

A la recerca de l'origen del Sol, la Terra i la vida

JOSEP MARIA TRIGO I RODRÍGUEZ
Universitat Jaume I

1. L'origen del nostre entorn

Potser alguna vegada ens hàgim plantejat quan i com es va formar la Terra que ens acull i el Sol que, amb la seua llum, ha estat font de la vida. Respondre a aquestes qüestions no ens ha resultat gens fàcil, ja que durant generacions hem hagut de vèncer molts prejudicis i proposar moltes hipòtesis errònies fins que vam ser capaços d'interpretar raonadament tota la informació que ens envolta. Els astres que explorem, les roques i els fòssils terrestres o els meteorits provinents de l'espai interplanetari contenen escrita la seua història. Amb l'ajut de la ciència, aquest magnífic llegat dels nostres avantpassats, hem assolit les ferramentes adients per interpretar aquesta informació tot donant una resposta clara i inequívoca sobre l'origen del nostre entorn. Aquest és l'objectiu principal d'aquest article: presentar el que a hores d'ara coneixem al respecte, però també les mancances i línies d'investigació futures. L'actual ciència multidisciplinària mostra que els éssers vivents no som aliens a l'entorn còsmic i que de fet el nostre origen a la Terra ha transcorregut paral·lelament a l'evolució del Sistema Solar.

El coneixement actual és patrimoni dels avenços esdevinguts en molts camps d'investigació durant les últimes dècades. D'una banda, l'exploració sistemàtica dels planetes i els seus satèl·lits, junt a l'anàlisi dels meteorits arribats a la Terra, ens ha proporcionat dades directes sobre l'origen del Sistema Solar. Tot just de l'estudi de l'antiguitat, dimensions i nombre de cràters presents sobre Mercuri o Mart hem estret valuosa informació sobre la intensitat i durada de les violentes etapes inicials, on els planetes van ser bombardejats per infinitat de cossos menors. De manera paral·lela, en les últimes dècades s'han desenvolupat diversos projectes de recerca de meteorits al Pol Nord i l'Antàrtida que han permès recollir peces d'una gran vàlua per datar i analitzar la composició química del núvol protoplanetari. De fet, determinats meteorits com ara les condrites carbonàcies es van formar de la condensació directa d'aquest núvol primigeni i han permès datar isotòpicament l'edat del nostre Sistema Solar en uns 4.600 milions d'anys (d'ara endavant M.A.). A part d'aquestes dades obtingudes al nostre sistema planetari, també trobem evidències interessants de l'observació directa de regions galàctiques on es produeix a hores d'ara la formació d'estels i d'altres sistemes planetaris. Tota aquesta informació ens permet aprofundir en el coneixement dels processos progenitors d'estels i planetes.

2. Reconstruint els orígens

El Sistema Solar va nàixer d'una nebulosa interestel·lar que, amb una forma quasiesfèrica, girava alhora que es contraïa sobre ella mateixa. En uns pocs segles, la part més densa del núvol, inicialment d'un diàmetre unes cinquanta vegades la distància mitja de la Terra al Sol, va col·lapsar, i part de la matèria sòlida (en forma de diminutes partícules de pols) va caure cap al pla equatorial. Un 90% d'aquest material, majoritàriament hidrogen i heli, tendria a acretar gravitatòriament al centre de la nebulosa formant el primitiu Sol. Una petita part del material restant passà a formar el disc protoplanetari engendrador dels planetes que, finalment, assolí una massa pròxima a una centèsima de la solar. Començant a una temperatura de l'ordre de milers de graus centígrads, la nebulosa va anar refredant-se, donant lloc a la progressiva condensació dels diferents components químics del núvol. Determinats meteorits primitius ens informen d'aquestes etapes i les temperatures assolides. Els primers compostos en condensar van ser els anomenats refractaris, amb temperatures de condensació pròximes a 2.000 K. A l'interior del núvol, prop del Sol, condensaren compostos d'alumini, titani, calci, magnesi, silici, ferro, sodi i sofre entre d'altres, tot formant els anomenats planetesimals rocallosos que més tard s'agregarien per engendrar els planetes interiors com la Terra. Cal esmentar que d'altres elements com ara hidrogen, oxigen, carboni i nitrogen, només condensaren a les baixes temperatures predominants en la zona més externa. Aquesta és la raó per la qual al Sistema Solar exterior dominen els compostos volàtils en forma de gels (aigua, metà, amoníac, etc.), tot formant una part predominant de cossos de tipus cometari formats en regions fosques i fredes. Aquestes diferents fases de la condensació descrites venen corroborades pels estudis fets sobre les inclusions refractàries contingudes als meteorits condritics més primitius. Aquests ens faciliten la prova més directa de la composició del núvol quan esdevingué la condensació del material (veure fotografies 8.a i 8.b al final del volum).

¿Però com s'explica que petites partícules de pols es transformen en els gegantins planetes? Inicialment, el núvol d'hidrogen i heli contenia petites partícules de pols interestel·lar. Aquestes tendrien a agrupar-se entre si primerament per forces electrostàtiques, però més tard, en augmentar la seua massa, la gravetat assoliria un paper clau. Degut al moviment de rotació del núvol protoplanetari, les partícules, una vegada augmentaren la seua massa, tendrien a una regió d'estabilitat on pogueren conservar la seua energia cinètica. Això va determinar en pocs segles la formació del disc protoplanetari, en caure les partícules cap al pla equatorial de la nebulosa. Posteriorment, en augmentar el nombre de partícules en aquest pla, es faria més gran la probabilitat de col·lisionar entre elles, essent les energies involucrades en aquest procés insuficients per trencar les partícules però suficients per aglomerar-les; com a conseqüència, es van formar els anomenats planetesimals. Aquests cossos assolirien unes dimensions d'uns pocs metres fins a desenes de quilòmetres. Les modelitzacions dinàmiques mostren que milers d'aquests planetesimals orbitant el Sol tendrien a agrupar-se formant grans anells on la densitat de cossos seria molt gran. S'han detectat aquestes distribucions anellades en els discos protoplanetaris observats en diversos estels (veure figura 8.1). A aquestes regions, les col·lisions entre planetesimals es feren freqüents i amb el temps tendrien a agregar-

se per formar cossos de majors dimensions: els protoplanetes. A hores d'ara trobem el ròssec d'aquests cossos (els que han sobreviscut a aquest període) amb el nom d'asteroides. En coneixem uns 10.000, tot i que pensem que possiblement n'existisquen deu vegades més que, en forma de cossos de pocs quilòmetres de diàmetre, fins ara ens han passat desapercebuts.

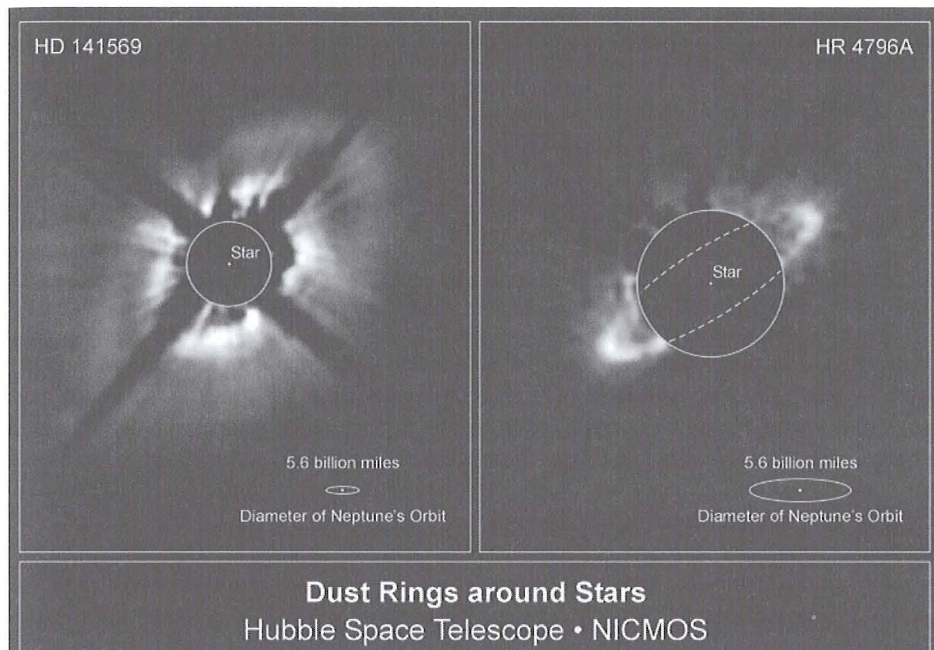


Figura 8.1. Els discos protoplanetaris observats al voltant d'estels joves presenten la matèria circumdant repartida en anells, degut possiblement a la formació de protoplanetes en el seu interior (NASA/HST).

3. La formació dels planetes terrestres

Recent format el protosol, la nebulosa primigènia es trobava a una temperatura de l'ordre de 2.000 K i la pressió era entre 3 i 6 ordres de magnitud menors a la pressió atmosfèrica actual en la superfície terrestre. La temperatura aniria minvant i al mateix temps els compostos, com a funció de la temperatura de solidificació de cadascun, anirien solidificant. Els models de condensació en l'equilibri parteixen de la condensació del gas de la nebulosa primigènia existent al voltant del protosol.

Els resultats dels models solen proporcionar una important font d'informació sobre les composicions bàsiques esperades per als diversos planetes. Degut a variacions en la seqüència de condensació segons la temperatura de cada regió, es comprova que les abundàncies químiques canviaran com a funció de la distància al Sol. De fet, diversos científics de la talla d'Urey, Larimer o Cameron, suggeriren durant els anys seixanta que les composicions majoritàries dels planetes terrestres podia ser explicada com a resultat

de la condensació de matèria segons la temperatura al voltant del Sol primigeni. Més tard, estudis detallats com ara els de Lewis, Ringwood o Saxena han descrit l'equilibri de fases en la nebulosa al llarg d'un gradient tèrmic amb la intenció d'explicar les composicions mitjanes dels planetes de tipus terrestre (vegeu la taula 1). S'assumeix que la composició de cada planeta ve governada per la seua temperatura de formació, considerant que al voltant d'aquesta el protoplaneta assolirà l'equilibri químic.

Component sòlida	Proto-Terra	Proto-Venus	Proto-Mercuri
Feldespat	11,8	12,6	0
Oliví i piroxè	61,7	57,9	71,5
Al·leació Fe-Ni	26,5	30,5	28,5
Massa relativa	1	(0,98)	(0,741)
Densitat mitjana	5,32	5,24	5,43

Taula 1. Percentatge en pes dels diversos agregats existents en l'equilibri de tres dels quatre protoplanetes formats en el Sistema Solar interior. Les dades entre parèntesi mostren la massa relativa si no es perderen el ferro i el níquel en el proto-Venus ni el ferro, níquel ni silicats en el proto-Mercuri. Les densitats mitjanes obtingudes s'ajusten quasi perfectament a les que s'han estimat a hores d'ara d'aquests planetes (Saxena, 1981).

4. La formació dels planetes per acreció

L'aglomeració progressiva de les partícules va formar cossos que assolirien grandàries cada vegada majors. Els estudis suggereixen que l'acrecció de matèria sobre els planetesimals depèn de la distància al Sol. A tall d'exemple, partícules inicialment en òrbita terrestre per agregació podrien arribar a incrementar vint centímetres el seu radi cada any. En conseqüència, seria possible obtenir planetesimals d'uns centenars de quilòmetres en transcórrer els primers cent milions d'anys des de la formació del disc protoplanetari. Així, sobre les partícules diminutes inicials actuaria la força electrostàtica i la gravitatòria tot induint la col·lisió de les partícules que, en ser majoritàriament inelàstiques, produirien la formació d'agregats cada vegada més massius.

En les primeres fases del Sistema Solar, cal tenir en compte que el Sol acabava de nàixer i encara no havia assolit una estabilitat en l'emissió de radiació. Aquests primers estadis estel·lars són estudiats en altres estels, evidenciant-se l'existència d'intensos camps magnètics i forts vents estel·lars. De fet, s'ha estimat que els vents estel·lars d'estels joves tenen milions de vegades la intensitat del vent solar actual. En conseqüència, aquest va ser capaç d'escombrar les petites partícules cap a l'espai interestel·lar, degut a la pressió de radiació. El resultat és que, quan el Sol començà aquest procés, aquelles partícules de dimensions inferiors a aproximadament un centímetre serien llançades cap a fora i, per tant, deixarien el Sistema planetari sense tenir opció a acretar per formar cossos grans. Potser aquestes partícules diminutes, degut a la mateixa viscositat del medi, tendrien a acumular-se a regions externes on, ajudades pels gels, formarien cossos de baixa densitat: els cometes. De fet, avui sabem de l'existència de milions de cometes

més enllà de Plutó, en el que s'anomena el Cinturó de Kuiper, i fins i tot a distàncies encara majors, emmagatzemats en el Núvol de Öort.

5. L'agitada infantesa de la terra

En plena consolidació dels planetes, una innumerable quantitat de cossos caigueren sobre ells. A partir de l'anàlisi del nombre, grandària i antiguitat dels cràters que observem a la Lluna i a d'altres planetes i satèl·lits, s'ha pogut reconstruir un passat agitat, on l'enorme abundància d'asteroides i cometes feien freqüents els impactes. Els càlculs mostren que la quantitat de matèria interplanetària existent era entre deu i cent mil vegades superior a l'actual, formada especialment per cossos de grans dimensions. Durant la consolidació de la Terra, els impactes amb cometes introduïren quantitats immenses d'aigua i matèria orgànica. Aquesta teoria, que ha revolucionat la nostra visió de l'evolució química del planeta, prèvia a l'aparició de la vida, va ser obra del bioquímic Joan Oró (Universitat de Houston). Aquest investigador la proposà a la prestigiosa revista *Nature* l'any 1961 quan es va adonar de l'extraordinària riquesa química dels cometes. Aquests cossos gelats es formaren a baixes temperatures en les parts externes del Sistema Solar, i amb posterioritat una bona part foren llançats per la gravetat dels planetes gegants cap a les regions internes on xocarien amb els planetes interiors. A tall d'exemple, els càlculs realitzats per científics de la talla de Joan Oró, Christopher Chyba o Carl Sagan mostren que la Terra ha rebut, des del seu naixement, entre deu i mil trilions de tones de matèria procedent principalment de cometes.

Altres dades recents donen suport a aquestes idees. Com es desprèn de l'estudi de les roques més antigues i dels meteorits, la Terra es va formar com els altres planetes fa uns 4.500 milions d'anys, a partir de l'agregació de cossos més menuts anomenats planetesimals. Els ròssecs d'aquests cossos que han sobreviscut sense desfer-se o agregar-se als planetes són precisament els actuals asteroides i cometes. Sabem que la Terra primitiva era molt diferent de l'actual i que mancava d'elements volàtils. De fet, d'haver-se format una atmosfera rica en compostos lleugers, hauria estat eliminada per l'acció degradativa de la intensa radiació lluminosa procedent del jove Sol. Per si fóra poc, els abundants impactes de grans cossos introduïren aleshores suficient energia com per a erosionar qualsevol atmosfera primitiva del planeta. I de fet coneixem de l'existència d'un impacte brutal ocorregut sobre la Terra primitiva (vegeu figura 8.2). De la col·lisió lateral entre el nostre planeta i un planetesimal errant d'una massa semblant a la de Mart va nàixer la Lluna. Aquest impacte produí una explosió capaç de volatilitzar i emetre a l'espai bona part de l'escorça i del mantell terrestre a temperatures de milers de graus centígrads. Part del material fos llançat per l'impacte romandria girant al voltant de la Terra en no assolir suficient velocitat com per a escapar del camp gravitatori terrestre. Més tard, aquesta matèria s'agregaria per formar la Lluna com es desprèn de l'estudi de les roques lunars, germanes químicament de les de la Terra. Totes aquestes idees venen corroborades a més pels models actuals on la Terra, en formar-se a partir de cossos d'alta densitat, estaria constituïda majoritàriament per silicats i metalls. L'enorme quantitat d'elements volàtils presents a hores d'ara en la biosfera no podria doncs explicar-se sense considerar que s'hagin incorporat més tard a partir de matèria provinent dels cometes.

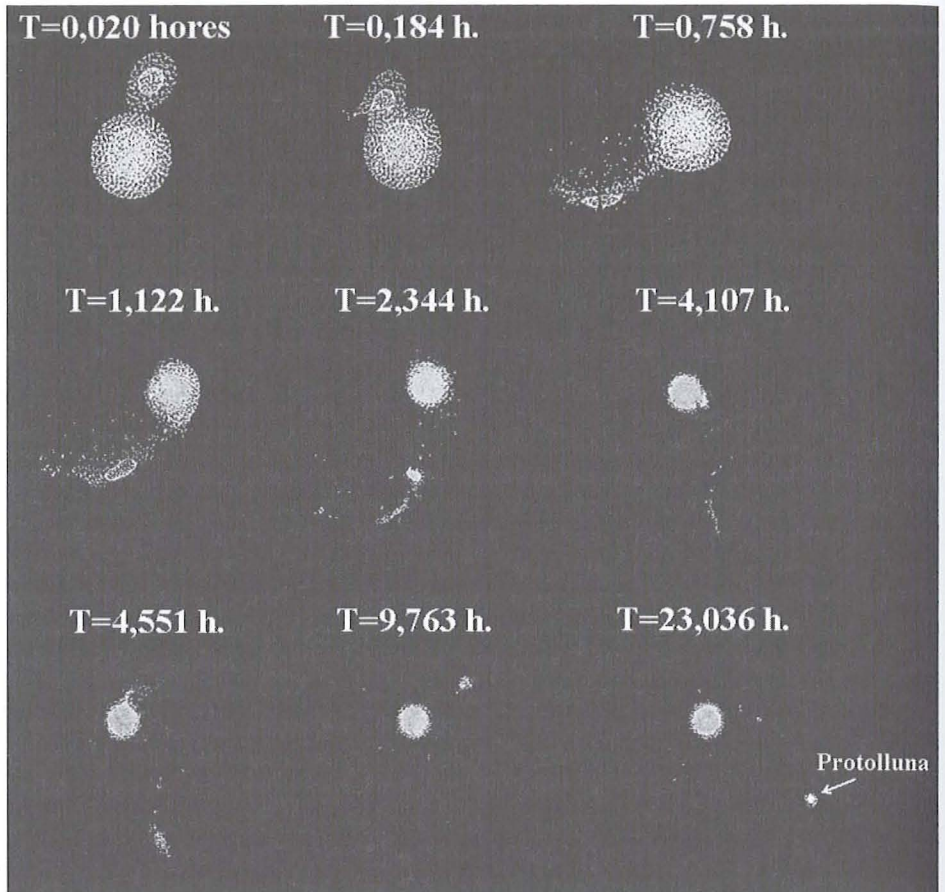


Figura 8.2. Aquest esquema mostra una simulació per ordinador que reproduïx la formació de la Lluna com a conseqüència d'un gran impacte esdevingut sobre la Terra primitiva.

6. L'origen de la vida i l'acabament del gran bombardeig

Fa uns 3.800 M.A. acabà l'etapa de bombardeig intens per planetesimals. Des d'aleshores les seues condicions superficials han permès l'aparició i evolució de la vida. Segons es desprèn del registre fòssil de les roques terrestres, els primers organismes vius van aparèixer en un ambient totalment diferent, potser en només uns pocs milions d'anys, en un fantàstic esclat de vida. La font principal per l'aparició de la vida va ser l'energia que arribà des de l'estel al voltant del qual es consolidà la Terra. Tot i això, el Sol és un tipus d'estel prou comú a la galàxia que, amb una massa de $2 \cdot 10^{30}$ tones, lluirà uns 10.000 M.A. El nostre Sol, principal precursor de la vida, té establert a priori un contracte amb els éssers vius, que limita l'evolució biològica sobre el nostre planeta a uns 1.500 M.A. més. Després d'aquest període, el nostre estel en contínua evolució es farà massa lluent, tot convertint la Terra en un planeta inert.

Però ací analitzarem no l'acabament de la vida sinó com es produí el seu inici, quan la Terra, en refredar-se, proporcionà a la seua escorça el medi idoni per al trànsit de l'evolució química a la biològica. Va ser Alexander Oparin qui proposà un període en la història del nostre planeta en que la síntesi abiòtica de compostos orgànics va ser fonamental per a l'aparició de les primeres formes de vida. Pel poc que sabem del registre fòssil, les primeres formes de vida aparegueren a l'aigua essent microorganismes heterotrofs anaeròbics, és a dir, no necessitats de l'oxigen per a sobreviure. Això no ens ha d'estranyar, ja que l'atmosfera de la Terra primitiva, desenvolupada majoritàriament a partir de la desgasificació del planeta, era molt diferent de l'actual i, especialment, mancava d'oxigen lliure.

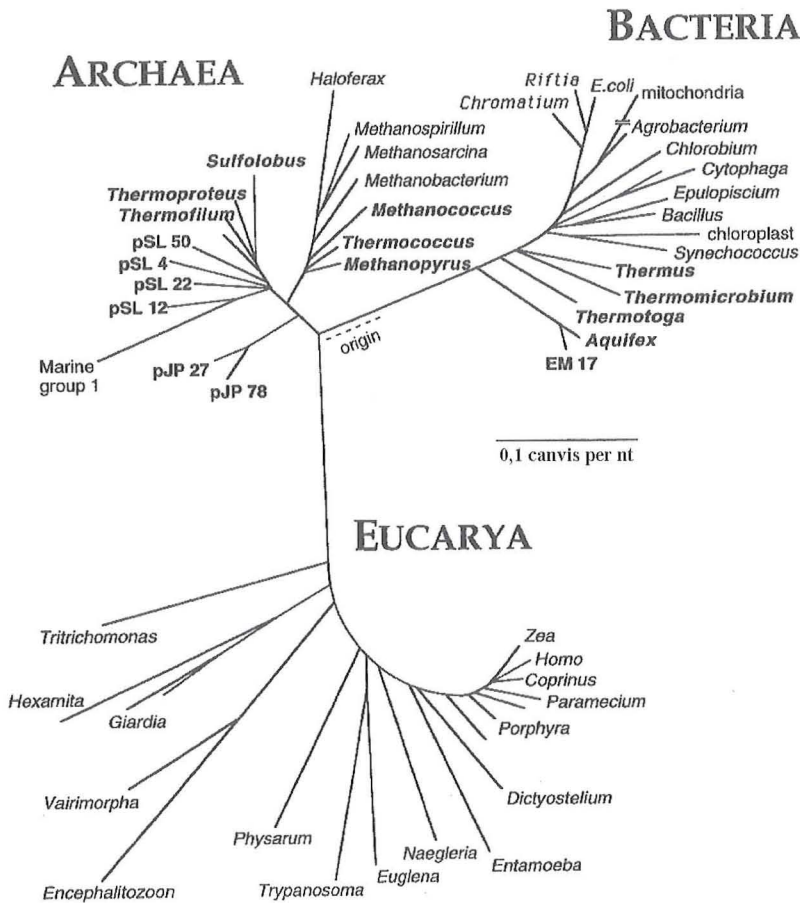


Figura 8.3. Aquí tenim el que podríem anomenar arbre genealògic de la vida en el planeta Terra. Es tracta d'un esquema filogenètic de la seqüència evolutiva d'aparició dels organismes terrestres. Aparentment, tots els éssers vius provindrien d'un ancestre comú aparegut fa uns 3.800 M.A. (adaptat de Pace, 1996).

7. De la química orgànica als primers organismes

Els éssers vius que trobem a la Terra són formats majoritàriament per carboni i hidrogen. També contenen menors quantitats d'oxigen, nitrogen, fòsfor i sofre. El carboni tendeix a associar-se amb aquests àtoms principalment per formar diverses molècules més o menys complicades. La química que governa les reaccions de síntesi molecular s'anomena química orgànica i ha tingut un paper clau en l'aparició de vida al planeta Terra. Però als organismes vius també trobem d'altres elements que, tot i estar en abundàncies menors, tenen una gran importància per ser fonamentals en algunes reaccions metabòliques o constitutives del propi organisme com ara ferro, calci, magnesi, etc.

Entre les classes de macromolècules formades a la Terra primitiva que foren fonamentals en el desenvolupament de la vida podem esmentar els lípids, hidrats de carboni, proteïnes i àcids nucleics. Els *lípids* tenen un paper essencial en la formació de les membranes cel·lulars, aïllant l'organisme del seu entorn sense permetre el pas d'aigua o substàncies solubles. Els *hidrats de carboni*, als quals pertanyen els sucres, tenen un paper fonamental com a reserva nutritiva o, fins i tot, com a constituent d'alguns organismes. Pel que fa a les *proteïnes*, són construïdes per aminoàcids que són compostos orgànics on trobem en la seua constitució un grup amino ($-NH_2$) o un grup àcid ($-COOH$). Les proteïnes formen part majoritària de la matèria constitutiva dels éssers vius, intervenint per a formar estructures. Però també a la cèl·lula intervenen com a catalitzadors de reaccions o formant part de les membranes cel·lulars, per exemple. Finalment, els més complexos *àcids nucleics*, estan formats per subunitats que es repeteixen, anomenades *nucleòtids*. Aquests últims es troben formats per una base nitrogenada, un sucre i un fosfat. Si el sucre constituent és la desoxirribosa, l'àcid nucleic s'anomena àcid desoxirribonucleic (ADN), i si és la ribosa s'anomena àcid ribonucleic (ARN). La importància del ADN i ARN radica en que contenen la informació genètica i posseeixen la capacitat d'autoreplicar-se per engendrar altres organismes a semblança.

A la llum del nostre coneixement actual, ens resulta extraordinàriament complicat explicar l'aparició d'aquestes macromolècules a la Terra primitiva. Més difícil encara pot resultar explicar com aquestes s'han unit simbiòticament per formar les gegantines estructures vives que coneixem i de les què nosaltres mateixos som un fantàstic exemple. Tot i això, les aproximadament 500.000 espècies vives a hores d'ara semblen haver-se desenvolupat a partir d'organismes ancestrals (vegeu figura 8.3). L'origen de la vida va esdevenir possiblement durant el final de l'anomenat Hadeà (transcorregut entre els 4.550-3.900 M.A.), un període del qual ens han arribat roques però que resulta pràcticament buit de microfòssils. No és gens d'estranyar, ja que, segons els nostres càlculs, la candent Terra assolí el punt crític de l'aigua fa uns 4.300 M.A., moment a partir del qual les enormes quantitats d'aigua emmagatzemades a l'atmosfera primitiva passaren a fase líquida. Així es formaren grans oceans superficials produint un gradual refredament de la candent superfície.

Passats els primers 500 M.A., la Terra va assolir una estabilitat de temperatures, consolidant una hidrosfera que tindria gran importància en els esdeveniments posteriors. El nombre d'impactes va decreixer progressivament, començant una nova etapa, anomenada Arcaica (3.900-2.500 M.A.). Les roques dels primers temps d'aquesta fase també són pobres en fòssils, però més tard mostren una riquesa en formes de vida

sorprenent. L'aparent esclat de vida en els oceans de la Terra s'evidencia sobretot durant el Precàmbric. S'han descobert gran quantitat de microfòssils, però també proves indirectes d'altres formes de vida més simples que no fossilitzaren, com ara immenses roques sedimentàries. Aquestes contenen isòtops de carboni, nitrogen i oxigen que poden explicar-se a partir dels processos metabòlics microbians. Malauradament, el registre d'aquesta etapa, presumiblement transitòria, és massa reduït per a que potser mai aconseguim les proves directes de la transició des de les molècules prebiòtiques fins a les primeres cèl·lules. Tot i això, a poc a poc hem comprovat que podem aprofundir en les característiques dels primers organismes vius si avancem en el coneixement de la química prebiòtica.

8. Aigua com a font de vida

Tot i que les nostres idees sobre l'origen de la vida són limitades, bàsicament per l'absència de dades arribades des d'aquest remot període, ja en els primers estudis fets sobre la síntesi orgànica abiòtica el paper de l'aigua es pensà decisiu. Ara veurem els forts arguments en què ens basem per afirmar-ho tan rotundament.

Fa uns 4.000 M.A. la Terra estava totalment coberta per una atmosfera densa de H_2O i CO_2 . Era tal la quantitat de gasos emergent de l'interior planetari que l'aigua en fase de vapor saturava l'atmosfera produint-se la precipitació constant. En conseqüència, la pressió atmosfèrica va fer-se aleshores unes trenta vegades superior a l'actual. Les temperatures mitjanes de la Terra a meitat del Hadeà havien baixat suficientment per tal que l'aigua es trobés majoritàriament en fase líquida. De fet, en aquella època només algunes illes afloraven sobre un oceà que cobria quasi tot el planeta. Al seu interior, carboni, hidrogen, oxigen i minerals podien romandre dissolts afavorint la síntesi orgànica de tot tipus de compostos. Això ho sabem de les roques que ens han arribat d'aquella època, formades als fons marins.

Precisament si considerem que la composició de l'atmosfera terrestre era molt diferent de l'actual, tot permetent l'arribada de radiació ultraviolada a la superfície del planeta, l'aigua assolí en aquest context un paper fonamental. D'una banda, protegí en profunditat les molècules orgàniques de la radiació solar capaç de dissociar-les, i, d'altra, les mantingué en un rang de temperatura molt estable. Pel que sabem de les primeres formes de vida aparegudes en la Terra, ens fa pensar que potser eren massa fràgils com per a prescindir de l'aigua per desenvolupar-se.

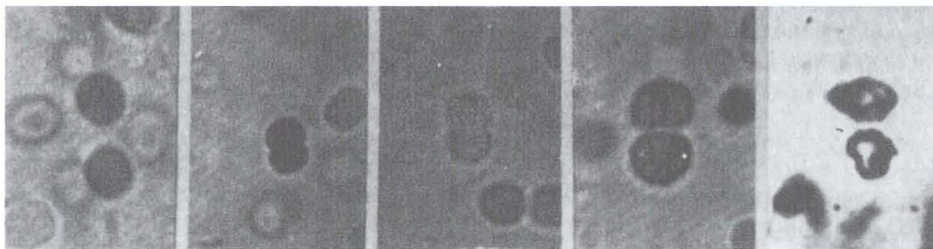


Figura 8.4. Els primers fòssils que han arribat a nosaltres són organismes cel·lulars amb unes dimensions de poques micres. La imatge ens mostra la reproducció per bipartició d'*Aphanocapsa* sp., un microfòssil amb 3.400 M.A. present a roques sedimentàries de Barberton Mountain Land (Sudàfrica) (adaptat de Knoll, 1986).

Oparin i Haldane van ser els primers en suggerir l'existència d'una etapa prebiòtica en la Terra primitiva on fou possible la síntesi química de compostos orgànics abans de l'aparició de la vida. L'escepticisme amb que aquesta idea va ser acollida contrasta amb l'acceptació actual, basada principalment en el nostre millor coneixement del Sistema Solar. D'una banda, hem descobert una riquesa en compostos orgànics en alguns satèl·lits, meteorits i cometes, i, d'altra, hem comprovat que també hi són presents al medi interestel·lar. Precisament, les regions interestel·lars podien haver-se imaginat fa dècades buides i químicament pobres, però les tècniques de radiofreqüències principalment han evidenciat una realitat ben diferent, amb tot tipus de compostos abans insospitats a l'interior de gran núvols de gas: aigua, metà, amoníac, hidrocarburs, etc.

Per estudiar l'origen dels organismes vius resultarà fonamental conèixer, amb el major detall possible, les abundàncies orgàniques existents a la superfície terrestre primitiva. Podem explicar *grosso modo* la formació i composició mitjana del nostre planeta, però resultarà enormement difícil reconstruir els esdeveniments que han fet possible que les abundàncies d'aigua i d'elements bioquímics siguin les actuals. Tot i això, autors de la talla de F. Whipple o C. Chyba han calculat una aportació de matèria provinent de cometes pròxima a deu trilions de tones, tot això d'un material ric en compostos orgànics i aigua. Siga com siga les immenses quantitats d'aigua emmagatzemades a la superfície de la Terra van proveir el medi perfecte per començar el desenvolupament del trànsit de la química a la bioquímica. Un autèntic brou de cultiu de les primitives formes de vida que apareguren poc després de les últimes etapes d'acreció.

A manera de cloenda, tot i que potser ens resulte impossible explicar cada pas transcorregut en l'evolució de la vida a la Terra, a poc a poc, l'actual ciència multidisciplinària ens permetrà avançar en la comprensió del nostre lloc a l'Univers. Tant de bo que aquesta petita síntesi ens haja fet reflexionar un instant sobre els processos que han donat lloc a la vida sobre la Terra, tot i ser vistos des de la perspectiva probablement vaga i incompleta d'una de les seues meravel·lades criatures.

BIBLIOGRAFIA

- ANGUITA VIRELLA, F. (1988): *Origen e historia de la Tierra*, Madrid, Rueda.
- DELSEMMÉ, A. (2000): «Cometary origin of the biosphere», *Icarus* vol.146, 2, 313-326.
- LLORCA, J. (1995): «Els meteorits: què són i per a què serveixen/Los meteoritos: qué son y para qué sirven», Lleida, Institut Estudis Ilerdencs.
- MACIÀ, E. i M. V. HERNÁNDEZ (1995): «Implicaciones astrofísicas en el origen de la vida», *Revista Española de Física*, 9 (3), 28-32.
- MACIÀ, E., HERNÁNDEZ M. V. i J. ORÓ (1997): «Primary sources of phosphorus and phosphates in chemical evolution», *Origin of Life and Evolution of the Biosphere*, 27, 459-480.
- ORÓ, J. (1961): «Comets and the formation on biochemical compounds on the primitive Earth», *Nature* vol 190, 4774, 389-390.
- ORÓ, J. i A. LAZCANO (1996): «Comets and the origins and evolution of life: scientific and historical introduction», en Springer Verlag, P.J., Thomas, C.C.F. Chyba i C.P. McKay

- (eds.) : *Comets and the origins and evolution of life*, Nova York.
- PERETÓ I MAGRANER, J. (1994): *Orígenes de la evolución biológica*, Madrid, Eudema.
- SAXENA, S. K. (1981): «Planetary Phase Equilibria: application to formation of Earth, Venus and Mercury», *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 813-820.
- TRIGO I RODRIGUEZ, J. M^a (1999a): *Nosaltres a l'Univers*, Baarcelona, Proa, Enciclopèdia Catalana, Barcelona (versió en castellà a l'Editorial Complutense, publicada l'any 2001).
- (1999b): «El origen de la vida desde diversas perspectivas», *Mundo Científico*, 198, 65-70.
- (2000): *L'origen del Sistema Solar*, Barcelona, Pòrtic, Enciclopèdia Catalana (versió en castellà a l'Editorial Complutense, publicada l'any 2001).