de les formes de vida contemporànies pugui ser sintetitzat no enzimàticament en condicions de laboratori no implica necessàriament que també fossin essencials per l'origen de la vida, o que estiguessin disponibles a l'ambient primitiu. És més, la manca d'acord sobre els constituents químics de l'atmosfera primitiva també ha portat a importants debats. Tot i que generalment s'accepta que l'oxigen lliure hi era absent, bastants planetòlegs recolzen la possibilitat que estigués constituïda per gasos molt menys reduïts com el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  i l' $\text{H}_2\text{O}$  (Kasting, 1993), mentre que els químics prebiòtics prefereixen barreges més reductores (Lazcano i Miller, 1996).

La correlació entre els compostos que són produïts en simulacions prebiòtiques i aquells trobats en els meteorits carbonosos (Becker et al., 2002) és massa xocant per ser fortuïta, i recolza fortament aquells que diuen que aquestes molècules foren part de l'ambient químic a partir del qual es desenvolupà la vida. Tanmateix, el salt dels monòmers bioquímics i els petits oligòmers a les cèl·lules vivents és enorme. Hi ha un forat molt important entre les descripcions actuals de la sopa primitiva i l'aparició de la replicació no enzimàtica. Resoldre aquesta qüestió és essencial per a la nostra comprensió de l'origen de la biosfera: independentment de la complexitat química de l'ambient

prebiòtic, la vida no podria haver sorgit en absència d'un mecanisme de replicació genètica que assegurés el manteniment, l'estabilitat i la diversificació dels seus components bàsics.

### **El món d'RNA i l'origen de la replicació**

Un dels principals problemes no resolts de la biologia contemporània és com va originar-se l'ubic sistema genètic de la vida existent basat en els àcids nucleics. El descobriment de les molècules d'RNA catalíticament actives proporcionà una credibilitat considerable a indicacions anteriors que apuntaven que els primers organismes vius estaven basats en gran part en ribozims, un estadi hipotètic anomenat el món de RNA (Gilbert, 1986; Joyce, 2002). Aquesta possibilitat ara està àmpliament acceptada, però la llibertat química dels components d'RNA suggereix que aquesta molècula no fou el resultat de l'evolució prebiòtica. És improbable que les tortuoses molècules de RNA estiguessin flotant en l'oceà primitiu, preparades per ser utilitzades com a gens primordials. Tal i com s'ha revisat en diversos llocs (Lazcano i Miller, 1996), des d'un punt de vista químic el món d'RNA s'encara a importants problemes, que inclouen l'origen de la seva meitat ribosa, la ràpida descomposició d'aquest i altres sucres sota condicions primitives, i la disponibilitat de polifosfats i d'esters de fosfats, que no són reactius prebiòtics.

Les dificultats esmentades han portat a proposar móns de preRNA, on les macromolècules informatives amb esquelets diferents dels dels àcids nucleics existents podrien haver estat dotats també d'activitat catalítica, és a dir d'un fenotip i un genotip resident en les mateixes molècules. És clar que es desconeix la naturalesa dels polímers genètics i dels agents catalítics que podrien haver precedit l'RNA. Uns candidats interessants són els anomenats àcids nucleics peptídics, o PNAs, que són polímers lineals en què els esquelets de sucre-fosfat d'RNA i DNA estan substituïts per esquelets sense càrrega semblants a pèptids; aquests estan formats per unitats d'aminoàcids aquirals

units per unions amida, a les quals les bases estan covalentment unides (Nielsen, 1993). Per molt atractius que els PNAs puguin resultar per a alguns de nosaltres, l'origen de la replicació no enzimàtica segueix essent un problema principal no resolt. No obstant, els nous models experimentals aporten punts de vista interessants. La potenciació de la concentració de monòmers en sistemes experimentals tot simulant una llacuna secanera ha assolit la polimerització reeixida de més de 53 nucleòtids d'un motlle lligat a la superfície (Ferris et al., 1996), i s'ha descrit l'autoemboetat quiroselectiu de llargs oligòmers homoquirals d'anàlegs d'àcids nucleics a partir de barreges racèmiques de cadenes més petites cap a oligòmers (Bolli et al.; 1997).

Hi ha proves que suggereixen que la replicació pot ser un fenomen estès que inclogui sistemes químics que manquen de l'estructura familiar dels àcids nucleics. Aquesta possibilitat està recolzada per a) un pèptid  $\alpha$ -helicoidal de trenta-dos residus que pot fer de motlle i catalitzar la seva pròpia síntesi de fragments més petits activats sota condicions aquoses (Lee et al.; 1996); b) un producte en forma de ferradura, resultat de la reacció química entre una aminoadenosina i un ester aromàtic complex, el producte del qual potencia la formació de molècules similars en un solvent no aquós (Hong et al.; 1992); i c) miscel·les sintètiques que contenen hidròxid de liti i que són estabilitzades per un derivat de l'àcid octanoid, que neda en un solvent orgànic que al seu torn actua com a substrat per a la formació de miscel·les addicionals (Bachmann et al.; 1992). Així com és improbable que aquests sistemes autocatalítics no informacionals siguin ancestres de la nostra pròpia reproducció cel·lular basada en el DNA, la seva diversitat suggereix que els sistemes replicatius químics podrien estar molt més estesos en la naturalesa del que s'havia pensat.

### Consideracions finals

El principi bàsic de la teoria heterotròfica és que el manteniment i la reproducció

dels primers sistemes vius van dependre primàriament de les molècules orgàniques sintetitzades prebiòticament. No ha cessat la discussió de com tingué lloc la formació de la sopa primitiva. Tanmateix, és probable que cap mecanisme singular no pugui explicar l'ampli rang de compostos orgànics que es podrien haver acumulat a la Terra primitiva, i que la sopa prebiòtica fos formada per contribucions de síntesis endògenes en una atmosfera reductora, síntesis mitjançades per metalls sulfídics en les boques volcàniques submarines, i per fonts exògenes com cometes, meteorits i pols interplanetària. Aquesta

monòmers bioquímics sota condicions prebiòtiques plausibles. És clar que no totes les vies prebiòtiques són igualment eficients, però l'ampli rang de condicions experimentals sota les quals poden ser sintetitzats els compostos orgànics demostra que les síntesis prebiòtiques dels blocs constructors de la vida són robustes, és a dir que les reaccions abiòtiques que hi porten no es donen sota un rang estret definit per condicions de reacció altament selectives, sinó més aviat sota una àmplia varietat de posades a punt experimentals. Les nostres idees sobre la síntesi prebiòtica de compostos



Hieronymus Bosch, *La Creació del Món* (1504)

visió eclèctica no valora la importància relativa de les diferents fonts de compostos orgànics, solament reconeix l'àmplia varietat de fonts de compostos orgànics potencials, el material cru requerit per al sorgiment de la vida.

Com s'ha discutit aquí, està ben establerta l'existència de diferents mecanismes abiòtics pels quals es poden sintetitzar

orgànics estan basades en molta de mesura en els experiments en sistemes model. La robustesa d'aquest tipus de química està recolzada per l'existència de la majoria d'aquests compostos bioquímics en el meteorit Murchison. Així esdevé plausible, tot i que no està provat, que síntesis similars tinguessin lloc a la Terra primitiva. Per totes les incerteses que envolten el sorgiment de la vida, ens sembla que la

formació de la sopa prebiòtica és un dels esdeveniments més fermament establerts que tingué lloc a la Terra primitiva.

Així doncs, si es poden demostrar processos convincents que expliquin l'origen de la vida a la Terra, llavors és raonable concloure que la vida és el resultat natural d'un procés evolutiu, i que podria haver aparegut arreu de l'Univers. Tot i que no sabem com s'esdevingué la transició del no viu al viu, la majoria dels escenaris moderns comencen amb molècules orgàniques relativament simples, que ara se saben àmpliament distribuïdes (Becker et al., 2002), que són sintetitzades fàcilment, i que hipotèticament patirien més canvis evolutius que portarien a sistemes automantinguts i autoreplicatius a partir dels quals sorgí la biologia actual basada en el DNA i les proteïnes.

El distingit evolucionista americà George Gaylord Simpson (1973) escrigué un cop que "l'exobiologia encara és una ciència sense cap dada, i per tant no és cap ciència". Evidentment, avui no es podria dir el mateix de l'astrobiologia. La idea que la vida és el resultat d'un esdeveniment rar i fortuït ha estat substituïda per una narrativa evolutiva, d'acord amb la qual els sistemes biològics són el resultat d'un procés gradual però no necessàriament lent que començà amb la síntesi abiòtica de monòmers bioquímics i eventualment dugué a sistemes automantenibles i autoreplicables capaços de patir l'evolució darwiniana. No hi ha cap raó convincent per assumir que aquests processos només s'esdevinguessin a la Terra. L'escala de temps per l'origen i l'evolució primerenca de la vida i la senzillesa de la formació d'aminoàcids, purines i altres compostos bioquímics sota un rang relativament ampli de condicions reductores i l'abundància de molècules orgàniques arreu de l'espai alhora, tot parla a favor de lleis naturals que condueixen al sorgiment de la vida en ambients extraterrestres on prevalen condicions similars.

Malgrat tot, no pot descartar-se el rol de la contingència històrica. Tal i com antany

remarcà el filòsof francès Pascal, si el nas de Cleopatra hagués estat diferent, el curs de la història podria haver canviat. L'evolució precel·lular no fou una cadena contínua i irrompible de transformacions progressives que portaren fermament als primers sistemes vius. Probablement es donaren diversos culs-de-sac prebiòtics i començaments falsos. Tot i que podria ser cert que la transició cap a la vida a partir de sistemes no vius no requerís un grup de forces ambientals més aviat petit, no podem descartar la possibilitat que fins i tot una modificació insignificant de l'ambient primitiu hagués pogut impedir l'aparició de la vida en el nostre planeta. Per molt desagradable que pugui resultar aquesta conclusió, la vida podria ser un fenomen rar i fins i tot únic a l'Univers.

### Agraïments

Estic endeutat amb el professor Stanley L. Miller per les diverses discussions que hem tingut sobre aquest tema, que han dut a diferents publicacions en què es tracten aquestes qüestions. Agraïxo molt el suport del DGAPA-UNAM durant l'absència sabàtica en el laboratori del professor Ricardo Amils (Universidad Autónoma de Madrid).



**Antonio Lazcano** és llicenciat en Biologia per la Facultat de Ciències de la Universitat Autònoma de Mèxic i doctorat en Ciències per la mateixa facultat. Ha publicat nombrosos treballs d'investigació a revistes internacionals sobre l'origen i l'evolució de la vida.

És autor de tres llibres (*El Origen de la Vida*, *La Chispa de la Vida*, i *La Bacteria Prodigiosa*) i coautor de cinc textos de ciències naturals.

Ha sigut ponent d'unes 400 conferències de divulgació, és autor de més de 90 assaigs i articles de divulgació científica i ha participat en la filmació de pel·lícules per a la NASA.

L'any 1991 va rebre la Primera Medalla a la Investigació Biològica Alfonso L. Herrera.

Durant 1997-1998 va formar part del Comitè Científic organitzat per la NASA per supervisar la creació de l'Astrobiology Institute, que recull els millors laboratoris dels EUA dedicats a l'estudi de l'origen de la vida.

A l'actualitat és President de la International Society for the Study of the Origins of Life, essent el primer llatinoamericà en arribar a aquest càrrec i Fellow de la NASA NSCORT (Universitat de Califòrnia, San Diego).