



ELS ORÍGENS QUÍMICS DE LA VIDA

Conferència de:

Juli Peretó i Magraner

Institut Cavanilles de
Biodiversitat i Biologia Evolutiva
Universitat de València

La gran conjectura de Darwin

Per abordar el tema de l'origen de la vida s'ha de construir una narració basada en l'observació i l'experimentació. Ens hem de cenyir doncs, a les idees científiques. La primera que vull posar de manifest és el que s'ha anomenat la gran conjectura de Darwin. Una de les seves idees, treta del llibre *L'Origen de les Espècies*, publicat el 1859, és que totes les espècies terrestres (en aquella època ens referiríem a plantes i animals) tenen un origen comú. Com havia arribat a aquesta conclusió? Se'ns pot fer difícil esbrinar-ho, però la idea està escrita i ben reflexionada al llarg de tota la seva obra. I més enllà d'ai-

xò el llibre de *L'Origen de les Espècies* no tracta el tema de l'origen de la vida si no és per referir-se a un problema intratable per a la ciència de l'època. Ell pensava que l'origen de la vida, com l'origen de la matèria, era una cosa tan complicada que la ciència no era prou madura en aquell moment per abordar-ho. Però anys després, investigant la correspondència privada, en textos no publicats, trobem que Darwin es va atrevir a especular sobre l'origen de la vida i va parlar d'una petita llacuna temperada on hi havia electricitat, calor, sals inorgàniques i altres elements per la generació d'un primer material vivent. És a dir, que ja especulava sobre la transició de la matèria inerta a la matèria viva en un ambient en la

Terra primitiva que tingués les condicions i els ingredients adequats.

Avui en dia sabem que la vida té una història molt llarga en el planeta Terra, en la història geològica. Un dilema en què es va trobar Darwin i que està expressat en el seu llibre és que no hi havia fòssils més antics de 500 o 600 milions d'anys. Ell havia proposat una evolució gradual i lenta que li xocava enormement amb el fet que en 500 milions d'anys s'hagués pogut obtenir tota la diversitat. La sortida que hi donà fou que no s'havia estudiat prou el registre fòssil. I efectivament era així. No s'havia estudiat prou perquè no s'havia utilitzat el microscopi.

Els fòssils: proves de l'existència de vida

Retrocedint més enllà de 500 milions d'anys, al llarg del registre geològic hi ha restes, petjades de l'activitat biològica. Bàsicament es tracta d'estructures, formes indicatives de la presència de vida, senyals químics, isotòpics, etc. que indiquen que la vida pot ser tant antiga com 3.800 milions d'anys. Això vol dir molt poc després que les condicions a la superfície terrestre fossin adequades per l'existència d'aigua líquida. De fet, l'origen de la Terra està molt ben definit en 4.500 milions d'anys. Poc després es va formar la Lluna per un xoc entre un objecte de la mida de Mart contra la Terra primitiva. Hi ha una època que arriba fins als 4.000 milions anys abans del present on es donà un bombardeig intens de meteorits, cometes, etc. i fragments del sistema solar encara en formació que mantingueren la superfície de la Terra en unes condicions en les que l'aigua no estaria en estat líquid. Però immediatament després (200 milions d'anys) hi ha traces en les roques sedimentàries més antigues trobades a Groenlàndia, particularment a l'illa d'Aquília, en què hi ha desviacions isotòpiques del carboni que són indicatives de possibles activitats metabòliques.

Els fòssils més antics estan datats de 3.500 milions d'anys, però moltes d'aquestes observacions, particularment els fòssils procariòtics i les traces isotòpiques, tenen també explicacions no biològiques alternatives.

I aquest és un punt de debat molt important en l'actualitat. Posaré com a exemple un article de la revista Nature de l'any 2002, on William Schopf, que havia descrit els microfòssils més antics, torna a analitzar els seus microfòssils (incloent els més antics, de 3465 milions d'anys, procedents de jaciments d'Austràlia) amb unes tècniques noves que combinen l'anàlisi d'imatge amb l'anàlisi química de les restes de materials orgànics que contenen. La conclusió principal és que els resultats donen suport a l'origen biològic d'aquests fòssils. En el mateix número de la revista, Martin Brasier (de la universitat d'Oxford) presentava la reanàlisi dels microfòssils de Schopf i arribava a la conclusió totalment contrària, reinterpretant aquesta estructura de microfòssils com a artefacte. Aquest és el debat que està obert encara: si els microfòssils més antics ho són o no ho són.

Un dels articles interessants que hi ha actualment publicats és arrel dels treballs de Juan Manuel García Ruiz (geòleg del CSIC), que expliquen la generació per processos i materials purament inorgànics d'estructures que mimetitzen les simetries i les formes biològiques. Aquests treballs demostren una idea: únicament per la forma no podem deduir que l'estructura és biològica.

La vida és diversa i extensa, però comparteix patrons

Tornant al planeta en el seu conjunt, vull fer referència a un article de Tom Gold on es discutia l'extensió de la vida en el planeta Terra, particularment el fet que allà on hi ha una font d'energia química i condicions ambientals adequades per a l'adaptació de microorganismes trobem vida microbiana. La frase més significativa diu que tots els racons del planeta que han pogut ser infectats per microorganismes ho han estat. I parla del límit de la temperatura, com un dels límits obvis que posaria barreres a la colonització dels microorganismes. Quins són aquests límits? Realment és sorprenent veure fins on la vida pot arribar. Pel que fa a la temperatura, actualment el límit es troba en 120°C (a alta pressió perquè l'aigua no entri en ebullició), on poden viure i reproduir-se procariotes del domini Arquea, filogenèticament emparentats amb Piro-

dyctium. Però el pH també té exemples de vida en tot el rang. També hi ha organismes adaptats a viure a salinitats extremes (en les fondàries marines o en l'interior de l'escorça terrestre). Per tant, la capacitat d'adaptació de la vida i la diversitat de formes és extraordinària i encara queden molts racons per explorar i trobar-nos amb noves sorpreses.

Malgrat aquesta diversitat, hi ha una unitat òbvia si descendim suficientment en l'escala molecular i veiem que sigui quina sigui la capacitat d'adaptació d'aquesta vida, el lloc on l'hem trobada, etc. sempre hi ha uns patrons recurrents. Per exemple, no hem trobat cap excepció a aquesta regla: tots els organismes cel·lulars empenen el DNA com a material genètic. Això és universal. De la mateixa manera que, tret de les excepcions que han aparegut al llarg de la història evolutiva (algunes readaptacions), el codi genètic és universal. És a dir, la taula de conversió del llenguatge de nucleòtids al llenguatge d'aminoàcids és universal. Així també, els mecanismes íntims pels quals les cèl·lules converteixen fons d'energia externa, sigui llum visible o sigui energia química, en fonts o en elements energètics interns a les pròpies cèl·lules, com l'ATP (que és una moneda bioenergètica universal) són universals. Es tracta dels mecanismes quimiòsmòtics d'una banda i els mecanismes de fosforilació a nivell del substrat per l'altra, que són emprats recurrentment per tota la biosfera. Quina explicació pot tenir aquesta unitat bioquímica de la biodiversitat? Doncs precisament l'explicació més senzilla és la conjectura de Darwin: tots aquests mecanismes, processos metabòlics i molècules amb una determinada funció biològica han estat seleccionades abans de la gran bifurcació des d'un ancestral comú que donaria lloc als tres grans dominis caracteritzats avui en dia des del punt de vista de l'estructura del ribosoma, que són els bacteris pròpiament dits, els eucariotes i les arquees. Fins aquest ancestral universal hi hauria tot un procés d'evolució des de l'origen de la vida. És a dir, el cenancestral ja tindria una complexitat metabòlica i estructural que l'allunyaria dels primers processos en què estem interessats ara en esbrinar: com passar de la química a la biologia, el que seria l'origen de la vida.



Com aproximar-se als orígens?

Com ens podem aproximar a aquests processos originals? Hi ha dues vies fonamentals d'aproximació als orígens: "bottom-up" i "top-down" (de baix a dalt i de dalt a baix).

L'aproximació "top-down", en el sentit de l'arbre de la vida, es basa en anar recorrent des dels extrems de les branques fins al tronc i l'arrel de l'arbre tots els camins que ha seguit la vida en els processos d'evolució i diversificació de rutes metabòliques i altres processos. A partir de tota aquesta diversitat que es va estudiant amb tècniques modernes, es tracta de fer la intersecció de tota la vida i treure aquells denominadors comuns. Així s'obtidran conclusions sobre quins serien els processos que portarien a l'ancestral universal i especular sobre etapes anteriors més simples.

La direcció contrària ("bottom-up") tracta d'estudiar la cosmoquímica, és a dir, el coneixement de l'evolució de les estrelles, dels sistemes planetaris, de la química que hi ha més enllà del nostre planeta, de la química que hi hauria hagut en el planeta Terra en l'època que se suposa que s'originà la vida i anar reconstruint l'ambient i els ingredients necessaris per la transició de la matèria inerta a la matèria viva.

Aquests dos camins possiblement algun dia convergiran, però ara són dues rutes distants. Un exemple d'aquesta aproximació de dalt a baix el donem en una publicació del setembre de 2004 de la revista *Trends in Biochemical Science*. Tracta de l'estudi de les característiques metabòliques dels organismes actuals, on s'intenta deduir quin seria el metabolisme de lípids de membrana de l'ancestral universal comú. Perquè hi ha una polèmica, de fet discutida en aquest treball, que ve donada per tres models publicats de les membranes de ancestral comú universal. Fins i tot un d'ells diu que la membranes del cenancestral serien de tipus mineral. Nosaltres ens oposem a aquest model ja que tenim raons suficients per pensar que eren fosfolípids els que constituïen les membranes, tot i que estarien fabricats sense una estereoespecificitat definida (perquè una de les diferències fonamentals entre les arquees i la resta d'organismes és l'es-

tereoespecificitat del fosfat de glicerol dels fosfolípids de membrana). Això s'ha deduït per l'estudi filogenètic dels enzims clau per la síntesi d'aquesta molècula.

Aquesta seria la via d'anar des dels organismes actuals fins al cenancestral, fent la reconstrucció filogenètica de l'evolució i de l'origen de les rutes metabòliques que contenen.

La generació espontània: possible origen de la vida?

Centrem-nos en l'origen de la vida en el seu sentit més estricte, és a dir, en la transició de la matèria inerta a la matèria viva. Per encetar aquest tema cal fer un repàs breu sobre idees antigues al respecte, com la generació espontània (que Aristòtil ja va descriure i es va sostenir durant tota l'Edat Mitjana). Referent a aquesta idea trobem textos com per exemple la recepta per fabricar ratolins de Van Helmont, que consistia bàsicament en barrejar blat amb una camisa suada per obtenir en pocs dies ratolins perfectament formats. Alguns autors com Francesco Redi, ja en el segle XVII, van fer experiments per demostrar que els cucs que apareixien en la carn en putrefacció no eren de generació espontània, sinó que provenien dels ous que havien deixat algunes mosques. Si se separava la carn convenientment del contacte de les mosques no apareixien els cucs. Tanmateix, Redi pensava que la generació espontània era l'origen d'alguns paràsits. Cal fer notar que durant tota la història des de la Grècia Antiga fins al segle XVIII o XIX la generació espontània es considerava com un mecanisme alternatiu de reproducció (alternatiu a la reproducció sexual). Per exemple, Van Helmont remarca que aquests ratolins nascuts del blat són perfectament fèrtils amb ratolins que han nascut de mare.

Però el primer que lliga generació espontània i l'origen de la vida és Lamarck. Ell és l'autor d'una primera teoria evolutiva ben estructurada, basada en unes premisses que avui en dia sabem que no són correctes. Però ell va optar per una estructura mental d'organització de tota la natura com una escala amb diferents graons, des d'allò més simple al més complex, que era la mateixa idea que tenia Linneu. Però mentre Linneu ho veia com una manera d'organitzar la na-



tura creada per Déu, Lamarck sostenia que cada organisme d'un graó tenia el potencial i l'energia necessària per pujar un graó i convertir-se en un organisme més complex. Podem dir que es tractava d'una escala mecànica en moviment, és a dir, donava temporalitat a l'escala del ser. A més a més, no content amb això, va explicar com s'ompliria el primer graó de l'escala. Si cadascú va pujant d'esglaió i un cuc pot arribar a ser un humà, els primers cucs i els primers infu-

soris (en la terminologia lamarckiana) d'on vindrien? Doncs de generacions espontànies. Va pensar que la generació espontània era el mecanisme natural d'alimentació del primer esglaió de l'escala evolutiva.

Però uns anys després Darwin, en publicar el seu llibre, va fer fora l'escala de la mentalitat dels biòlegs i va introduir la idea d'arbre filogenètic. Així donà una explicació natural a la causa de l'evolució (trans-

formació de les espècies), en particular la selecció natural i altres idees que ell tenia. Aquesta explicació natural de la transformació d'unes espècies en les altres és la idea més important. I de forma coherent, hauríem d'acceptar que si unes espècies es transformen de manera natural en altres i provenen d'una espècie original que és ancestral comú de totes, si retrocedim en l'evolució arribarà un punt en què haurem d'acceptar que per causes naturals es va passar de la matèria inerta a les primeres espècies, les formes més primitives de vida. I què millor que acceptar la idea de la generació espontània, com havia fet Lamarck? Darwin no ho va fer mai en les seves publicacions i en les cartes personals ho explica d'una manera molt esquemàtica. Però al mateix temps que Darwin publicava les seves idees, hi havia altres científics preocupats per el tema de la generació espontània, en particular Pasteur i Tyndall van fer uns experiments impecables en contra de la generació espontània i no de cucs, de granotes, ni de ratolins, sinó de microorganismes. El que cal remarcar és que, contra el que ell mateix va declarar públicament, Pasteur sí que tenia una ideologia darrere els seus experiments: anar contra Darwin (això està expressat explícitament en algun treball del científic). Per què anar contra Darwin? Pasteur era anti-evolucionista i pensava que demostrar la impossibilitat de la generació espontània era esfondrar la teoria de Darwin. Precisament perquè si acceptem la teoria de Darwin l'origen de la vida ha de tenir causes naturals i ell pensava que no, que l'origen de la vida era una creació sobrenatural. Per tant, demostrar la impossibilitat de la generació espontània era ferir de mort el darwinisme. I efectivament, Pasteur i Tyndall van aconseguir demostrar que la generació espontània no es podia donar.

Davant aquests resultats, aquells que defensaven les idees evolucionistes es trobaven amb un problema molt greu: com explicar l'origen de la vida si la generació espontània no és possible? Alguns científics van optar per pensar que la vida és eterna, és una propietat del propi Univers i que l'única cosa que fa és anar de planeta en planeta. Aquesta és la idea de la panspèrmia còsmica, és a dir, que les espores van d'un sistema planetari a un altre, i va ser mantinguda per Svante Arrhenius .



Alexander I. Oparin (1894-1980)

Ernst Haeckel, gran seguidor del darwinisme, sostenia que la generació espontània havia d'haver estat possible com a mínim una vegada en el Planeta en les condicions de la Terra primitiva (condicions diferents a les actuals emprades en els experiments de Pasteur i Tyndall).

Aquesta discussió d'idees es va anar mantenint durant els primers anys del segle XX, fins que dos autors, de manera independent, proposen unes idees molt similars per a l'origen de la vida. Un és Alexander Oparin, que publicà l'any 1924 un article en

rus sobre l'origen de la vida; l'altre és John B.S. Haldane, que l'any 1929 publicà a la revista *El racionalista*, un article també sobre aquest tema. Trobem unes extraordinàries coincidències entre els dos textos (diferències notables també) però els dos proposen el mateix: una relació clara entre l'evolució còsmica i l'evolució biològica a través d'un fenomen d'evolució química (no de generació espontània) que porta de molècules orgàniques simples a molècules orgàniques més complexes i estructures cel·lulars primitives per iniciar un procés d'evolució pròpiament dit.

L'evolució química a partir de les idees d'Oparin

Haldane no es va dedicar a estudiar més l'origen de la vida, però Oparin sí que va publicar molts textos i va experimentar durant tota la seva vida. Els detalls que proposà Oparin per l'origen de la vida actualment no són vàlids, però sí que ho és el concepte. La vida s'ha originat de la matèria inanimada per processos físics i químics que podem comprendre, els podem descobrir i potser fins i tot els podem simular. Què va proposar Oparin? Doncs que la Terra tenia una atmosfera reductora rica en gasos reduïts, a partir dels quals es produïa la síntesi de compostos orgànics, que generarien una sopa prebiòtica. Aquesta sopa rica en material orgànic donaria els primers organismes, que serien heteròtrofs, és a dir, consumidors de matèria orgànica i òbviamment anaeròbics.

Els primers que van tractar de simular experimentalment això van ser Harold Urey i el seu alumne de doctorat Stanley L. Miller a partir d'una primera proposta d'Urey: els gasos que composaven l'atmosfera primitiva haurien de ser tipus metà, amoníac, vapor d'aigua, etc. i serien el punt de partida per la síntesi orgànica. En els experiments posats en pràctica per Miller s'utilitzà un recipient que emetia descàrregues elèctriques (que simulaven llamps) i de forma contínua, a través d'una condensació i una evaporació, que simularia la pluja i l'evaporació dels mars, anaven circulant. Al cap de poques hores s'obtenia una mescla de materials orgànics, entre els quals es trobaven aminoàcids com els presents en les proteïnes. El mecanisme que Stanley Miller va desvelar en la seva tesi doctoral curiosament és un mecanisme descrit cent anys abans: la síntesi d'Strecker de fabricació d'aminoàcids a partir d'aldehids, amoníac i cianur d'hidrogen. Podem dir que la síntesi de molècules orgàniques havia estat estudiada al llarg del segle XIX i del XX, però aquesta és la primera vegada que algú fa síntesis orgàniques en el context de l'origen de la vida.

A partir de l'experiment de Miller se'n feren moltíssims i un dels més remarcables va ser la síntesi d'adenina a partir de cianur d'hidrogen per Joan Oró, publicat l'any 1960, amb un mecanisme de polimerització

del cianur d'hidrogen, que és una molècula produïda en els experiments de descàrrega elèctrica, però que també està present en l'espai interestel·lar, ja que l'adenina és només un pentàmer de cianur d'hidrogen.

En el 1995 Miller i Robertson van descriure la síntesi d'uracil i de citosina a partir del cianoacetilè, que també es produeix en experiments de descàrrega elèctrica. Aquests serien exemples de treballs que s'han fet al llarg del segle XX en la recerca de mecanismes plausibles per originar components fonamentals de la matèria viva.

Aquests components són bases nitrogenades i sucres, com per exemple la ribosa, que forma part dels àcids nucleics. Es pot obtenir ribosa, però el problema és que desgraciadament la síntesi que ja havia descrit Butlerov a mitjans del segle XIX (polimerització catalitzada per àlcalis del formaldehid per donar sucres) dona un producte intractable dins del qual hi ha riboses. Durant molts anys l'enigma de la reacció de la formosa i l'origen de la ribosa ha donat lloc a especulacions molt diverses. I s'ha arribat a la conclusió que la ribosa pot no ser una molècula estrictament prebiòtica, però

Stanley Lloyd Miller



pot ser que encara no haguem explorat suficients mecanismes abiòtics pels quals es generessin aquests sucres en la Terra primitiva.

En un article recent publicat per Steve Benner a principis del 2004 s'apunta que a partir del borat es pot crear la ribosa. El borat és un estabilitzant específic de les pentoses que es deriven de la reacció de la formosa. Ens adonem que és tant gran el nostre desconeixement de les condicions concretes geològiques i ambientals en la Terra primitiva que les possibilitats són gairebé infinites i per tant el número de persones i d'hores dedicades a la investigació d'aquestes possibilitats és incomparablement menor, és a dir, la velocitat a la que podem treure l'entrellat de la complexitat química de la Terra primitiva és realment desesperant.

Des de fa molts anys, s'estan explorant les possibilitats de catalitzadors, com per exemple la montmorillonita, que és un silicat estructurat en capes i entre aquestes capes poden dipositar-se moltes molècules d'aigua, cations i fins i tot petites molècules orgàniques. De manera que la reacció de la formosa, i en particular a partir de fosfat de glicolaldehid, en presència de mormorillonita redueix aquell bosc intractable de productes a quatre o cinc pics, perquè específicament les molècules que poden ser fabricades a l'interior d'aquesta argila són una petita selecció de totes les possibles. Per tant aquesta és una via a explorar: el paper dels catalitzadors minerals en les síntesis abiòtiques de materials orgànics. Per exemple, un dels treballs recents en aquest camp és el de James Ferris, que va publicar la fabricació de petits fragments d'RNA de fins quaranta monòmers a partir dels nucleòtids activats químicament en presència de l'argila. Es tracta d'un dels experiments més espectaculars en els darrers mesos perquè s'obtenen longituds que fins ara no s'havien aconseguit, de síntesi espontània de polímers d'RNA.

Però encara hi ha coses més interessants com l'exploració en el laboratori de Szostak de les possibilitats de l'evolució de les vesícules i la formació d'estructures amfifíliques i cèl·lules primitives. Doncs aquí també la montmorillonita és capaç de catalitzar la formació de vesícules d'àcids grassos, el seu creixement i divisió per raons

purament físiques, però també l'encapsulació dels polímers fabricats en la superfície de l'argila, és a dir, molècules d'RNA que queden encapsulades.

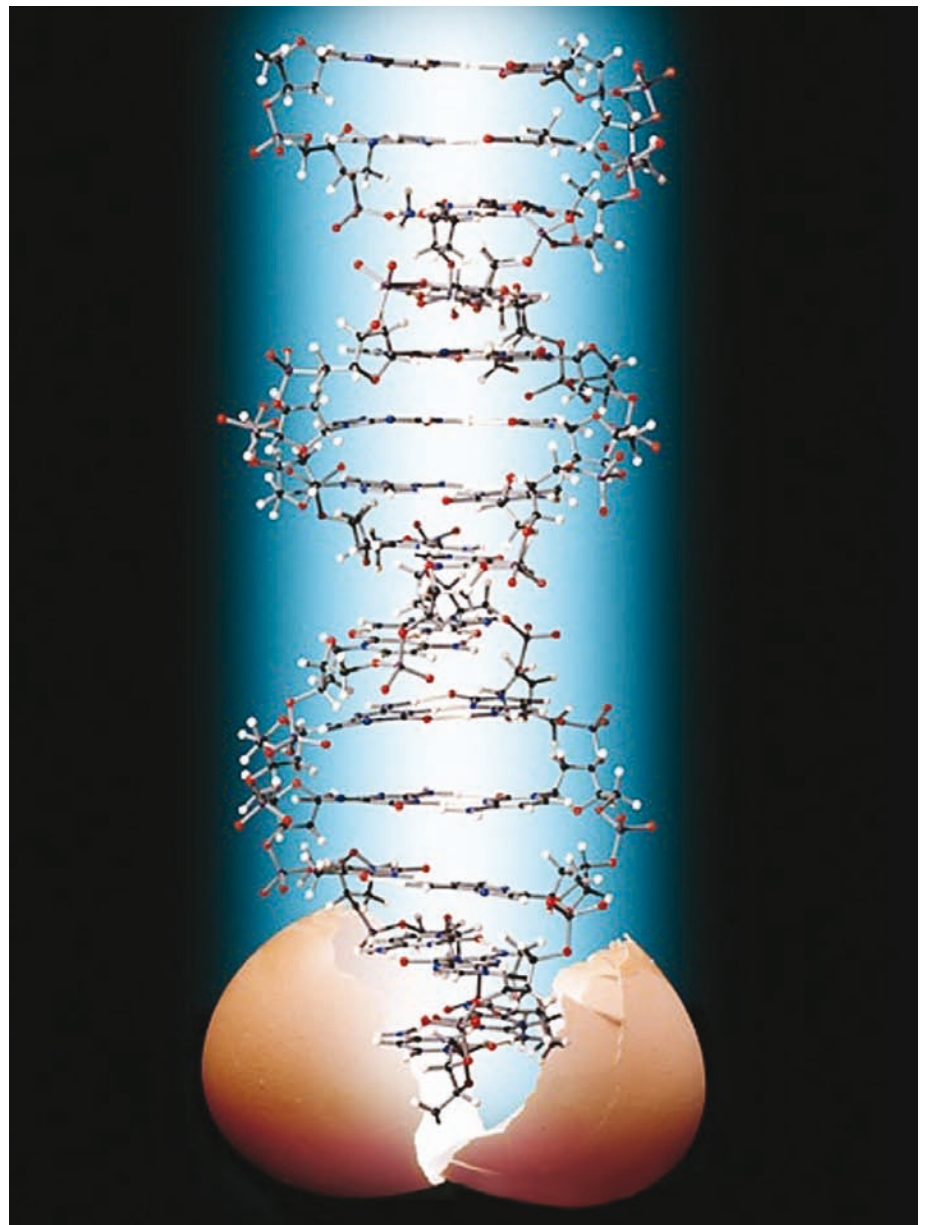
Ja no estem, per tant, en la línia que va encetar Oparin amb els coacervats, (petites gotes col·loïdals), sinó en la recerca de molècules amfifíliques (combinen en la seva estructura una part hidrofòbica i una part hidrofílica) que en contacte amb l'aigua formen estructures tipus vesícules o estructures de bicapes com les que trobem en les membranes biològiques, etc.

L'exploració de la biofísica i de les característiques físico-químiques d'aquests siste-

mes és molt important. El mateix Szostak va publicar fa poc un article en el que demostrava que durant la formació i creixement de vesícules d'àcids grassos es genera espontàniament un gradient de pH, és a dir, un mecanisme de transducció d'energia. Aquest mecanisme pot ser il·lustratiu d'alguns processos primitius en la via de ser reclutats com a mecanismes bioquímics.

L'origen dels mecanismes genètics

Un altre tema típic en el context de l'origen de la vida és el de l'origen dels mecanismes genètics. El flux d'informació biològica tal com funciona en l'actualitat és el pas de DNA a RNA i d'aquest a proteïnes. I hi ha



una absoluta dependència de qualsevol element respecte la resta, és a dir, necessitem DNA per produir proteïnes, però també necessitem proteïnes per transcriure, traduir, replicar, etc. Així doncs, si tot depèn de tot, com podia haver començat aquest sistema? Per comparar-ho amb el dilema clàssic de si va ser primer l'ou o la gallina ens preguntem què va ser primer, l'àcid nucleic o la proteïna?

A banda d'algunes especulacions teòriques molt brillants com les de Crick, Orgel i altres als anys seixanta, cap als anys vuitanta es va centrar l'interès cap a l'RNA perquè a més de ser material genètic, es va descobrir que era capaç de catalitzar reaccions químiques. És el cas dels ribosims. Això va donar lloc a la hipòtesi del "món de l'RNA" i representa el somni del biòleg molecular, és a dir, que en algun moment de la història de la vida tot estaria protagonitzat per l'RNA. I seria l'RNA el que inventaria la traducció de les proteïnes, mentre que el DNA seria una adquisició posterior. L'estructura del ribosoma reforça aquesta hipòtesi, ja que el lloc catalític (on es forma l'enllaç peptídic) no està format per proteïna, sinó per RNA. Queden moltes coses per descobrir, com per exemple si és possible que l'RNA es fabriqui a ell mateix. David Bartel, en experiments d'evolució de l'RNA en tubs d'assaig, va descobrir que aquesta molècula era capaç de copiar com a mínim un fragment d'ella mateixa. Per tant, aquest és un pas molt important en la via de demostrar aquesta hipòtesi.

Però el somni del biòleg molecular és el malson del químic prebiòtic, perquè l'RNA és una molècula d'estructura química tant complicada, que és molt difícil imaginar cap esquema abiòtic de síntesi raonable per a explicar la seva existència prebiòtica. Per això alguns autors han hipotetitzat que el món de l'RNA estaria precedit per un món químicament més simple, la natura del qual és desconeguda i tampoc s'han fet treballs per conèixer-la. Però sí que s'han explorat altres possibilitats, alternatives a l'RNA. Estructures com les tetroses són molt prometedores, ja que podria haver-hi hagut un altre àcid nucleic químicament més simple que l'RNA, format a partir de sucres més abundants i estables. També es podria tractar d'una estructura polipeptídica que por-

tés associades les bases nitrogenades com a primer material genètic.

En definitiva, d'una sopa primitiva amb components encara desconeguts, a través de processos que ignorem, arribem a un món del pre-RNA. Aquest món del pre-RNA incert, seria substituït posteriorment per l'RNA pròpiament dit, que al seu torn inventaria la síntesi de proteïnes i que finalment incorporaria el DNA com a material genètic. A partir d'aquí ja és una història "molt coneguda". Per tant doncs, podem concloure que en aquest procés encara hi ha força interrogants.

La connexió còsmica

En aquest apartat vull referir-me a les primeres èpoques de la Terra, de les quals la superfície de la Lluna és un testimoni molt fidel del bombardeig de cometes, meteorits, etc. que hi formen cràters. En els cometes i els meteorits hi ha una certa abundància de materials orgànics que arribarien a la superfície de la Terra en aquella època primitiva.

Un dels meteorits més estudiats és el Murchison, que va caure a Austràlia l'any 1969. Durant quaranta anys s'hi han identificat molts materials orgànics que vénen d'una síntesi produïda en els cossos parentals dels meteorits. En certa proporció, aquests sobreviuen el pas per l'atmosfera i la col·lisió i arriben a la superfície de la Terra. És a dir, actualment estan arribant algunes tones de material orgànic a la superfície de la Terra, procedents de la pluja de micrometeorits. Però en la Terra primitiva es tractaria d'ordres de magnitud molt més gran. Vull citar un article de fa uns mesos de Sandra Pizzarello i Arthur Weber, en el que es demostra que les molècules orgàniques que contenen els meteorits (no són mesclades racèmiques pures, hi ha un lleuger excés de l'enantiòmer L en el cas dels aminoàcids) són capaces de catalitzar síntesis no simètriques abiòtiques. Per exemple, la reacció de la formosa en presència d'una mescla no racèmica d'aminoàcids dona com a resultat una mescla no racèmica de sucres. En definitiva, la asimetria de la matèria orgànica d'origen extraterrestre podria ser l'origen de l'asimetria de la matèria orgànica fabricada a la terra. Aquest és un dels enigmes més grans en el tema de l'ori-

gen de la vida, l'origen de la homoquiralitat en la matèria viva: el per què els organismes utilitzen una sola sèrie d'aminoàcids o de sucres, la L o la D.

Una altre aspecte interessant és que els meteorits contenen molècules amfifíliques (se n'han obtingut del Murchison amb dissolvents orgànics) que en dissolució aquosa formen vesícules. És a dir, que també vindrien de fora les molècules amfifíliques. Però no s'han de deixar de tenir en compte les que es produirien en el propi Planeta. De manera que la sopa primitiva tindria components de la Terra i components de l'exterior.

En la direcció d'obtenir més informació, actualment es porta a terme la missió Cassini-Huygens, un projecte de la NASA, ESA i ASI que s'ha centrat en l'estudi de Titan (una de les llunes de Saturn), ja que la seva atmosfera s'assembla a l'atmosfera primitiva de la Terra i perquè és un laboratori natural de química prebiòtica.

La connexió submarina

També s'ha de parlar de la connexió submarina en relació amb l'origen de la vida. Quan als anys setanta es van descobrir les fonts termals submarines, que són realment oasis de vida, es va veure que qui sosté aquests ecosistemes són microorganismes que viuen a altes temperatures, en



condicions extremes, en les proximitats de les surgències. Es tracta d'escenaris d'una química peculiar associada a gasos reduïts, catalisi per minerals, síntesi de pirita en particular, temperatures elevades, mescles de cations, etc. i que porten associades una química orgànica que tot just comencem a descobrir. Però això ja ha donat peu a noves alternatives per a l'explicació de l'origen de la matèria orgànica en la Terra primitiva. Una d'aquestes alternatives va ser proposada per Günter Wächtershäuser el 1988. Associava l'origen de la vida (i en concret de xarxes metabòliques bidimensionals) a reaccions sobre la superfície de la pirita que es fabricaria anaeròbicament a partir de sulfur de ferro i sulfur d'hidrogen. La proposta del 1988 era purament teòrica i posteriorment es va comprovar de manera experimental. Però no es va provar únicament la reacció que ell postulava, sinó també que els electrons que es generen en aquestes reaccions servirien per a reduccions tant significatives com la fabricació d'amoníac a partir de nitrogen (és a dir, la fixació de nitrogen utilitzant els electrons de la síntesi anaeròbica de pirita).

Recentment també s'ha publicat la síntesi de pèptids a partir d'un catalitzador de pirita. Una altra demostració important és la condensació de monòmers per donar polímers, com la síntesi de pèptids catalitzada, per exemple, per sulfur de carbonil, que és un gas important en les emanacions volcàniques.

A partir de quan podem parlar de vida?

Fa uns anys, P. Luigi Luisí, Jack Szostak i David Bartel van publicar a Nature un article sobre el futur de la biologia sintètica. Per una banda van fer una aproximació de tot l'estudi del comportament de les vesícules i per altra banda els estudis dels ribosims, amb possibilitat d'obtenir-ne un d'autoreplicatiu. També van explicar la combinació de les dues aproximacions, en la que les vesícules autoreplicatives i els ribosims autoreplicatius es poguessin combinar fins i tot amb ribosims capaços de fabricar els components de la membrana

i, per tant, això podria ser un primer pas cap a un model primitiu de cèl·lula viva.

Però la pregunta òbvia és: quan podríem dir això està viu o no ho està? La resposta és una qüestió d'opinió, depèn de la definició de vida que hom tingui. No tenim una definició de vida internacional i acceptada per tothom, sinó propostes. I com a proposta donaré la nostra (publicada en la revista oficial de la Societat Internacional de l'Origen de la Vida): un ésser viu és qualsevol ésser autònom amb capacitats evolutives obertes. Entenem per autònom un concepte derivat d'autopoesi, és a dir, autoconstrucció, la capacitat dels organismes vius per construir-se a ells mateixos a partir de materials i fons d'energia externes. Entenem per capacitat evolutiva oberta el potencial de l'organisme per arribar a sistemes més complexos a partir d'un procés d'evolució darwiniana, la qual cosa implicaria l'existència de registres informatius hereditaris i mutables.

E. Szathmáry diferencia entre unitats de vida i unitats d'evolució. Els bacteris i els protistes serien, per exemple, unitats de vida i unitats d'evolució simultàniament; els virus, viroides i memes serien només unitats d'evolució; i els organismes que no es poden reproduir serien unitats de vida. Relacionant amb aquesta diferenciació de Szathmáry una hipòtesi genealògica de l'evolució primitiva, diem que a partir de la química prebiòtica i de sistemes autoorganitzats, és a dir, sistemes purament fisico-químics com les vesícules lipídiques que creixen i es divideixen, es formarien les primeres unitats de vida: les protocèl·lules. Les protocèl·lules serien portadores d'uns mecanismes metabòlics primitius, que donarien peu a la síntesi dels registres hereditaris sense els quals no entenem l'existència de l'evolució pròpiament dita. De manera que d'aquelles unitats de vida primitives que inventaren mecanismes hereditaris s'obtindrien les cèl·lules pròpiament dites i amb posterioritat, unitats d'evolució dependents d'unitats de vida com són els virus (això seria un derivat evolutiu posterior a l'origen de la vida).

En definitiva, passem de la química prebiòtica al darrer ancestral comú universal a través de tota una sèrie de fases, com ara sistemes autoorganitzats, establiment de mecanismes bioenergètics fonamentals, primeres rutes metabòliques que generarien els sistemes autònoms (aquells que serien capaços de generar els seus propis components a partir de la utilització de fons d'energia externes), desenvolupament de mecanismes hereditaris, invenció de la traducció i establiment del codi genètic (el món de l'RNA com a derivat metabòlic i no prebiòtic), incorporació del DNA com a material genètic i finalment l'arribada de ancestral comú universal que donaria lloc a l'evolució oberta dels dominis actuals.

En conclusió: no coneixem l'origen de la vida i difícilment mai el podrem conèixer, però hem de treballar plegats per trobar la narració més coherent possible, més satisfactòria possible i més compatible possible amb tots els coneixements científics que tenim.



Juli Peretó i Magraner és Doctor en Química per la Universitat de València. Professor Titular (des de 1991) de l'àrea de Bioquímica i Biologia Molecular de la Univer-

sitat de València i Investigador del grup de Genètica Evolutiva de l'Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva (des de 2003). Membre numerari de la secció de Ciències Biològiques de l'Institut d'Estudis Catalans (des de 1999).

La seva recerca actual se centra en l'estudi de l'evolució del metabolisme, l'origen de la vida i la història de les idees sobre l'origen de la vida.

És autor de nombrosos articles científics així com autor, coordinador, traductor o revisor científic d'un bon nombre de llibres de divulgació (p.e. Orígenes de la evolució biològica. Eudema Biologia, Madrid) i de docència universitària (Fonaments de Bioquímica. 4a edició 2002. Publicacions Universitat de València). Dirigeix la col·lecció Sense fronteres d'Edicions Bromera. Ha ocupat el càrrec de vicerector de diversos vicerectorats de la Universitat de València.