



# L'origen de la vida: el que li hauria agradat saber a Darwin

- 26 de juny del 2012 a les 20.00 h
- Sala d'actes de La Llacuna Centre Cultural,  
Andorra la Vella



## **Juli Peretó i Magraner**

*Professor de bioquímica i biologia molecular de la UV i membre numerari de l'Institut d'Estudis Catalans*

### ▲ **Curriculum**

És professor titular de bioquímica i biologia molecular de la Universitat de València i membre del grup de genètica evolutiva de l'Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva de la mateixa universitat. Doctor en química (1988) realitzà estudis postdoctorals a la Universitat de Pennsylvania. Després ha realitzat treballs conjunts amb grups de recerca de les universitats Complutense de Madrid, del País Basc, de la Nacional Autònoma de Mèxic, Cardenal Herrera-CEU (València) i de Paris XI a Orsay. Els seus interessos investigadors se centren en l'origen de la vida i l'evolució del metabolisme, així com en la història de les idees sobre l'origen natural i la síntesi artificial de vida, temàtiques sobre les quals ha publicat articles en revistes especialitzades i de divulgació. És l'editor científic de l'àrea de bioquímica de l'Encyclopaedia of Astrobiology (Springer, 2011). Ha organitzat o dirigit nombrosos cursos sobre origen i evolució de la vida, especialment adreçats a ensenyants. És director del curs Origin, Evolution, and Future of the Biosphere, que agrupa cinc universitats europees dins de l'Erasmus Intensive Programme, patrocinat per l'Agència Espacial Europea. Ha publicat o editat diversos llibres, entre els quals Orígenes de la evolució biològica (Eudema, Madrid, 1994), Orígenes de la vida: en el centenari de A. I. Oparin (Ed. Complutense, Madrid, 1995), Lynn Margulis: una revolució en la evolució (PUV, 2001), L'origen de la vida d'A. I. Oparin i J. B. S. Haldane (PUV, 2006), François Jacob: el desvàn de la evolució (PUV, 2007) i La lluita per la vida de C. R. Darwin i A. R. Wallace (PUV, 2008). És coautor del manual universitari Fonaments de bioquímica (PUV, 5a edició, 2005; versió espanyola, 2007), del llibre de text de primer de batxiller Ciències per al món contemporani (ECIR, 2008) i de Simbiosis: seres que evolucionen junts (Ed. Síntesis, 2011). Ha preparat una edició commemorativa, il·lustrada per C. Puche, de L'origen de les espècies (UV-IEC, 2009) i ha assessorat les exposicions commemoratives amb motiu de l'Any Darwin. Ha estat l'assessor científic del documental Tras la huella de Darwin (UV, 2010). També ha traduït diverses obres, com ara la biografia del premi Nobel Sydney Brenner (Viure per a la ciència, Bromera/UV, 2004) o els llibres dels homenatges universitaris a Stanley L. Miller i a Francisco J. Ayala. Ha dirigit la traducció catalana del manual universitari Bioquímica de Lubert Stryer (IEC-Reverté, 2007). És assessor de la càtedra de Divulgació de la Ciència i de la càtedra de Pensament Contemporani de la UV i de les revistes Mètode, L'Espill i Pasajes. Ha estat director de la col·lecció de llibres científics "Sense fronteres" (coeditats per Bromera i la UV) entre 1995 i 2006. Entre 1994 i 2002 ocupà diversos càrrecs en l'equip rectoral de la UV, entre d'altres el vicerectorat d'Investigació i el de Cultura. Pertany a diverses societats científiques, és membre numerari de la secció de Ciències Biològiques de l'Institut d'Estudis Catalans (des de 2000), delegat del president de l'IEC per a les activitats a València i director de l'Espai Ciència de l'Octubre Centre de Cultura Contemporània. Ha estat secretari de la International Society for the Study of the Origin of Life (ISSOL)-The International Astrobiology Society (2005-2008) i ha estat elegit vicepresident segon d'aquesta societat per al trienni 2011-2014. És autor del bloc de divulgació científica El buit del temps.

## Resum

Els avenços en biologia, geologia, química i astronomia ens han permès elaborar models i hipòtesis sobre l'origen de la vida a la Terra en el marc de la teoria de l'evolució. Fa uns 4.000 milions d'anys, el planeta acumulava un copiós inventari de compostos orgànics produït per la química volcànica, atmosfèrica i còsmica. A mesura que els sistemes químics guanyaven complexitat, es va arribar a un punt crític amb l'aparició de polímers autoreplicatius. Això iniciava la possibilitat d'optimitzar els sistemes per selecció natural i donava carta de naturalesa a la contingència històrica, uns fenòmens que es van afegir al determinisme de la química abiòtica. Un punt crucial de l'origen de la vida va ser l'articulació dels sistemes supraquímics, com les vesícules autoreproductives, les xarxes químiques automantingudes i els polímers autoreplicatius, en les condicions de la Terra primitiva. Darwin reconegué que els processos de l'origen de la vida serien científicament comprensibles i experimentalment reproduïbles en un futur no gaire llunyà. Tot i desconèixer la majoria dels detalls, estem convençuts que aquest moment ha arribat.

## El context històric del problema

Les primeres teories de l'evolució biològica invocaven la generació espontània com el mecanisme per explicar l'aparició de la vida. Així, el 1802 Jean Baptiste Lamarck va proposar que les formes de vida més primitives sorgirien espontàniament per l'extrem més baix de cada línia evolutiva, mentre que Charles Darwin admetia en una nota dels seus quaderns (1837) que "l'íntima relació de la vida amb les lleis de les combinacions químiques, i la universalitat d'aquestes fan que la generació espontània no siga improbable". Fins i tot després del treball experimental de Louis Pasteur i John Tyndall demostrant la impossibilitat de la generació espontània de microorganismes, semblava que qualsevol explicació materialista de l'origen de la vida requeriria algun tipus d'aparició sobtada de les entitats vivents. Darwin i alguns dels seus seguidors més destacats, com Ernst Haeckel, van adoptar aquesta idea. Tanmateix, el naturalista anglès no va fer públiques mai les seues idees perquè considerava que la ciència no estava prou madura per atacar un problema de tanta envergadura. Però no es va estar d'opinar en privat i compartí els seus pensaments amb col·legues com el botànic Joseph D. Hooker o amb el codescobridor de la selecció natural Alfred R. Wallace. A Hooker li deia en una carta de 1871 que li era possible imaginar que "en un bassal calent, amb tota mena de sals amòniques i fosfòriques, llum, calor electricitat, es podria formar químicament un compost proteic preparat per a sofrir canvis més complexos". Aquesta breu frase captura l'essencial del plantejament modern sobre l'origen de la vida: compostos químics en medi aquós i fonts d'energia produiran molècules amb capacitat evolutiva. No es pot demanar més compromís materialista i evolucionista amb menys paraules.

No tot el món gaudia del geni i la gosadia intel·lectual de Darwin. Les dificultats empenyeren altres autors a afiliar-se a idees més excèntriques, com la possibilitat de l'eternitat de la vida o

El debat de la generació espontània i l'evolució



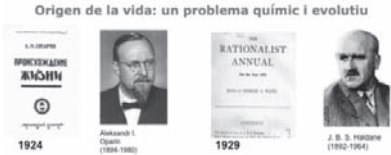
panspèrnia —és a dir, la distribució dels gèrmens de la vida d'un planeta a un altre—, o fins i tot la intervenció de forces sobrenaturals tot just al començament de la vida, una ideologia neovitalista que ha ressuscitat recentment sota la forma del moviment del disseny intel·ligent.

L'inici de la comprensió dels processos químics i físics associats a la matèria viva a principis del segle XX facilitaria una formulació més nítida de la qüestió de l'origen de la vida a la Terra primitiva. El 1926 Hermann J. Muller proposava que la primera forma de vida havia estat un gen

que havia aparegut per casualitat als mars primitius i que va ser dotat des del principi amb la capacitat de replicació, catàlisi i mutabilitat. El 1929 John B. Haldane va proposar l'existència d'una sopa primitiva, és a dir, una solució diluïda calenta de compostos orgànics en els oceans, com el bressol de l'aparició dels virus, que aleshores ell considerava com la baula perduda entre la química i la vida. No obstant això, el primer intent reeixit per reunir tot el coneixement de l'època sobre química, geologia, astronomia i biologia per delimitar un marc per als orígens de la vida fou el llibret *L'origen de la vida*, publicat en rus el 1924 per Aleksandr I. Oparin. Les seues idees impregnaren la comunitat científica occidental després de la traducció en anglès (1938) de la seua obra més extensa del 1936. És evident que els detalls científics de la narrativa d'Oparin s'han quedat obsolets. Però el que és important és que el seu treball va permetre abandonar la pura especulació, mentre imposava el rigor experimental dels laboratoris de química per a l'estudi dels orígens de la vida a la Terra.

El 1953, els experiments pioners de Stanley L. Miller a la Universitat de Chicago, sota la supervisió del premi Nobel Harold C. Urey, van iniciar la química prebiòtica com a programa de recerca de les reaccions i compostos més plausibles que participaren en l'origen de la vida primitiva. El 1961, Joan Oró va publicar la síntesi d'adenina —un component essencial de la vida, una de les lletres de l'alfabet genètic— a partir d'una molècula molt simple, el cianur d'hidrogen, molt habitual en l'univers. Així, Oró va lligar la química còsmica amb les entranyes més íntimes de la vida. Al llarg del segle xx, molts laboratoris han contribuït a estendre la llista de components biològics que pogueren derivar-se de processos cosmo i geoquímics en les condicions ambientals de la Terra arcaica. Tot i els èxits assolits, encara romanen moltes incògnites sobre la síntesi d'alguns ingredients essencials, com els monòmers necessaris per a la síntesi dels primers polímers genètics. Avui dia s'està imposant un nou enfocament que substitueix la cerca de reaccions robustes per l'estudi de mesclades heterogènies complexes, una nova química de sistemes que ha començat a donar uns fruits molt prometedors.

A banda del sorgiment de la química prebiòtica, com a extensió de la química orgànica de síntesi, altres factors i contextos van afavorir i estimular el desenvolupament de la investigació científica sobre l'origen de la vida. Van ser: (1) el desenvolupament dels programes espacials durant la guerra freda, que va facilitar l'estudi analític de matèries extraterrestres, com els meteorits,



El reconeixement de la complexitat funcional de la vida inspira l'abandonament definitiu del simplisme mecanicista de la generació espontània.

La visió estrictament materialista (antivitalista) considera que no hi ha cap bretxa entre la matèria inerta i la vida (tesi de la continuïtat).

El marc darwinista considera l'aparició de la vida no com un fet casual i aïllat sinó com el resultat d'un lent procés evolutiu durant llargs períodes de temps. Subministra un fonament epistemològic per a un nou programa de recerca experimental (la química prebiòtica).



i l'avanç de cosmoquímica; (2) el sorgiment d'una aproximació molecular a l'evolució el 1960, amb l'ús de les seqüències de macromolècules com a veritables documents històrics i fent possible la inferència d'un arbre universal de la vida en la dècada de 1970 i la maduresa de la idea d'un ancestre comú (cenancestre) a totes les formes de vida actuals; (3) el desenvolupament de la micropaleontologia, és a dir, l'estudi de les petjades geològiques deixades per les formes més antigues de vida a la Terra; (4) el descobriment dels microorganismes extremòfils, cosa que va permetre l'ampliació de l'espectre de condicions físiques i químiques compatibles amb la vida, i (5) el descobriment el 1981 de les capacitats catalítiques de l'RNA (els ribozims). Avui en dia la investigació científica de l'origen de la vida ha de ser considerada com l'estudi dels inicis de l'evolució de la vida, un capítol fonamental de la biologia evolutiva.

### **Una excursió actual al bassalet calent de Darwin**

Les controvèrsies actuals sobre l'origen de la vida tenen arrels històriques i filosòfiques profundes. En aquest sentit, la discussió científica de l'emergència de la vida no es diferencia d'altres conflictes intel·lectuals en biologia i s'ha desenvolupat a través de diferents models, de vegades incompatibles. Així, tota la diversitat de processos i escenaris, la generació abiòtica de la complexitat química de la Terra primitiva, a partir tant de fonts endògenes (l'atmosfera, la superfície del mar, les xemeneies submarines) com exògenes (meteorits, cometes, partícules de pols interestel·lar), el paper dels minerals (en la catàlisi de les reaccions i l'estabilitat dels productes) i de diferents fonts d'energia (electromagnètica, química) ens conviden a una visió eclèctica del problema de l'origen de la vida en què l'heterogeneïtat dels mecanismes i condicions serà essencial per armar una narrativa històrica coherent.

#### ***On?***

Encara que alguns científics contemporanis (el més conegut, Francis Crick) han mantingut viva la hipòtesi de la panspèrmia, no hi ha cap raó fonamental per suposar un origen de la vida fora del planeta Terra. Alguns científics especulen que es va originar la vida a Mart i després va contaminar el nostre planeta, o a l'inrevés. L'exploració de Mart sota aquesta perspectiva mereix atenció tot i que puguem descartar gairebé per complet que el planeta roig albergue vida en l'actualitat.

#### ***Quan?***

La vida a la Terra és un fenomen molt antic. Els estudis sobre la composició química i isotòpica i la recerca de microfòssils en les roques sedimentàries més antigues suggereixen l'existència d'una microbiota diversa i abundant almenys fa 3.500 milions anys (3,5 gigaanys, Ga). El consens actual sobre la necessitat d'aigua líquida per a la vida estableix un límit superior per a la finestra temporal per a l'aparició de vida situat 4,1 Ga abans del present, quan s'establí la hidrosfera. La cerca de petjades antigues de vida està amenaçada, com potser cap altra, per la detecció de falsos positius. Per exemple, la forma d'un objecte microscòpic no pot usar-se mai com a criteri de biogenicitat. La raó fonamental és que el món mineral també pot generar formes que poden confondre's amb extrema facilitat amb estructures d'origen biològic. En l'actualitat hi ha una sèrie de criteris molt rigorosos que s'han de verificar per tal que unes restes puguin atribuir-se a l'acció de la vida. Alguns d'aquests criteris són: un context mineral i geològic compatible amb la vida, l'existència de matèria orgànica amb una composició isotòpica indicativa d'acció biològica i la presència de biomarcadors –molècules orgàniques per a les quals no tenim cap altra explicació que el seu origen metabòlic.

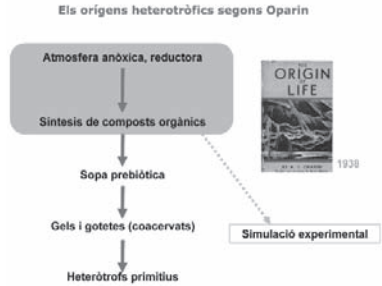
### Com? Heterotròfia vs. autotròfia

Seguint la tradició Oparin, generalment se suposa que la vida es va originar a partir d'un mode metabòlic heterotròfic, és a dir, a partir d'una *sopa primitiva* rica en compostos orgànics a partir de la qual els primers organismes obtenien l'energia i la matèria. Durant les últimes dècades els científics han acumulat moltes dades que afavoreixen les aportacions de la química volcànica, atmosfèrica i còsmica als inventaris dels compostos i processos abiòtics en la Terra primitiva. Les contribucions de

les simulacions de laboratori i les anàlisis dels meteorits han estat de vital importància en aquest context. No obstant això, els químics prebiòtics saben molt bé que un dels principals problemes que enfronten és la rellevància geoquímica de les reaccions que estudien. Com el nostre coneixement sobre els ambients terrestres més antics és tan fragmentari i incomplet, decidir quin component de la química abiòtica —és a dir, compostos o processos geo o cosmoquímics— és prebiòticament rellevant serà sempre un desafiament epistemològic.

En general s'accepta que l'aparició dels subsistemes supraquímics que representen les propietats bàsiques de la vida —a saber, les vesícules autoreproductives, les polímers autoreplicatius i les xarxes químiques automantingudes—, sembla que ha estat un pas necessari en la fase de l'evolució química prebiòtica. Una propietat comuna a aquests subsistemes és l'autocatàlisi. Aquest fenomen es presenta quan un element del sistema és capaç de catalitzar la seua pròpia síntesi però generant una quantitat major de producte final que d'inicial. S'han explorat les característiques i qualitats que ha de reunir un sistema químic per manifestar l'autocatàlisi i s'ha vist que aquesta propietat permet el creixement exponencial. Tot plegat, estem estudiant els requeriments mínims perquè un sistema químic pugui manifestar les propietats típiques atribuïdes a la vida, com són la reproducció, el creixement i el confinament cel·lular. Fins i tot és possible descobrir els requisits mínims necessaris per a l'emergència de la selecció natural, perquè la replicació de polímers mai no és perfecta i les mutacions en són inherents. De fet, l'articulació harmònica dels tres subsistemes prebiòtics en el mateix marc funcional es podria considerar com l'inici de l'evolució biològica. Qualsevol explicació evolutiva, per ser completa, ha de donar compte explícit dels mecanismes de flux de l'energia i la matèria a través d'aquests sistemes primitius.

Alguns autors prefereixen una perspectiva radicalment diferent i assumeixen que la vida va començar amb rutes metabòliques de fixació de carboni ja establertes. A diferència d'una explicació heterotròfica —on un ambient químicament ric és el bressol dels canvis químics senzills en què es desenvolupen finalment unes xarxes protometabòliques— un origen autotròfic postula que l'energia i els electrons alliberats de les reaccions redox dels compostos minerals es canalitzen per a la síntesi de matèria orgànica a partir de diòxid de carboni. D'acord amb alguns d'aquests autors, una forma primitiva del cicle reductiu dels àcids tricarbòxilics (un cicle de Krebs funcionant a l'inrevés) seria la llavor inicial d'una química prebiòtica que prefigurava la majoria de metabolisme modern. Un altre model, amb un suport experimental parcial, postula que la síntesi anaeròbica de pirita a partir de sulfur d'hidrogen i sulfur ferrós serviria com a font d'electrons i



energia per a la síntesi química a partir de diòxid de carboni. Encara un altre escenari implica una versió geoquímica de la síntesi metabòlica d'acetat a partir de monòxid o diòxid de carboni present en alguns microorganismes anaerobis actuals. En aquests casos, les fonts hidrotermals submarines oferirien els gradients tèrmics i químics requerits pels models.

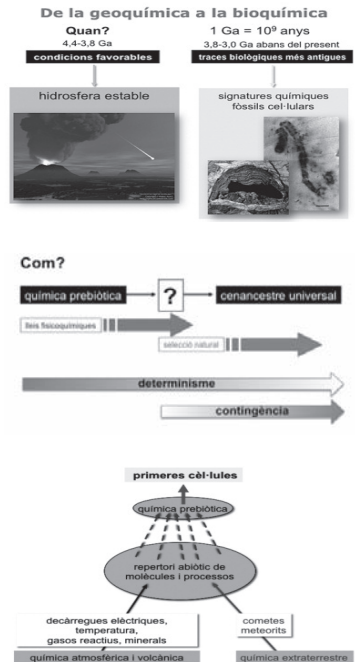
### **Com? Replicació vs. metabolisme**

Molts autors equiparen l'origen de la vida amb l'origen de les primeres molècules replicadores. Els estudis teòrics i experimentals i el descobriment dels ribozims provocaren un interès renovat en la idea d'una aparició primerenca de polímers genètics. Aquest és un dels postulats fonamentals de la hipòtesi del món de RNA. Segons aquest model una de les etapes primerenques de la vida estava dominada per l'RNA que actuava tant com polímer genètic i com a agent catalitzador en el metabolisme primitiu. L'evidència que en els ribosomes actuals l'RNA catalitza la síntesi de l'enllaç peptídic reforça l'antiguitat i la centralitat de ribozims. La genòmica comparativa que abasta totes les formes de vida ofereix una finestra a la complexitat metabòlica del cenàncestre universal. La majoria dels gens universalment conservats codifiquen per a funcions relacionades amb l'RNA. Els enfocaments experimentals, com ara l'evolució *in vitro* de l'RNA, donen suport a la plausibilitat química d'un món d'RNA. Diversos laboratoris estan molt a prop d'un dels postulats clau d'aquesta proposta, és a dir, la síntesi d'un RNA que podria catalitzar la seua pròpia replicació dirigida per motlle. A més s'ha aconseguit que una versió simplificada de la replicació de l'RNA passe dins d'una vesícula lipídica i que la replicació molecular de l'àcid nucleic i la reproducció vesicular es coordinen.

No obstant això, una explicació satisfactòria per al sorgiment d'un polímer químicament complex com l'RNA sembla encara molt llunyana. La inversemblança extrema de l'aparició prebiòtica d'un polímer genètic com l'RNA ha portat a considerar models alternatius que afavoreixin l'autoorganització de xarxes químiques com a suport material i energètic per als polímers autoreplicatius. Aquest enfocament sovint es coneix com a *metabolisme primer* i posa l'accent en l'absència inicial de cap polímer genètic. En realitat aquest és un debat antic que va confrontar els partidaris d'un origen primordial dels gens (fins i tot abans d'establir-se'n la naturalesa química, per exemple, les idees de Herman J. Muller en la dècada de 1920) o l'aparició primerenca de les proteïnes (per exemple, Leonard Troland en la dècada de 1910). Com seria possible una química molt ordenada (per exemple, polímers sintetitzats a partir de monòmers activats i quirals purs) sense una manera plausible i eficaç per canalitzar l'energia a través del sistema? Diversos autors han advocat per l'aparició d'unes xarxes químiques autocatalítiques primitives com a primer pas cap a la síntesi de replicadors. Aquests processos prebiòtics autoorganitzats proporcionarien una bastida per a l'aparició de la genètica. Lamentablement, l'únic procés autocatalític abiòtic ben conegut és l'anomenada *reacció de la formosa*, una sèrie de reaccions químiques que duen des del formaldehid fins a una extraordinària diversitat d'hidrats de carboni de longituds diverses. Aquest procés, que possiblement tingué importància en la Terra prebiòtica, difícilment ens pot conduir al tipus de monòmers necessaris per a la síntesi dels primers polímers genètics. Aquesta àrea de recerca és possiblement la que necessita una atenció preferent, atesa la manca de bones preguntes i aproximacions experimentals adients.

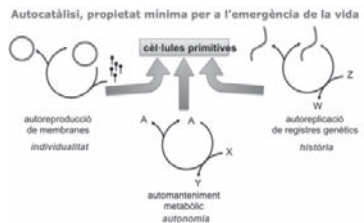
Una qüestió remarcable és si hi ha una congruència i continuïtat entre la química prebiòtica i la bioquímica. Diversos autors consideren crucial l'existència de processos quimiomimètics, és a dir,

mecanismes organoquímics abiòtics que anticipen el tipus de química utilitzat per les primeres transformacions bioquímiques. El model protometabòlic de Christian de Duve explora la noció de congruència, és a dir, la continuïtat entre el món de la química de la fase prebiòtica, determinada per les lleis fisicoquímiques i per la participació dels catalitzadors no instruits genèticament (per exemple, minerals, oligòmers curts), seguida de la química d'un protometabolisme que usa polímers replicatius (per exemple, RNA) com a catalitzadors (és a dir, ribozims), per acabar en les vies metabòliques d'avui en dia. En el mateix moment que els polímers replicatius apareixen en escena, la selecció natural emergiria automàticament i la contingència històrica se sumaria als processos purament químics. El descobriment de les restes més antigues de la química de la vida a les xarxes metabòliques actuals es veu obstaculitzat pel fet que les múltiples formes de vida s'han adaptat a una diversitat fabulosa d'ambients i això ha significat l'adquisició o pèrdua de moltes capacitats metabòliques. Les innovacions metabòliques desdibuixen el perfil de la bioquímica més antiga.



### Atzar i determinisme en l'origen de la vida

Un dilema filosòfic amara la recerca científica de l'origen de la vida. Quin paper tingué l'atzar i la casualitat en l'emergència de la vida terrestre? Si la vida emergí per un encadenament de fets fortuïts això ens portaria a la impossibilitat de la seua comprensió i reproducció empírica i hauríem de renunciar al seu estudi científic. Jacques Monod ho va expressar de manera molt eloqüent quan va dir que "l'univers no estava prenyat de vida ni la biosfera d'humans". El seu col·lega i amic Crick deia que "és impossible decidir si l'origen de la vida aquí fou un fet molt rar o un de molt probable. [...] per ara l'origen de la vida sembla quasi un miracle". I, òbviament, els miracles no són un objecte d'estudi de la ciència. El desenvolupament actual de la investigació científica de l'origen no descarta el paper de les contingències inherents de tot procés històric però descansa sobre la convicció que hi hagué un fort determinisme químic en l'origen de la vida. Si les condicions són les adients, ací o en qualsevol lloc de l'univers es podria donar la transició de la química a la biologia. Aquest imperatiu còsmic fou defensat amb vehemència per De Duve quan afirma que "començant pels productes universals de la química còsmica [...] l'aparició de la vida es degué a fenòmens estrictament químics [...] sense opció a la casualitat". El paleontòleg Stephen J. Gould, gran



advocat de la contingència històrica en l'evolució de la vida arriba a dir “sospite que l'origen de la vida en la Terra fou pràcticament inevitable [...] la pregunta de les preguntes queda reduïda a l'establiment del límit entre la predictibilitat [...] i les múltiples possibilitats de la contingència històrica”. En efecte, ací tenim una de les grans diferències entre els fenòmens purament físics i els biològics. Si rebobinàvem la història de l'univers des del gran esclat, amb les mateixes condicions inicials és quasi segur que la taula periòdica dels elements seria la mateixa que coneguem. Però, si recomençàrem la vida a la Terra, com seria el codi genètic? Ni tan sols podem estar segurs que la vida triaria el mateix petit repertori de molècules, de tota l'oferta abiòtica disponible. Aquesta és una de les grans dificultats que afronta el bioquímic evolutiu: què hi ha en les cèl·lules determinat químicament i quina part és optativa? Una resposta ens ajudaria molt en la indagació dels primers passos de la vida a la Terra.

### **La biologia sintètica i l'enfocament empíric de l'origen de la vida**

L'aproximació ascendent (*bottom up*) de la biologia sintètica es basa en la suposició que les propietats fonamentals de la vida (per exemple, l'autopoiesi o autoconstrucció, l'autoreplicació i així successivament) es poden implementar químicament amb èxit en un tub d'assaig. Hi trobem una continuïtat epistemològica evident amb els objectius finals del programa d'investigació de la química prebiòtica. Segons Oparin, “la construcció artificial o la síntesi dels éssers vius és una meta molt remota, per bé que no una d'inabastable, d'aquest camí [que condueix al coneixement últim de la naturalesa de la vida]”. Per a Haldane, les idees sobre els orígens de la vida seguiran sent especulatives “fins que els éssers vius no es puguin sintetitzar al laboratori de bioquímica”. Avui en dia el camí experimental per a l'estudi de la plausibilitat de la transició de la química a la biologia se centra principalment en dos aspectes: la biofísica de les membranes artificials i vesícules de caràcter simple i la química dels polímers de RNA autoreplicatius. L'objectiu final és la construcció d'un sistema de vesícules autoreproductives que continguin RNA catalítics capaços tant de fer més còpies dels mateixos RNA (autoreplicatius) com catalitzar la síntesi dels components de la membrana a partir de substrats químics més simples. Una pregunta filosòfica legítima seria si aquestes construccions supraquímiques (o infrabiològiques) han de ser considerades dotades de vida o no. Aquesta és una de les raons del renovat interès en la definició de vida i una de les moltes raons que fan tan apassionant l'exploració dels seus orígens a la Terra.

#### **Lectures addicionals**

- BECERRA, A.; DELAYE, L.; ISLAS, S.; LAZCANO, A. (2007) “The very early stages of biological evolution and the nature of the last common ancestor of the three major cell domains”. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 38, 361-379.
- BEDAU, M.; CLELAND, C. (2010) *The nature of life. Classical and contemporary perspectives from philosophy and science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- DE DUVE, C. (2005) *Singularities. Landmarks on the pathways of life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- DEAMER, D.; SZOSTAK, J. W. (ed.) (2010) *The origins of life*. Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- GARGAUD, M.; LÓPEZ-GARCÍA, P.; MARTIN, H. (ed.) (2011) *Origins and evolution of life. An astrobiological perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- PERETÓ, J. (2009) “A partir d'un inici tan simple. L'origen de la vida: un problema de química amb història”. *Treb Soc Cat Biol* 60, 31-44.
- PERETÓ, J.; BADA, J. L.; LAZCANO, A. (2009) “Charles Darwin and the origin of life”. *Orig Life Evol Biosph* 39, 395-406.
- PERETÓ, J. (2012) “Out of fuzzy chemistry: from prebiotic chemistry to metabolic networks”. *Chem Soc Rev* 41, 5394-5403.
- RICARDO, A.; SZOSTAK, J. W. (2009) “Origin of life on Earth”. *Scientific American* (September), 54-61.
- YARUS, M. (2010) *Life from an RNA world. The ancestor within*. Cambridge: Harvard University Press.