

Fernando J. Ballesteros

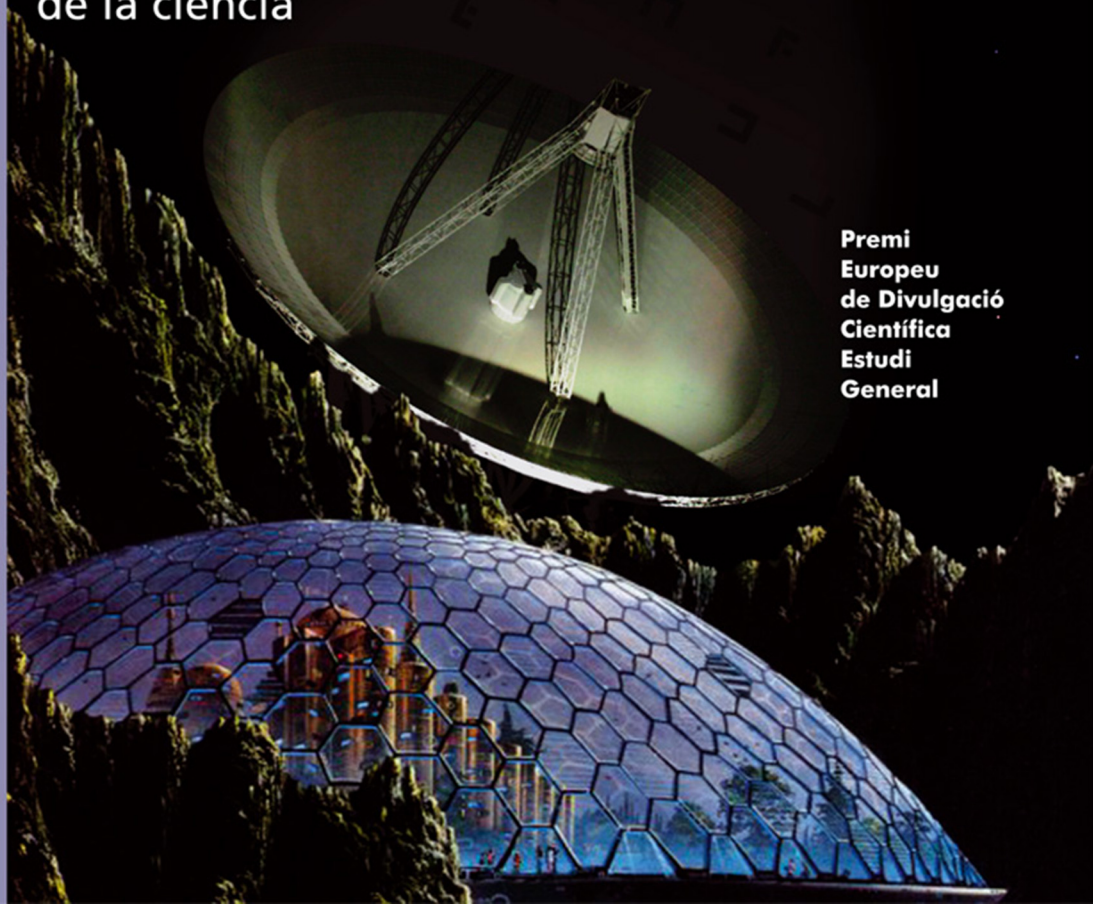
sensefronteres

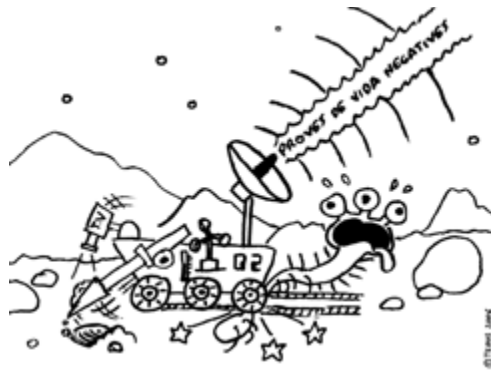
Gramàtiques extraterrestres



La comunicació
amb civilitzacions
interestel·lars
a la llum
de la ciència

**Premi
Europeu
de Divulgació
Científica
Estudi
General**





AMB QUI: LA PROBABILITAT DE VIDA A L'UNIVERS

La creença en l'existència de civilitzacions extraterrestres es basa en l'anomenat principi de mediocritat; aquest principi proposa que la Terra és un planeta normal que gira al voltant d'una estrella normal, que forma part d'una galàxia normal. És a dir, que al nostre món no hi ha res que el faci únic. És una conclusió lògica, a la qual ens han portat els diversos *girs copernicans* que ha patit la ciència al llarg de la història i que han anat apartant-nos de la posició central que creïem ocupar en l'Univers.

Hem comprovat que tant la nostra estrella, el Sol, com la nostra Galàxia són exemples típics, semblants en tot als altres milions que hem observat amb els nostres telescopis, i que no sembla haver-hi res d'especial. Tot indica que també el nostre planeta i el nostre Sistema Solar deuen ser exemplars típics de la fauna planetària, encara que el nostre coneixement dels planetes que giren al voltant d'altres estrelles, els anomenats planetes extrasolars o exoplanetes, només ha fet que començar. Si això és cert, si el nostre món és un exemple

comú en l'Univers, per lògica ha d'existir una bona quantitat de planetes habitats, una fracció dels quals deu contenir éssers intel·ligents i civilitzacions. Aquest és l'argument base que suporta el treball de tots els científics que busquen de forma activa senyals de l'existència de civilitzacions extraterrestres.

La major part de la comunitat científica està d'acord amb el principi de mediocritat perquè sempre que hem cregut que el nostre cas era especial hem descobert amb dolor que estàvem equivocats; sembla, per tant, una guia útil. Però, són realment la Terra i el Sistema Solar casos representatius?

Un lloc per a la vida

Un Sistema Solar d'allò més normal

Pel que sap la ciència en l'actualitat, els mons rocallosos com els planetes o els satèl·lits gegants són una baula indispensable en la cadena d'esdeveniments còsmics que fan possible la vida. Són llocs bastant extensos i estables on els elements químics poden interaccionar en concentracions elevades perquè s'hi produeixen reaccions químiques interessants. Per això, saber com de comuns són aquests mons en l'Univers està directament relacionat amb la possibilitat que hi haja vida en altres racons del cosmos. Però, per a poder fer una estimació d'una cosa desconeguda amb possibilitats raonables d'èxit, hem de partir dels casos coneguts.

Allò que la ciència coneix en l'actualitat sobre l'origen del nostre Sistema Solar ens conta una història que té quasi

aspectes mitològics. Fa molt, molt de temps, en un racó fosc de la nostra Galàxia, hi havia una bossa gegant de gas i pols, un núvol immens que era, en realitat, un fragment d'un núvol molt més gran, una nebulosa amb N majúscula: tan gran que posseïa la massa d'uns quants centenars de milers de sols. La temperatura era d'uns 260°C sota zero, només uns quants graus per sobre de la temperatura més baixa possible. Estava formada principalment per hidrogen i heli i una minúscula quantitat de pols i de sutja. Però la seua densitat era tan baixa que en un centímetre cúbic a penes hi havia mil partícules. Per a nosaltres, això és pràcticament el buit. En comparació, en l'aire que respirem cada dia hi trobem quasi 27 trilions de molècules per cada centímetre cúbic.

Era una nebulosa molt semblant a la Gran Nebulosa d'Orió, musa de tants aficionats a la fotografia astronòmica. N'hi ha moltes altres de semblants en la nostra Galàxia, però aquesta nebulosa gegant que hem esmentat ja no existeix. Va desaparèixer fa uns 5.000 milions d'anys, consumida completament en el part de molts milions d'estrelles, una de les quals va ser el nostre Sol, format a partir d'uns dels fragments més menuts de la nebulosa, un dels 200.000 milions d'estrelles de la nostra Galàxia. Encara que, poc de temps després del naixement, totes aquestes estrelles germanes estaven molt a prop les unes de les altres, com passa en els nostres dies amb el cúmulo pròxim de les Plèiades, ara vaguen de cap a cap de la Galàxia gràcies a les forces de marea galàctiques que van disgregar del tot el cúmulo. Lamentablement, avui resulta pràcticament impossible saber quines de totes les estrelles que veiem són germanes del nostre Sol.

Per tant, quan mirem la Gran Nebulosa d'Orió o el cúmulo de les Plèiades, estem veient instantànies d'un procés semblant a la formació del nostre Sistema Solar; però, com es va passar del panorama que hem descrit, de ser un bell i fred fragment de nebulosa, una bossa gas i pols interestel·lar perduda en la foscor de la Galàxia, a ser una estrella brillant i rodejada de planetes? La resposta està en la gravetat, el gran motor de tot canvi en la història de l'Univers. Si no fóra per la gravetat, aquests núvols interestel·lars gegants encara serien només núvols que, amb el pas del temps, haurien anat disgregant-se fins que només n'hauria quedat un gas que cobriria uniformement la Galàxia, com passa amb una bafarada de fum de cigarret que s'expulsa en una habitació gran; però la gravetat va fer que el fragment de nebulosa començara a col·lapsar-se sobre ell mateix gràcies al seu pes.

Així que comença la fase de col·lapse gravitatori d'un d'aquests fragments de nebulosa, ja no hi ha retorn. A poc a poc, el fragment en contracció va fent-se esfèric; a la part central, més densa, el núvol de gas i pols comença a girar i, per la llei de conservació del moment angular, com més s'encongeix més gran és la velocitat a la qual gira, fins que, finalment, genera un giravolt desbocat. Per la força centrífuga, aquesta zona central de la nebulosa primordial es va convertir en un disc aplanat en el qual es degueren formar, posteriorment, els planetes. Però, des de l'exterior, se'n veia ben poca cosa; les restes que quedaven envoltant-ho tot eren encara bastant denses i opaques per amagar què passava a dins. Només la calor aconseguia escapar-ne, en forma de radiació infraroja. Mentrestant, la gravetat continuava el seu treball: el centre

del núvol continuava contraient-se, fent-se més dens i augmentant de temperatura. Fins que, quan va arribar als deu milions de graus, es van encendre els focs de la fusió nuclear i en va emergir una estrella: el Sol. La seua llum va il·luminar de sobte l'immens disc de gas i pols que l'envoltava.

Els planetes del Sistema Solar començaren a formar-se posteriorment, a partir d'aquest disc circumestelar, mitjançant un procés d'acreció gravitatòria. Les partícules de pols d'aquest disc interpreten un paper crucial: tenen més massa que les molècules de gas i, per tant, més força de gravetat. A poc a poc s'atrauen gravitatòriament entre elles. Quan s'unien, s'havia format una partícula més gran, de més massa i, per tant, amb més gravetat, que n'atreia unes altres i generava, així, una procés en cadena que havia d'acabar amb la formació, primer, de cossos de dimensions menudes, anomenats planetesimals i, després, segons que aquests planetesimals anaven agrupant-se, amb la formació d'enormes boles de massa, anomenades protoplanetes. Finalment, els protoplanetes anaren atraient cap a ells la resta de la matèria del disc. Amb el pas del temps, el disc es va quedar quasi net i pràcticament tot el seu material va acabar convertit en uns quants planetes que giraven al voltant del Sol. Però aquest no va ser un procés tranquil sinó molt violent: quan els primitius planetes, encara molt calents i en formació, atreien els esmentats enderrocs que anaven a la deriva pel Sistema Solar, els fragments no es paraven tranquil·lament en la superfície del planeta, sinó que hi impactaven de forma explosiva. La mateixa Lluna es va originar com a resultat de l'impacte d'un cos enorme contra la nostra Terra. De fet, l'època en la qual el Sistema Solar s'acabava de configurar,

es coneix també amb el nom del Gran Bombardeig. Va acabar fa aproximadament 3.800 milions d'anys i la major part dels cràters que trobem als cossos del Sistema Solar provenen d'aquella època.

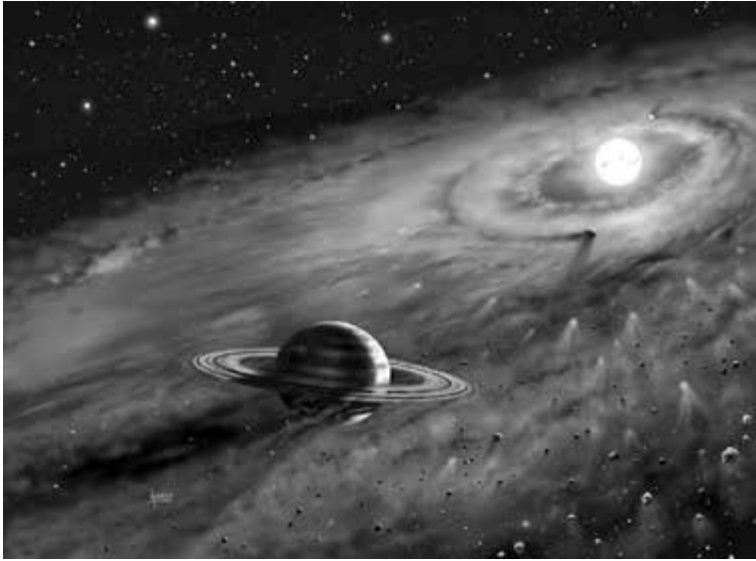


Figura 1. Imatge artística de la formació d'un sistema planetari. Hi observem una estrella i els seus planetes ja formats, amb el disc protoplanetari insinuant-se encara. © David A. Hardy/astroart.org/PPARC.

Hi ha altres mons, però són molt lluny

Fins fa uns anys, tot això era una teoria, encara que molt ben fonamentada i amb moltes proves que l'avalaven: tots els planetes del Sistema Solar es troben en un mateix pla, pràcticament, perquè les variacions són de pocs graus, i giren al voltant del Sol en el mateix sentit, anomenat directe, fets impossibles d'explicar si els planetes del Sistema Solar no s'hagueren format alhora en un disc que girava al voltant

del Sol. Però, en l'actualitat, s'ha passat de la teoria al camp de l'observació, ja que hem pogut fotografiar altres sistemes planetaris en el moment en què es formaven. El telescopi espacial Hubble ha pres imatges detallades de diversos sistemes estel·lars que estan formant-se, amb un fosc disc de pols i gas que gira al voltant d'una estrella acabada de nàixer, autèntiques instantànies del nostre passat més llunyà. Una bona part d'aquests fenòmens han estat observats a la pròxima i immensa nebulosa d'Orió, un autèntic viver d'estrelles. En alguns casos, els discos semblen tenir espais buits, com es podia esperar si aquestes estrelles posseïxen planetes gegants que han agranat el material que orbitava al seu voltant: les petjades d'altres mons.



Figura 2. Imatges preses pel telescopi espacial Hubble en la regió d'Orió que mostren discos de pols al voltant de les estrelles. Cortesia del Hubble Space Telescope – NASA/ESA.

Davant d'aquests fets, un altre telescopi espacial que estudia principalment la radiació infraroja, l'Spitzer, s'ha dedicat també a observar detingudament la nebulosa d'Orió i ha obtingut una imatge en l'infraroig en la qual s'han descobert quasi 2.300 discos de formació planetària girant al voltant de les estrelles. A partir d'aquestes dades es calcula que al

voltant del 70% de les estrelles de la nebulosa d'Orió posseeixen discos de formació planetària, i això ens ensenya que el procés que va formar el Sistema Solar i que hem descrit abans és d'allò més comú.

Però no hem observat només sistemes planetaris en formació: en realitat, s'hi ha vist també una enorme quantitat de planetes ja formats que giren al voltant d'altres estrelles. El primer va ser descobert l'any 1995 i va representar un autèntic trasbals perquè, per primera vegada, teníem proves directes que el Sol no era l'única estrella que tenia planetes. Avui, gràcies a les millores dels instruments astronòmics, s'hi han trobat ja més de dos-cents planetes extrasolars i aquesta xifra augmenta dia a dia. Majoritàriament, aquests nous exoplanetes són planetes gegants (en molts casos, de dimensions molt més grans que les de Júpiter), amb períodes orbitals curts i òrbites excèntriques de curta durada, molt pròximes a l'estrella central, i això sembla indicar que són sistemes planetaris molt joves. Però això no vol dir que aquesta en siga la norma: senzillament, s'hi han trobat aquests planetes perquè, per les seues característiques, són els més cridaners i els més fàcils de trobar. A més, molts d'aquests planetes s'han trobat en sistemes estel·lars binaris. Tota una sorpresa perquè, durant un temps, s'havia pensat que els sistemes estel·lars formats per dues o més estrelles no podien tenir planetes perquè tot el material s'hauria consumit en la formació de les estrelles. Aquest descobriment amplia de sobte la relació d'estrelles que poden tenir planetes.

Podem esperar que, amb el progrés de la tecnologia i la realització de noves missions espacials, s'incrementi de pressa el nombre d'exoplanetes descoberts. Entre aquestes missions

hi ha la francesa COROT, un telescopi espacial que té una notable participació de la Universitat de València. Quan entre en funcionament, COROT estudiarà les variacions en la llum de les estrelles i analitzarà, entre altres, algunes estrelles candidates a tenir sistemes planetaris. Si en realitat aquestes estrelles tenen planetes i coincideix que un d'ells passa per davant de l'estrella i en tapa una part de la llum, COROT ho descobrirà en detectar la disminució de brillantor. Un altre projecte interessant és GAIA, de l'Agència Espacial Europea (ESA), dedicat a fixar amb una extraordinària precisió la posició de centenars de milers d'estrelles. Si alguna d'aquestes estrelles té un planeta que l'orbita, la seua força de gravetat farà que l'estrella presente un lleuger moviment, lleuger però detectable per GAIA. Amb aquesta missió serà possible trobar planetes de les dimensions de Júpiter i fins i tot menors. Finalment, cal destacar la missió Kepler, en aquesta ocasió de la NASA, una complexa missió dissenyada específicament per a trobar planetes semblants a la Terra.

Però s'hi ha afegit una nova tècnica a la recerca, la qual s'ha revelat com extraordinàriament útil. Es tracta de les microlents gravitatòries. Com ens mostra la Relativitat General, la massa dels astres deforma l'espai al seu voltant: quan un raig de llum passa a prop de l'astre, es desvia de la seua trajectòria. En certa forma, aquest espai deformat per l'astre es comporta com una lent i es pot usar d'aquesta forma. En les condicions ideals, l'astre pot amplificar la llum, com una lupa, i intensificar-la. Quan la llum d'una estrella molt més llunyana, en segon terme, passa, en el seu recorregut cap a la Terra, a prop d'un planeta desconegut, de sobte, la llum de l'estrella s'amplifica i ens revela la presència d'aquest planeta

desconegut. Aquesta tècnica, amb la qual ja s'han detectat alguns planetes extrasolars, ha demostrat que és extremadament sensible i té, en l'actualitat, el rècord absolut perquè, com va publicar la revista *Nature* el gener de 2006, ha servit per descobrir el planeta extrasolar més menut que hem trobat fins ara: de només cinc masses terrestres! És el primer descobriment confirmat d'un planeta rocallós del tipus de la Terra i això és una indicació excel·lent que el Sistema Solar no és un cas especial.

Els senyals més antics de vida

El coneixement de com es va formar el nostre Sistema Solar i la detecció de nombrosos planetes extrasolars i sistemes planetaris en formació, ens revelen que en la nostra Galàxia hi ha una quantitat innumerable de mons on, eventualment, podria aparèixer la vida. Però així que tenim un món format, com de probable és que hi aparega la vida? Una altra vegada, per tal d'estudiar aquesta possibilitat, hem de partir de l'estudi d'allò que ja coneixem. Per desgràcia, en aquest cas, coneixem molt poca cosa, amb seguretat, sobre l'aparició de la vida a la Terra. Només disposem d'un conjunt d'atractives teories i d'algunes proves químiques i geològiques per guiar-nos. Comencem per la geologia.

Els materials més antics que es conserven al nostre planeta són uns zircons trobats dins d'unes roques a l'oest d'Austràlia. El zircó és un mineral molt dur que resisteix molt bé l'erosió: per això és habitual trobar zircons que són més antics que les roques que els contenen. Els de l'oest australià estan datats en uns 4.400 milions d'anys d'antiguitat. L'aspecte interessant és

que mostren proves químiques inequívocues que provenen de la fusió d'una roca que havia estat alterada prèviament per aigua líquida a baixes temperatures i a prop de la superfície. És a dir, aquests zircons demostren que ja hi havia aigua líquida en la superfície de la Terra fa 4.400 milions d'anys, i temperatures superficials no gaire diferents de les actuals.

La següent parada la farem a Isua i Akilia, a Groenlàndia, on aflora una interessant successió de roques antigues, tan ben preservades que és possible identificar-ne sens dubte l'origen. Així podem saber que una bona part d'aquestes roques deriven d'antigues roques volcàniques submarines, mentre que moltes altres tenen un origen sedimentari marí innegable. Aquest constitueix el conjunt de roca sedimentària més antic que coneixem a la Terra, ja que té unes edats compreses entre 3.850 i 3.760 milions d'anys. Són la primera prova directa que, fa uns 3.800 milions d'anys, la Terra ja tenia oceans als fons dels quals es produïa una sedimentació provocada per l'erosió d'antics continents. Aquesta època coincideix precisament amb la fi del Gran Bombardeig, l'etapa en què el Sistema Solar va acabar de configurar-se i les òrbites planetàries quedaren netes de fragments rocallosos, Això té la seua lògica perquè, mentre aquelles immenses roques espacials seguien caient sobre la Terra, a causa de l'energia dels xocs violents, qualsevol oceà que s'hi poguera formar bulliria immediatament i es convertiria en vapor. Només quan el bombardeig meteòric va acabar, va ser possible que el planeta tinguera oceans estables.

Però aquestes mateixes roques groenlandeses ens proporcionen una gran sorpresa perquè mostren una firma química inequívoca d'activitat biològica: una anomalia isotòpica en

el carboni, una discrepància entre les concentracions dels isòtops ^{12}C i ^{13}C , anàloga a les produïdes pels éssers vius. No tot el carboni de la natura és igual, sinó que aquest element té dos isòtops estables: el ^{13}C i el ^{12}C (a més del famós i inestable ^{14}C que s'utilitza en arqueologia i geologia per datar restes antigues). Tot i que ambdós isòtops poden participar en els mateixos compostos i reaccions, els éssers vius preferiran sempre fer servir el més lleuger. Això vol dir que els organismes i els seus productes mostraran més riquesa en ^{12}C que la matèria no originada per organismes. Precisament això es va trobar als sediments d'Isua: una major presència de ^{12}C .

L'origen biològic d'aquest desequilibri isotòpic, que es va publicar en *Nature* l'any 1996, va ser posat en dubte, des d'aleshores, per diversos investigadors. Però fa poc, el juliol de 2006, un nou estudi més detallat d'aquests estrats sembla confirmar que, en efecte, van ser éssers vius els que causaren aquesta firma química i això ens diria que la vida es va originar, al nostre planeta, molt al principi de la seua història, només uns pocs centenars de milions d'anys després que la Terra fóra una bola de foc. A més, si en els pocs sediments que coneixem d'aquella època hi trobem petjades d'aquesta biosfera de fa 3.700-3.800 milions d'anys, si aquesta mostra presa a l'atzar d'aquell món passat presenta restes de vida, això voldria dir que la vida estaria ja estesa arreu del planeta.

Altres dades geològiques apunten també cap a l'origen primerenc de la vida: unes interessants formacions sedimentàries, anomenades formacions de ferros llistats (o, en l'abreviatura anglesa, BIF: *banded iron forms*). Aquestes roques sedimentàries marines estan formades per l'alternança de capes mil·limètriques d'òxids de ferro i de sílex, i són particu-

larment abundants en l'Arcaic i el Proterozoic inicial; després són notòriament escasses. Les més antigues tornen a tenir 3.800 milions d'anys i també es poden trobar als dipòsits groenlandesos. Què tenen a veure aquestes formacions amb la vida? Bé, resulta que el ferro és soluble en l'aigua, com a Fe^{2+} i, per tant, en presència d'oxigen lliure en l'aigua, el ferro s'oxida i es precipita. Però fins que la vida no hi va aparèixer, no va poder haver-hi oxigen lliure en l'atmosfera del nostre planeta. Com es va oxidar aquest ferro? La resposta és que hi veiem l'acció d'éssers vius. El ferro, que probablement devia emanar de fumarals submarins, es devia dissoldre en l'aigua lliure d'oxigen i era transportat fins a les zones marines poc profundes, on es devia precipitar perquè era allà on els primers organismes fotosintètics estaven actuant i alliberant oxigen a l'aigua.



Figura 3. Estromatòlits vius actuals, a Austràlia. Cortesia de Cambridge Carbonates Ltd.