
ELS MATERIALS PRIMIGENIS I L'EVOLUCIÓ PRE-BIÒTICA (II)

Alfred Giner-Sorolla

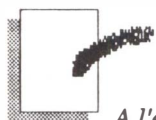
El començament del procés que va originar la vida a la Terra per evolució química de la matèria inerta i els models experimentals que miren de reproduir aquesta evolució són el contingut de la segona part d'aquest article.

EL LÍMIT SUPERIOR DE LA BIOPOESI: L'AMBIENT DE LA TERRA PRIMITIVA

La terra primitiva, originada fa uns 4.500 milions d'anys, consistia inicialment en un conjunt d'agregats, de materials fosos per la descàrrega d'energia gravitatòria, dels elements radioactius en decaïment, i experimentava els efectes de la radiació d'un Sol més jove que entrava en la seqüència principal del diagrama Hertzsprung-Russell. Al principi no hi

havia cap atmosfera a la Terra; el seu cor era metàl·lic i fos amb un mantell de silicats i una crosta amb una varietat gran de carburs i hidrurs metàl·lics, d'òxids, carbonats i silicats. El tipus de gasos que componien l'atmosfera primitiva terràquia és un dels temes més discutits, com ho és també la composició i evolució de la crosta del planeta; però hi ha unanimitat a atribuir un origen volcànic a l'existència de gasos a l'ambient primitiu de la Terra. Entre els primers arguments a favor d'aquest origen figuren els d'Oparin¹³ i Urey,¹⁴ que proposaren una atmosfera composta majorment de metà, amoníac, aigua i hidrogen. Fou Urey qui,

adonant-se de la prevalença d'hidrogen a l'univers i de la detecció dels compostos metà i hidrogen en els planetes jovians, deduí que tota possibilitat de reconstruir les síntesis pre-biòtiques en l'actualitat s'hauria de basar en aquestes premisses de la composició, a més de certes condicions energètiques, que se suposa que existien als oceans primitius o als microambients, que podrien iniciar el procés pre-biòtic (llacs, tolls). Altres autors com ara Calvin¹⁵ proposaven una atmosfera amb elevada concentració d'anhidrid carbònic i contenint oxigen. Un punt de vista oposat fou mantingut per Abelson basant-se en el fet que si el percentatge de



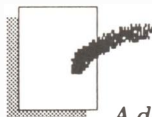
A l'esquerra, A.I. Oparin (1894-1980), bioquímic rus. Va ser un dels primers a atribuir un origen volcànic a l'existència de gasos en l'ambient primitiu de la Terra. A la dreta, M. Calvin (1911), químic nord-americà. Va sostenir que l'atmosfera primitiva contenia oxigen i fortes concentracions d'anhidrid carbònic.





metà en l'atmosfera primitiva fos de $\geq 1\%$ com proposaven Urey i Oparin (i com més recentment ha estat avançat per Gold amb la teoria de grans dipòsits d'aquest gas a l'interior del planeta), aleshores haurien hagut de formar-se grans quantitats de sediments de carbó, molt més grans que els que es troben en el cambrià i el mesozoic. Fa notar Abelson que els dipòsits de carbó i petroli foren originats a partir d'èpoques recents, del devonià al juràssic amb un màxim durant el carbonífer i així dedueix que els gasos de l'atmosfera primitiva devien contenir monòxid i diòxid de carboni, nitrogen i hidrogen per concordar amb les dades geològiques esmentades.¹⁶

Els gasos de la Terra primitiva, si bé majorment reductors, devien contenir una minsa proporció d'oxigen, segons es desprèn de troballes geològiques recents; Hart ha exposat una imatge de l'evolució de l'atmosfera, que sembla ser la més plausible, i en què es dona una gran abundància de metà que sorgeix per emissions volcàniques, a partir del moment de la formació de la Terra (4.5×10^9 anys) i que va augmentant fins a arribar a un

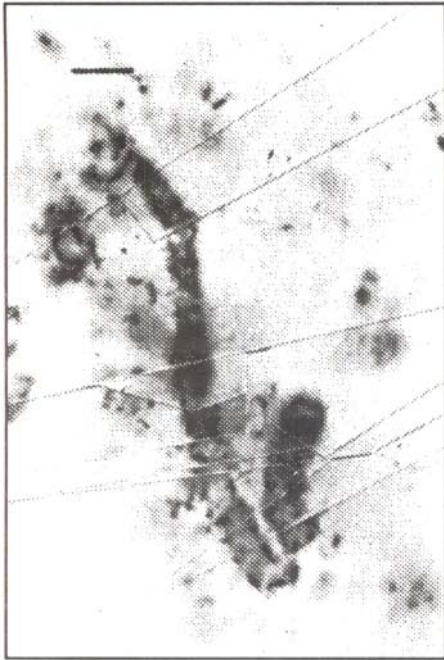


A dalt, volcà Santa Helena, als EUA, en 1980. Volcans del mateix tipus que aquest van contribuir a formar l'atmosfera primitiva. Abaix, H. Urey, físic i químic nord-americà, és un dels pioners de les síntesis experimentals pre-biòtiques.



màxim fa $3,5 \times 10^9$ anys, o sia coincidint amb el període de biopoesi; el diòxid de carboni, que inicialment existia en proporció elevada, minvà fins a un mínim (fa 10^9 anys). La concentració de nitrogen arriba a un màxim fa 1.5×10^9 anys, coincidint amb la lenta aparició d'oxigen. Si bé en aquest model no es parla de l'hidrogen, hi ha un acord en el postulat d'Urey segons el qual, sent aquest element el més abundant a l'univers, devia existir en una certa proporció a la Terra primitiva, per descomposició volcànica d'hidrurs metàl·lics, i que, a causa de la seva baixa densitat, part d'ell degué escapar de l'atmosfera.

Quant a les fonts d'energia que devien existir a la Terra primitiva, necessàries per endegar tota la marxa ascendent cap a la formació de molècules biogèniques, es considera que una de les fonts primàries degué ser la radiació ultraviolada del Sol. Pel fet que la Terra primitiva no contenia sinó traces d'oxigen, no devia existir una capa d'ozó com ocorre actualment i que protegeix els éssers vius del planeta dels efectes mutagènics i carcinogènics de la radiació ultraviolada. Aquesta radiació, però, ocupa un lloc de màxim significat com a factor essencial en l'aparició de l'oxigen a l'atmosfera; en efecte, segons un mecanisme proposat per Urey i anomenat "l'efecte Urey",¹⁴ per escissió radiolítica del vapor d'aigua s'obtidria hidrogen i oxigen; ara bé, aquesta proporció d'oxigen originat per la radiació UV és molt limitada, i s'estima que no és superior a 0,1 % de l'atmosfera actual segons Berkner i Marshall.¹⁸ Aquest nivell de contingut d'oxigen fou ultrapassat en un punt no determinat encara de la història geològica, fins a arribar a l'1 %, l'anomenat "nivell de Pasteur", o sia la concentració d'oxigen requerida per canviar el metabolisme dels microorganismes de fermentatius a respiratoris, d'anaeròbics a aeròbics. Els fòssils moleculars (és a dir, productes aïllats d'organismes fòssils que es troben al pre-



A l'esquerra, fòssil bacterià de fa uns $3,5 \times 10^9$ anys.

A baix, llamp. Les descàrregues elèctriques van ser un factor primordial en la síntesi pre-biòtica.

A la pàgina següent i a dalt, C. Darwin.

A baix, l'illa de Surtsey, a Islàndia, sorgint del mar en 1963.

canvià començant pels bacteris incrustats en sediments de més de $3,5 \times 10^9$ anys d'edat des de la seva formació) demostrarien la presència en aquesta època de la funció clorofíl·lica, encara que fou molt més evident fa uns $1,5 - 2,0 \times 10^9$ anys quan començaren els processos metabòlics aeròbics en els microorganismes.

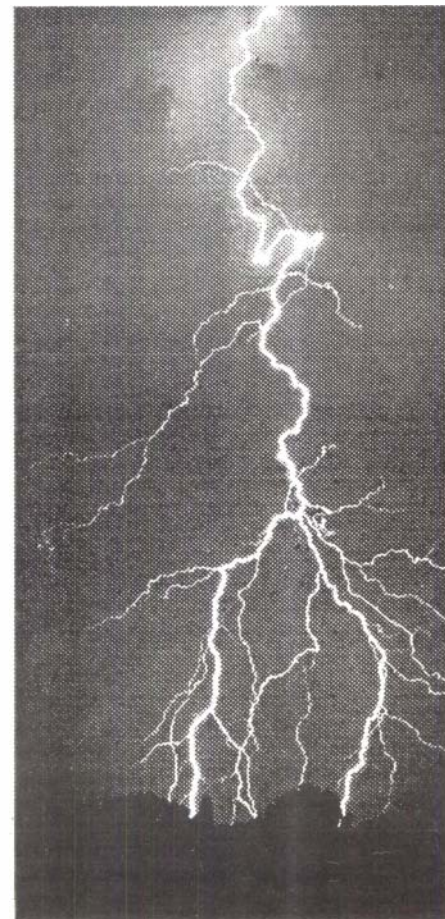
Una altra de les fonts primàries d'energia a la Terra primitiva i que devia tenir la funció d'activar reaccions pre-biòtiques, és l'energia tèrmica: S'ha calculat que a la Terra primitiva, poc després de formar-se, la temperatura no era superior a uns pocs centenars de graus en contra de l'opinió segons la qual la Terra era amb una crosta fosa; el progressiu refredament permeté la dissolució dels gasos existents a l'atmosfera en els oceans i llacs primitius; càlculs fets per Urey indiquen que la temperatura de la Terra primitiva no devia excedir els 100° , per possibilitar en èpoques successives la formació d'oceans i la dissolució dels gasos atmosfèrics. Una temperatura que permetria la dissolució d'amoniac i que fóra suficientment elevada per accelerar reaccions pre-biòtiques oscil·laria entre $70-80^\circ$; és precisament aquesta temperatura la que va fer servir Oró en la seva clàssica síntesi

de purines a partir de cianur d'hidrogen i d'amoniac.¹⁹

Altres fonts d'energia en l'ambient primitiu de la Terra, pogueren ser el cas particular de la tèrmica (com ara l'originada per erupcions volcàniques), la del decaïment de radioisòtops, més abundants durant els primers estadis de la història geològica, l'energia elèctrica amb descàrregues (que devien ser més intenses i freqüents que en l'actualitat, i que degueren constituir un factor primordial en la síntesi pre-biòtica, tal com ha quedat demostrat pels experiments pioners de Miller, produint aminoàcids i altres compostos, amb energia elèctrica sobre una barreja de gasos).²⁰ S'ha proposat, a més, que en el xoc de meteorits amb l'atmosfera i en l'impacte amb la superfície de la Terra i dels oceans, l'elevada temperatura que això originaria ($> 16.000^\circ\text{K}$) i la pressió ($> 1.500 \text{ atm}$) hauria donat lloc a reaccions amb radicals lliures dels components primitius de l'atmosfera. Durant els últims 5×10^8 anys han xocat amb la Terra més de 40.000 meteorits amb diàmetre superior a uns quants metres i capaços de produir els efectes descrits.

L'element més essencial i distintiu de la Terra, a part de l'atmosfera, és sens dubte l'aigua; som a l'únic planeta del sistema solar que conté aigua en quantitat suficient per ser el vector necessari per a l'origen i sosteniment de la vida. l'origen d'aquest element tan essencial ha estat ben debatut; l'origen volcànic n'és una de les

hipòtesis; es creu també que, a causa del gran contingut d'aigua dels cometes (com s'ha pogut comprovar recentment amb els vehicles espacials enviats per analitzar la composició del cometa Halley i que han confirmat la hipòtesi de Whipple²¹ que els cometes no eren altra cosa sinó unes "boles de neu brutes"), en xocar amb la Terra l'haurien dipositada, tot afegint-la a la que existia d'origen autòcton. L'abundància d'aigua d'un origen o altre degué fer que els oceans primitius cobrissin tota la superfície del planeta (l'anomenada "panthalassa"), i els continents en degueren sorgir a causa de l'activitat volcànica. Els oceans, llacs i tolls poden molt bé, d'acord amb la teoria d'evolució química, haver estat els bressols de vida on tingueren lloc les reaccions pre-biòtiques per l'acció de les fonts d'energia descrites amb els components de l'atmosfera primitiva, tot constituint l'anomenat "brou primordial" (*primordial soup*).²²



L'EVOLUCIÓ QUÍMICA

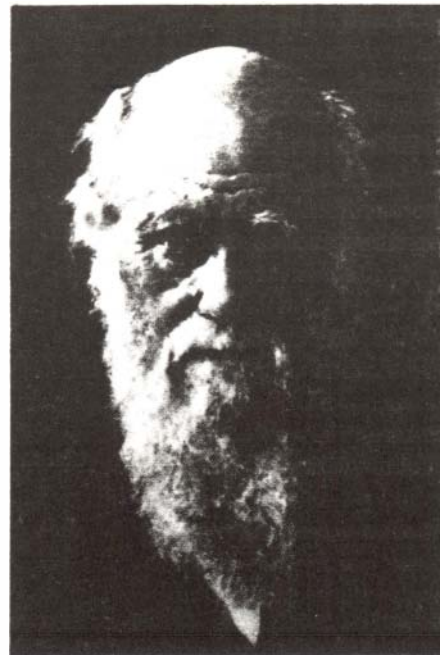
A la Taula VI [vegeu (ciència) 66/67] s'han mostrat les diverses concepcions sobre l'origen de la vida a la Terra; n'hem de descartar, com ja ha estat indicat, el creacionisme que no és cap concepció científica perquè no permet el criteri bàsic de falsabilitat, d'acord amb els preceptes de Karl Popper.²³ Rebutjada així mateix la generació espontània com a possible origen de la vida, queden la panspèrmia còsmica i l'evolució química. S'ha indicat la implausibilitat de la primera, perquè, tot i que entra dins el reialme de la concepció científica, en la forma que els seus proponents la conceben apareix com un subterfugi per traslladar el problema de la biopoesi a altres mons, sense explicar els processos que la realitzaren. Ens queda per tant, com a explicació científica més plausible de l'origen de la vida a la Terra, l'evolució química, prevista ja per Darwin quan escrivia la frase clàssica:

"S'ha dit ben sovint que les condicions per produir un organisme viu existeixen en l'actualitat. Ara bé, si (i quin gran «si») es pogués concebre un toll petit escalfat amb tota mena de sals fosfòriques, amoníac, llum, electricitat, calor, etc. i que un compost proteínic es formés químicament, a punt per experimentar canvis més complexos, avui dia aquest compost seria devorat instantàniament per organismes o absorbit, cosa que no hauria succeït abans de formar-se les primeres criatures vives".²⁴

La demostració per Pasteur de la inexistència de la generació espontània semblaria contradir la possibilitat de tot origen de la vida a partir de la matèria inerta. En aquest context s'expressava Engels quan formulà una crítica dels experiments de Pasteur en el sentit que si els microbis no es desenvolupaven als seus experiments era per la natura limitada de les condicions utilitzades; fóra absurd segons Engels "de demanar a la Natura que

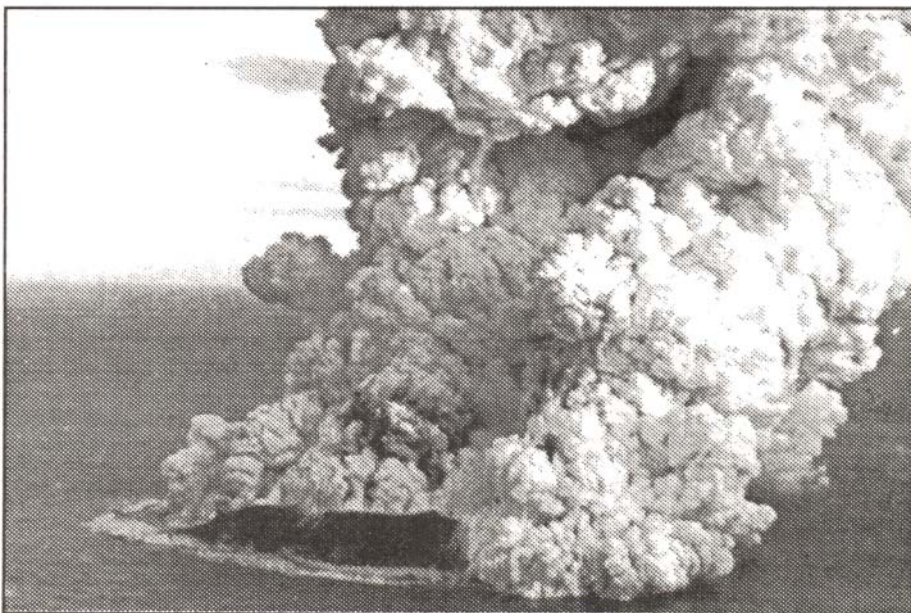
realitzés en tan poc temps un procés que havia requerit abans, a l'inici de l'origen de la vida, milers d'anys". Per a Haeckel, negar la generació espontània "era acceptar la possibilitat d'un miracle: o la vida sorgeix espontàniament o és produïda per forces sobrenaturals". L'evolució química, postulant l'origen de la vida a partir de la matèria inerta, constitueix un tipus de generació espontània especial que es distingeix de la que es predicava als temps clàssics i medievals perquè no recorre a cap element màgic, sobrenatural, per realitzar-se, i perquè, a més, el nombre de biopoesis és tan sols d'una, en contrast amb les creences antigues que feien de la generació espontània un fenomen freqüent.

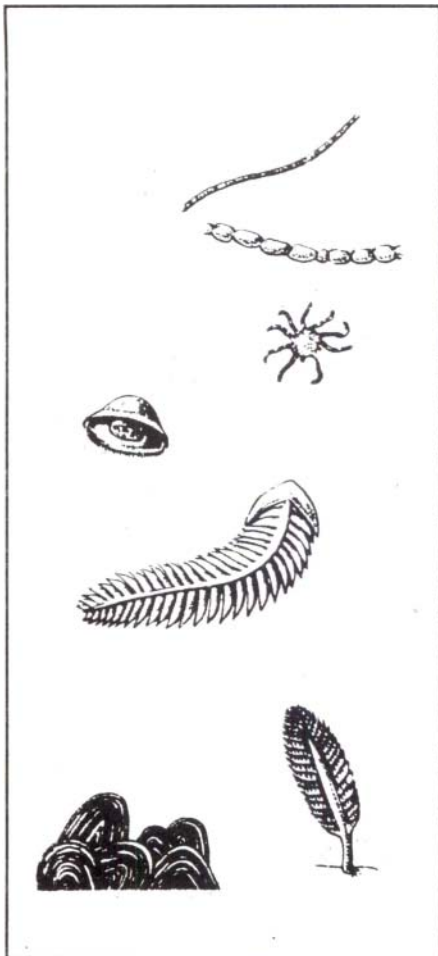
La teoria de l'evolució química es fonamenta en les tres premisses següents: 1) L'ambient favorable per a la biopoesi en les condicions de la Terra primitiva. 2) Com a una extrapolació i extensió de la teoria de l'evolució biològica formulada per Darwin. L'origen de la vida fóra degut, segons la teoria de l'evolució química, a un procés prolongadíssim, que per estadis successius i ascendents, de molècules més simples a més complexes, produïren (al cap d'uns quants centenars de milions d'anys) el primer organisme viu en la Terra. 3) Fi-



nalment, el principi de reductivitat: no existeixen diferències elementals entre organismes vius i matèria inerta. Per tal de donar suport a aquesta tercera premissa basant-se en les dades contingudes en la segona, s'han dut a terme nombrosos experiments amb la finalitat d'obtenir materials biogènics de tota mena, simulant les condicions que se suposa que devien existir a la Terra primitiva.

L'evolució biològica enunciada per Darwin és la transformació d'espècies, de les més simples a les





A l'esquerra, organismes primitius pre-cambrians. A la dreta, S. Arrhenius (1859-1927), físic i químic suec. Va defensar la hipòtesi de la panspèrmia còsmica.



el període d'evolució química, biopoesi, en què s'haurien format materials primigenis, des dels més simples al començament, fins als més complexos, fins a arribar a la primera cèl·lula. És lògic que no es trobin fòssils d'aquest període, a causa de la inestabilitat dels productes amb què es formaren els successius estadis de materials biogènics. En aquesta dificultat de reproduir amb exactitud les condicions tant de l'ambient, com de trobar claus en els sediments que poguessin permetre de reconstruir l'escenari en què es produí el primer microorganisme, rau un gran repte que els científics tracten de superar.

La Taula VII²⁵ dona una sinopsi de l'evolució global terràquia indicant els fòssils moleculars i esdeveniments des de l'inici de la Terra.

MODELS EXPERIMENTALS PRE-BIÒTICS

El període de biopoesi, emmarcat entre la formació de la Terra (fa uns 4.500 milions d'anys) i l'aparició dels primers microorganismes fòssils (fa 3.800 milions d'anys), límits respectivament superior i inferior, no ha deixat, doncs, cap clau respecte al procés que degué seguir per formar macromolècules biogèniques a partir de la matèria

més complexos, a través d'un temps prolongat, fins a arribar a la cimera de l'home i la fauna i flora actuals. Extrapolant l'evolució biològica cap endarrera, s'observa que, a mesura que ens allunyem del temps present, els fòssils són cada vegada més simples i menys abundants. S'arriba al cambrià (fa 600 milions d'anys), quan la majoria dels metazous desapareixen i tan sols unes formes rudimentàries es troben en sediments (p. e. a Austràlia); més cap endarrera entrant al pre-cambrià, els fòssils visibles desapareixen per complet dels sediments i en lloc seu es descobriren, en roques de nivells més primitius (fins a 3.800 milions d'anys), microfòssils -organismes que constitueixen el límit inferior de la biopoesi. Si es recula més encara, no apareixen més restes de fòssils, i això indica que durant aquest interval de 700 milions d'anys des de la formació de la Terra fins a l'aparició dels primers microorganismes, degué existir

Taula VII. Iníci i evolució de la Terra (Sinopsi)

Era geològica (10 ⁶ anys)	Fòssils moleculars	Esdeveniments
EVOLUCIÓ BIOLÒGICA		
Cenozoic (70)	Àcids nucleics, carotens	Homo sapiens
Mesozoic (70 - 230)	Hidrats de carboni	Mamífers
Paleozoic (230-600)	Aminoàcids i polipèptids	Vertebrats primitius
Pre-cambrià (600 - 3.800)	Àcids grassos, porfirines, terpens (pristà, fità)	Metazous primigenis Microfòssils
EVOLUCIÓ QUÍMICA:		
Pre-biòtica (3.800 - 4.500)	(Atmosfera primitiva, CH ₄ , H ₂ , NH ₃ , H ₂ O: aminoàcids, polipèptids, purines, pirimidines, nucleòsids)	
Formació de la Terra (4.500)		

(Adaptat de M. Calvin (25), p. 29)



A baix, imatges inicial i final d'un procés de síntesi de matèria orgànica realitzat a la Universitat de Cornell. El baló de vidre conté una mescla de gasos (metà, amoníac, sulfur d'hidrogen i aigua), sotmesa durant unes hores a l'acció de guspires elèctriques.

inerta, fins a l'aparició de la primera cèl·lula. Això fa que s'hagi de recórrer a l'experimentació fonamentada en les dades geològiques i astronòmiques sobre la possible construcció de l'ambient primitiu del planeta per aconseguir la formació dels materials primigenis necessaris per a l'origen de la vida.

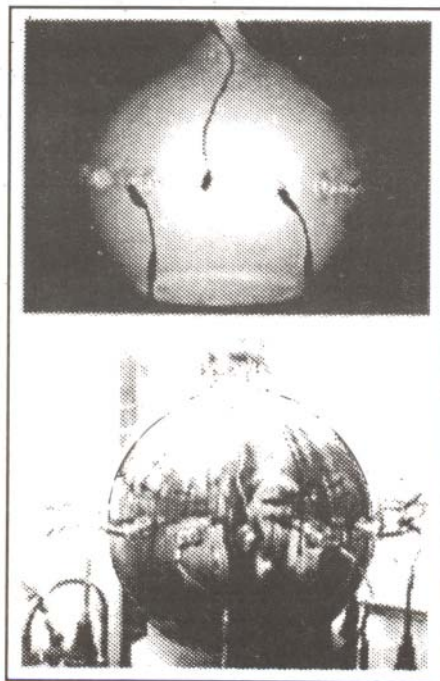
Els dos primers models experimentals de simulació de condicions que devien existir a l'ambient primitiu del planeta i que consten com a pioners en el camp de la síntesi pre-biòtica, foren els de Miller-Urey²⁰ i el de Joan Oró;¹⁹ el primer, basat en les premisses de la constitució de l'atmosfera de planetes jovians utilitzant energia elèctrica com a font d'energia i el segon, amb una mescla composta de productes derivats de reaccions tèrmiques. El tipus d'experiments de Miller-Urey donà com a resultat, que es pot qualificar de sensacional, la síntesi dels maons de proteïnes, els aminoàcids; la síntesi de Joan Oró, així mateix sorprenent, donà com a producte components d'àcids nucleics, les purines. Així ens trobem que les primeres síntesis concebudes amb el fonament en condicions pre-biòtiques proporcionen els dos elements bàsics de la constitució de tots els éssers vius: les proteïnes i els àcids nucleics. Després d'aquestes dues síntesis realitzades

Taula VIII. Sinopsi dels principals models de síntesi pre-biòtica

Investigadors	Fonament	Components	Font d'energia	Productes
Urey, Miller, 1954	Atmosfera planetes jovians	CH ₄ , H ₂ O, H ₂ , NH ₃	elèctrica	aldehids, aminoàcids èptids, àcids carboxílics
Oró, 1959	Atmosfera Terra primitiva	HCN, H ₂ , NH ₃	tèrmica	purines: adenina, guanina
Fox, 1956	Ambient volcànic, tolls	aminoàcids	tèrmica	<< proteinoids >>
Abelson, 1966	Dades geològiques	CO, CO ₂ , H ₂ , N ₂	tèrmica	aminoàcids, pèptids, heterocíclics
Oró, Anders, Arrhenius, 1969 - 1975	Composició i condicions de la nèbula solar	CO, H ₂ , N ₂ , NH ₃	tèrmica, pressió (Fischer-Tropsch)	hidrocarburs, aminoàcids, pèptids, pirimidines, purines

els anys 50, seguien una veritable allau de treballs en què, fent servir variacions de les síntesis inicials, es tractava d'explicar la formació de les diverses molècules biogèniques i duplicar-les. D'aquestes síntesis, en detallarem tan sols les més destacades, com mostrem a la Taula VIII.

Amb aquestes reaccions s'aconsegueix la formació de molècules relativament simples, monòmers, que és el primer pas de la formació dels materials primigenis. Així, els processos de l'evolució pre-biòtica comencen amb els models de síntesi



pre-biòtica, seguits d'una contínua marxa ascendent de major complexitat que podem resumir en:

1) els components i condicions existents en l'atmosfera i la crosta terràquia primitives;

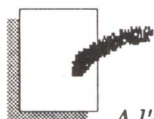
2) la formació per síntesi en condicions pre-biòtiques de materials monomèrics primaris com ara els aminoàcids, purines, hidrats de carboni, lípids;

3) la polimerització dels aminoàcids en pèptids i en proteïnes, dels heterocicles purínics i pirimidínics, juntament amb hidrats de carboni i fosfats en polímers d'àcids nucleics. La polimerització de diversos heterocicles en els pigments clorofil·lics i respiratoris;

4) la formació a partir d'aquests components polimèrics, mitjançant catalitzadors inorgànics (argiles), dels precursors de cèl·lules, "protobionts".

5) l'aparició dins el protobiont format amb membrana que l'indpenditza del medi exterior, de funcions metabòliques i reproductives iniciadores de l'evolució biològica del primer microorganisme autoreplicable, és a dir, de l'origen de la vida.

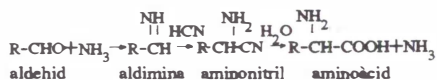
Hem descrit el primer estadi, el límit superior de la biopoesi; quant al segon i que es refereix a la síntesi pre-biòtica dels monòmers, realit-



A l'esquerra, J. Oro (1923), bioquímic català. Va fer la primera síntesi de purines en condicions pre-biòtiques.

A baix, esquema de l'aparell que S. Miller va fer servir per a la primera síntesi pre-biòtica.²⁰

zada per Miller seguint el model proposat per Urey, consistí en l'ús de condicions similars a les de la Terra i dels oceans primitius. Per a això utilitzaven un aparell (v. fig.), on els gasos metà, amoníac, hidrogen i l'aigua, barrejats a l'interior del baló i que representen els components de l'atmosfera primitiva, eren sotmesos a una descàrrega elèctrica; els productes de reacció eren recollits pel condensador en un receptor amb una aixeta que permet de treure'n mostres periòdicament per tal de seguir la marxa de la reacció; la reacció, que produïa aminoàcids, era del tipus Strecker: inicialment s'hi sintetitzen aldehids com a intermediaris de la reacció d'amoníac, cianur d'hidrogen i conseqüent hidròlisi:



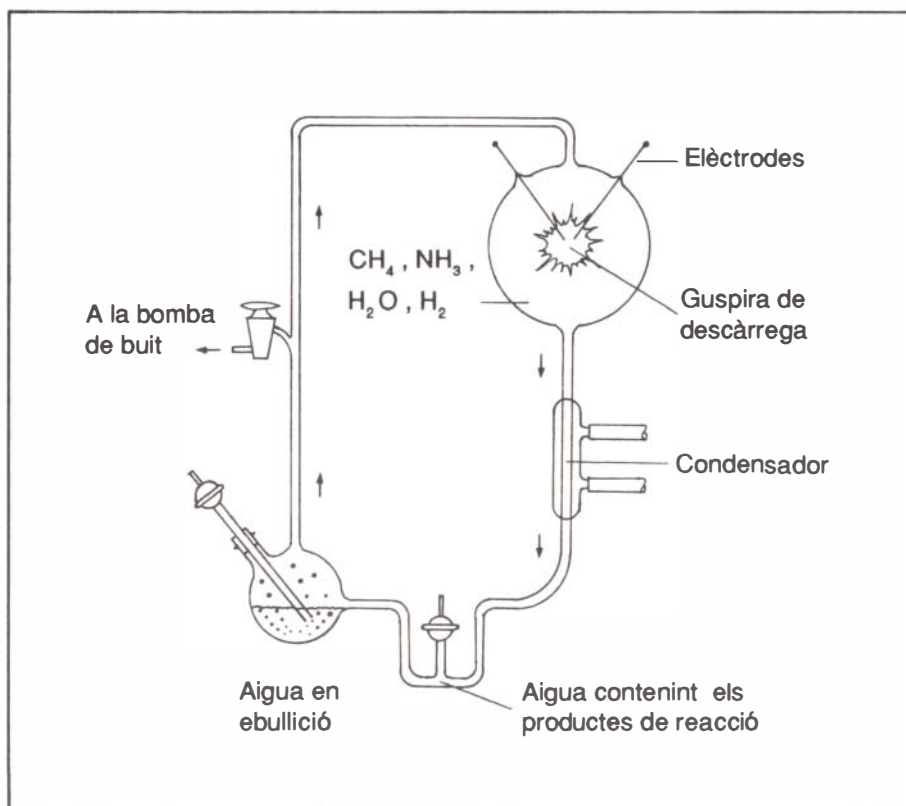
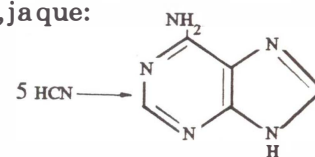
Entre els aminoàcids formats figuren constituents de proteïnes naturals, la glicina, l'alanina i l'àcid aspàrtic; a més, se n'obtenien de no naturals com ara aminobutíric, β-alanina, i diversos àcids com el làctic, acètic, propiònic, i a més, urea i metilamina, entre altres productes. La conclusió que Stanley Miller tragué del seus experiments queda expressada en la discussió del seu escrit aparegut el 1954:²⁰

"Les idees (d'una possible síntesi pre-biòtica) són, naturalment especulatives, perquè no sabem si efectivament la Terra posseï una atmosfera reductora quan es formà, ja que la majoria dels components geològics han estat alterats durant

els quatre o cinc mil milions d'anys, des de la seva formació, i així des d'aleshores no se n'ha trobat encara cap evidència... sí que es pot afirmar, però, que no s'han pogut sintetitzar compostos orgànics biogènics en una atmosfera oxidant, cosa que permetria de concloure que la Terra devia tenir un ambient d'atmosfera reductora en els seus primers estadis evolutius i que la vida devia haver sorgit del mar de compostos orgànics quan la Terra tenia aquest tipus d'atmosfera. Aquest argument es fonamenta en la premissa que per a l'origen de la vida haurien hagut de ser-hi presents, en aquesta Terra primitiva, un gran nombre de compostos

orgànics similars als que entren en la formació del primer organisme".

Quant al model experimental que conduí Joan Oro a sintetitzar diversos compostos en condicions d'una atmosfera primitiva a la Terra, cal assenyalar el gran significat que ateny la facilitat amb què s'obté un dels components bàsics dels àcids nucleics, l'adenina, a partir de molècules simples com ara l'amoníac, el cianur d'hidrogen i l'aigua amb l'ajut d'energia tèrmica. Una barreja d'aquests components escalfats durant diversos dies a temperatures variables (27-100°) produí no tan sols adenina, sinó també altres purines, aminoàcids (glicina, alanina, àcid aspàrtic) i una sèrie de compostos intermediaris de la formació de l'adenina, com ara la 4-aminoimidazol-5-carboximidina i la 4-aminoimidazol-5-carboxiamida.¹⁹ Essencialment, la sèrie de reaccions consisteix en una "pentamerització" del cianur d'hidrogen en adenina, ja que:





A l'esquerra, llac en una zona volcànica de l'Àfrica oriental. Segons S.Fox, els proteïnoids es van formar en un ambient semblant, quan l'atmosfera no tenia, però, el contingut d'oxigen que té ara. A baix, model cristal·logràfic de les dues formes simètriques que pren l'alanina. Aquest aminoàcid és un dels que J.Oró va produir en el seu model experimental.

Segons Oró:
"Es demostra la validesa científica d'aquests experiments en relació amb el principi de continuïtat evolutiva de la matèria quan s'observa que, a partir d'unes dotze molècules interstel·lars (Taula V) [vegeu (ciència) 66/67], es poden obtenir en el laboratori pràcticament tots els monòmers bioquímics fonamentals i que aquestes molècules interstel·lars forneixen alhora les condicions necessàries per a certs processos de síntesi orgànica".⁷

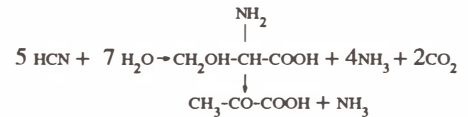
Cal fer notar, com vaig mencionar en la comunicació de la IV Trobada de recerca experimental en física i química a Prada el 1985,²⁶ que, com a productes intermediaris de la síntesi de l'adenina en les condicions estipulades per Oró, obtinguérem fraccions de la reacció d'amoniac i cianur d'hidrogen a 80°, durant unes hores, les quals posseïen una potent activitat mutagènica en sistemes bacterians. I com que la majoria dels mutàgens són carcinògens, el resultat anterior suggereix que en la síntesi prebiòtica ja devien existir compostos amb la doble activitat mutagènica i carcinogènica, hipòtesi que presentàrem l'any 1980.²⁷

El model de síntesi prebiòtica descrita per Sidney Fox es basa en la consideració de la gran abundància d'activitat volcànica en la Terra primitiva, tot junt amb els productes de descàrrega elèctrica que degueren formar, d'acord amb la síntesi de Miller, aminoàcids en el "brou primordial" en llacs o tolls de

l'ambient primigeni. Així, Fox aconseguí, a partir de barreges d'aminoàcids naturals, sotmesos a temperatura de fusió i vessant aquest producte sobre aigua, la formació de "proteïnoids", polímers dels aminoàcids que tenen tot l'aspecte microscòpic de cèl·lules i als quals atribueix propietats enzimàtiques i metabòliques com a "protoenzims".²⁸

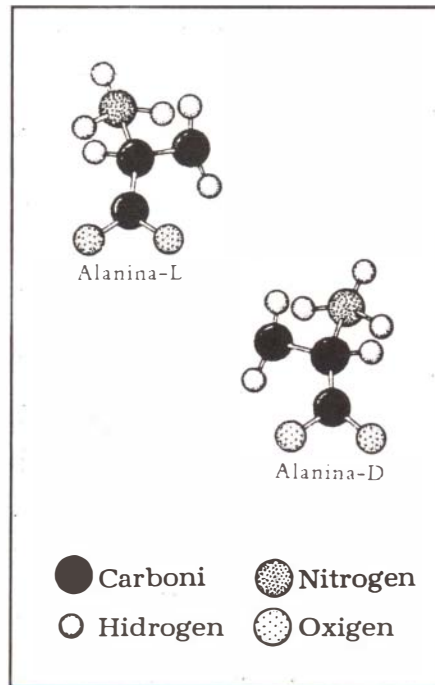
Abelson,¹⁶ per la seva part, adoptà un model de síntesi prebiòtica basat en dades geològiques segons les quals l'atmosfera primitiva, la devien constituir principalment monòxid i diòxid de carboni, hidrogen i nitrogen, procedents d'emissions volcàniques; quan aquests components eren sotmesos a radiació ultraviolada, es formava cianur d'hidrogen. Aquest,

reaccionant amb aigua de pH alcalí (8-9), produït en l'oceà primitiu per dissolució de silicats (sals d'àcid dèbil i base alcalina forta), conduïa a la síntesi d'aminoàcids i altres compostos per la reacció següent:



S'hi formava serina que, hidrolitzada, donava àcid pirúvic, i aquesta molècula participa en processos essencials del metabolisme. Argüeix Abelson que, tenint en compte la prolongada acció de les emissions volcàniques (d'uns 3.000 milions d'anys), és molt més plausible aquest model prebiòtic que el que es limita a uns quants centenars de milions d'anys; la complexitat de les reaccions exigiria aquest temps més prolongat.

Un tipus experimental de síntesi prebiòtica que es diferencia dels exposats fou investigat per Oró i Yang²⁹ i es fonamenta en la hipòtesi que la nèbula solar (constituïda pels materials primigenis dels quals s'originà el sistema solar) podria haver estat el bressol on es formaren les molècules biogèniques, afavorides per les condicions de pressió i temperatura prevalents abans de la formació de la Terra. El fet observat que estroben en meteorits (Taula III) [vegeu (ciència) 66/67] compostos biogènics (aminoàcids, purines i altres), estimulà Oró a dur a terme experiments de simulació en les condicions de la nèbula solar, fent servir la síntesi de Fischer-



Tropsch: se sotmet anhídrid carbònic, hidrogen i amoníac a temperatures i pressions elevades en presència de catalitzadors metàl·lics o de silicats. Així Oró aconseguí la formulació de diversos compostos biogènics entre els quals figuraven urea, adenina, guanina i citosina. ■



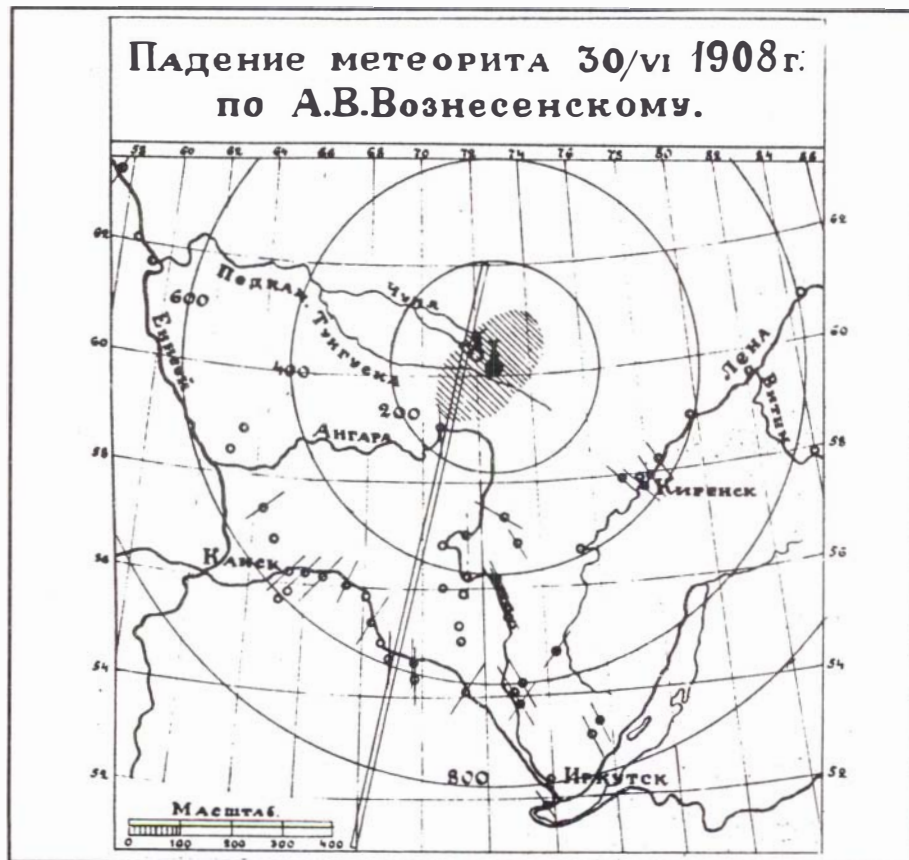
Els meteorits contenen compostos biogènics. Un meteorit es va estavellar en 1908 a Tunguska, Sibèria. Les il·lustracions ens mostren arbres abatuts per l'ona de xoc, en una fotografia de 1930, i un mapa que assenyalava la zona d'impacte i l'àrea màxima on es va notar el fenomen.



REFERÈNCIES DE LES DUES PRIMERES PARTS DE L'ARTICLE

1. Silk, J. *The big bang. The creation and evolution of the universe*. Freeman, San Francisco 1980.
2. Gore, R. *Natl. Geographic Mag.*, 163, 704 (1983).
3. Weinberg, S. *The first three minutes: a modern view of the origin of the universe*. Collins, Glasgow 1977.
4. Mallove, E. F. *The Washington Post*, 3 juny 1984, pag. B-1.
5. Oró, J. *Ann. New York Acad. Sci.* 108, 464, 1963.
6. Oró, J. *Molècules orgàniques a l'espai interestel·lar*. Col·loquis Soc. Catal. Biol. VII, 13, 1974.
7. Oró, J. *La evolución química y el origen de la vida*, en *Bioquímica y biología molecular*, S. Ochoa, L. F. Leloir, J. Oró i L. Cornudella, eds., p. 554. Salvat, Barcelona 1986.
8. Hoyle, F. *Astrophys. SpaceSci.* 66, 77, 1979.
9. Wood, J. A. i Chang, S. *The cosmic history of the biogenic elements and compounds*. NASA, Washington, D.C., 1985.
10. Oró, J. *Nature*. (Londres), 190, 389, 1961.

11. Pirie, N.W. *Aspects of the origin of life*. M. Florin, ed., Nova York 1960.
12. Crick, F.H. i Orgel, L.E. *Icarus*, 19, 341, 1973.
13. Oparin, A. I. *The origin of life on the earth*. Academic, Nova York 1957.
14. Urey, H. *The planets*, Yale 1952.
15. Garrison, W. M.; Morrison, D. C.; Hamilton, J. G.; Benson, A. A. i Calvin, M. *Science*, 114, 416, 1951.
16. Abelson, P.H. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 55, 1365, 1966.
17. Hart, M.H. *Icarus*, 33, 23, 1978.
18. Berkner, L. V. i Marshall, L. C. J. *Atmospheric Sci.*, 22, 265, 1965.
19. Oró, J. i Kimball, A. P. *Arch. Biochem. Biophys.* 94, 217, 1961.
20. Miller, S. J. *Amer Chem. Soc.*, 77, 235, 1954.
21. Whipple, F. L. *Scientific Amer.*, 230 (2) 48, 1974.
22. Haldane, J.B.S. *Rationalists discovery*. Londres 1958.
24. Darwin, C. *lletra a Hooker*, 1871, citaten la referència següent, pàg. 5.
25. Calvin, M. *Chemical evolution*, Oxford, pàg. 29.
26. Giner-Sorolla, A. *IV Trobada sobre relacions entre la recerca experimental en Física i Química*, Universitat Catalana d'Estiu, Prada de Conflent 1985.
27. Giner-Sorolla, A. i Oró, J. *Mutagens and carcinogens: Occurrence and role during chemical and biological evolution*. 6th Internatl. Conference on the origin of life, Jerusalem 1980.
28. Fox, S. W. i Dose, K. *Molecular evolution and the origin of life*, San Francisco 1972.
29. Yang, C. C. i Oró, J. *dins Chemical evolution and the origins of life*. R. Buvet i C. Ponnampuruma, eds. p. 155, Nova York 1971.



Aquest article és una comunicació presentada a la V trobada sobre Recerca Experimental en Física i Química en el camp de la Ciència de materials. Ha estat editada al Butlletí de les Societats Catalanes de Física, Química, Matemàtiques i Tecnologia, IEC, Barcelona, novembre 1989.