

La vida a l'oceà còsmic

És molt improbable que la vida no existeixi a cap altre lloc del Cosmos que no sigui la Terra, ja sigui en forma de microorganismes simples unicel·lulars o d'éssers altament complexos i intel·ligents.

Aquest argument emana del [Principi copernicà](#) o principi de mediocritat, un principi filosòfic que sosté que el nostre planeta no és una excepció dins l'Univers i que no hi ha res d'especial ni en la seva formació com a part del Sistema Solar, ni en la complexitat biològica que ha desenvolupat.

En aquest article pretenem sintetitzar les principals idees sobre l'existència de vida extraterrestre des de diversos àmbits científics, presentant arguments basats en el coneixement i la raó, per limitats que aquests siguin, i defugint d'especulacions.

1. La paradoxa de Fermi: on són tots?

La paradoxa de Fermi neix precisament de considerar que el nostre Sistema Solar és un cas típic i habitual. El gran nombre d'estrelles de l'Univers, els 13.800 milions d'anys d'història còsmica transcorreguts després del Big Bang (comparats amb l'edat de la Terra d'uns 4.600 milions d'anys), i l'argument de què la vida intel·ligent té tendència a colonitzar nous hàbitats, semblen afavorir l'existència no només de vida, sinó de civilitzacions tecnològicament avançades per tot arreu del Cosmos. Com que no hi ha proves significatives a la Terra, ni en cap altre lloc de l'univers conegut, d'éssers amb una intel·ligència comparable a la dels humans, escenari que es coneix com el "gran silenci" des de la perspectiva d'iniciatives com les que agrupa l'institut SETI (acrònim de l'anglès *Search for Extraterrestrial Intelligence*; <https://www.seti.org/>), estem davant d'un conflicte que requereix una resolució.

Encara que [Enrico Fermi](#) (físic italo-americà i guanyador del premi Nobel) no va ser el primer a preguntar-se per què els humans no teníem evidències de l'existència de vida intel·ligent a altres estrelles, el seu nom s'associa actualment amb aquesta paradoxa arrel d'una conversa informal que va tenir a l'estiu de 1950 en un dinar amb diversos col·legues i que va iniciar-se amb una discussió sobre la possible existència de vida extraterrestre i en la que Fermi, després de reflexionar sobre l'edat i dimensions de l'Univers, suposadament va pronunciar la frase "*Then, where are they?*"^[1]

2. La vida extraterrestre des de la perspectiva de l'Astronomia

Resulta obvi que per respondre a la pregunta plantejada per Fermi necessitem dels coneixements que ens aporten les ciències físiques, en especial l'Astronomia. Com veurem més endavant, però, aquesta ciència natural només ens proporciona una part de la resposta.

2.1. L'equació de Drake

En lloc de formular una pregunta de sí o no sobre la vida extraterrestre, podem escollir utilitzar un procediment desenvolupat per Frank Drake (Fig. 1) al 1961^[2], i posteriorment ampliat per Carl Sagan i Joseph Shklovskii^[3], entre d'altres. Aquest enfocament consisteix en dividir el problema global en una cadena de preguntes més senzilles, els resultats de les quals es multipliquen junts per a donar la resposta final. La rellevància de l'equació de Drake no està en el resultat sinó en el fet de què constitueix una guia dels diversos factors que s'han de tenir en compte al considerar la qüestió de la vida a l'Univers. De fet, no proporciona una resposta numèrica correcta única degut a la incertesa inherent associada a les variables que conté.

La formulació estàndard de l'equació de Drake (existeixen diverses versions d'aquest concepte^[4]) permet fer una conjetura raonada sobre el nombre actual N de civilitzacions tecnològicament avançades (aquelles que haurien de poder contactar entre sí) a la Via Làctia mitjançant l'expressió:

$$N = R_* \times F_e \times N_p \times P_v \times P_i \times P_t \times T,$$

on R_* és la taxa mitjana de formació d'estels a la nostra galàxia (aproximadament igual al nombre total d'estrelles dividit per l'edat de la Via Làctia), F_e , és la fracció d'estrelles

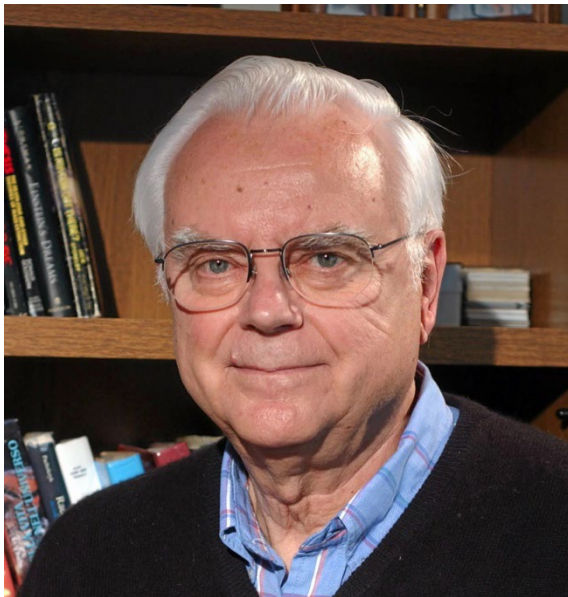


Fig. 1. El Dr. Frank Drake (1930-2022). Crèdits: Santa Cruz Sentinel.

de la Galàxia que són adequades per desenvolupar vida, N_p és el nombre de cossos (planetes o satèl·lits) d'un sistema planetari on es donen les condicions per desenvolupar vida, P_v és la probabilitat de què en aquests cossos sorgeixi finalment la vida (encara que sigui bàsica), P_i és la probabilitat de què la vida arribi a esdevenir intel·ligent i complexa, P_t és la probabilitat de què la vida intel·ligent desenvolupi tecnologia i mostri interès per comunicar-se amb l'espai exterior i, finalment, T és la duració típica de totes les civilitzacions d'aquest tipus que es desenvolupen en un sistema planetari, expressada en anys. Aquests factors presenten una incertesa associada creixent. Gràcies a l'Astronomia sabem que $R_* \simeq 10$

estrelles per any (el valor de la taxa actual és més baix del que havia estat en el passat) i que $F_e \sim 0.1 - 0.5$ són estimacions raonables per a la Galàxia. Per altra banda, basant-nos en el que sabem fins ara del nostre Sistema Solar (l'única referència que tenim en tot el cosmos) podem agafar tant per a N_p com per a les probabilitats P_v , P_i i P_t valors propers a la unitat, mentre que T és el més incert de tots els factors, ja que amb només la nostra civilització com a exemple tant sols podem conjeturar que $T \gtrsim 100$ anys (els humans fa uns 100 anys que podem enviar/captar senyals de ràdio a/de l'espai exterior,

alhora que en aquest mateix espai de temps hem manifestat també una forta tendència a autodestruir-nos).

Un dels aspectes més interessants d'aquesta formulació és que si agafem el límit inferior per a F_e i la resta de valors proposats, ens porta a concloure que

$$N \simeq T .$$

És a dir, el nombre de civilitzacions tecnològiques presents en qualsevol època a la Galàxia (o en una galàxia qualsevol, aplicant de nou el principi de mediocritat) ve a ser de l'ordre de la vida mitjana que poden assolir dites civilitzacions mesurada en anys. Sembla doncs raonable esperar que a la Via Làctia hi hagi $N \gtrsim 100$ civilitzacions avançades.

Un número proper a 100 o més baix de civilitzacions implicaria que la naturalesa de la vida intel·ligent (complexa) és autodestruir-se i retornar a un estat simple (resultat que es coneix com la [Hipòtesi de Medea](#) de Peter Ward o el Gran Filtre de Robin Hanson^[5]).

Això per sí sol explicaria la paradoxa de Fermi, però resulta contradictori des de la perspectiva Darwiniana.

Notem però, que un càlcul simple que tingui en compte les dimensions de la Via Làctia i suposi una distribució estel·lar uniforme, mostra que amb $N = 100$, la separació mitjana esperable entre civilitzacions tecnològiques a la Via Làctia, la qual anomenarem **radi de Drake**, seria de l'ordre de 5000 anys llum. En el volum associat hi caben uns 1000 milions d'estrelles. Inclús si som tan optimistes com Carl Sagan i pensem que la Via Làctia pot albergar un milió de civilitzacions tecnològiques, la separació típica entre elles seria d'uns 250 anys llum, o dit d'una altra forma, només una de cada 260 mil estrelles seria en mitjana la llar d'una civilització avançada. S'entén doncs perquè inclús sent molt optimistes sobre l'existència de vida intel·ligent a la Galàxia el contacte interestel·lar entre espècies tecnològiques no sembla que s'hagi de produir amb assiduitat. Universal i freqüent no són conceptes equivalents!

Sense necessitat de pensar que tota vida intel·ligent acaba per autodestruir-se ràpidament, altres alternatives menys pessimistes com ara la [hipòtesi de la Terra infreqüent](#) de Donald Brownlee i Peter Ward^[6] afirmen que l'emergència de sistemes complexos multicel·lulars i de vida intel·ligent és molt poc freqüent, donat que requereix una combinació extremadament improbable d'esdeveniments astrofísics i geològics. Aquests esdeveniments són factors reductors que no té en compte l'equació de Drake i que poden fer fàcilment que $N \lesssim 1$ civilització/galàxia, la qual cosa faria encara més improbable el contacte amb extraterrestres.

2.2. Condicions per a la vida complexa

Repassem breument les condicions més importants per a la vida complexa (intel·ligent) a escala galàctica, estel·lar i planetària:

- Requereix estrelles situades en el disc d'una galàxia espiral (i lluny de regions de formació estel·lar molt intensa amb presència de supernoves).
- L'estrella central ha de ser de mida solar (si és massa gran, la seva vida serà curta; si és massa petita, els planetes aptes per al desenvolupament de la vida poden patir bloqueig de la rotació axial i ser afectats per erupcions estel·lars) i no variable.
- L'estrella ha de ser rica en metalls (necessari per formar planetes rocosos i per a una química complexa).
- *Si cal aigua líquida per a la vida* (vegeu la secció [3.3](#)), el planeta hauria d'estar situat en la zona habitable de l'estrella (ni massa lluny ni massa a prop).
- El sistema planetari hauria de ser de tipus solar amb planetes rocosos interns i planetes gegants externs amb òrbites circulars capaços de protegir els primers de les restes de la formació planetària (cometes i asteroides).
- En el cas de la Terra, la captura de la Lluna ha estat un factor clau per al desenvolupament de la vida perquè:
 - Proporciona una major estabilitat a la inclinació de l'eix de rotació terrestre donant lloc a variacions climàtiques estacionals moderades.
 - Genera grans marees.
 - Ha dotat la Terra d'un cor de ferro inusualment massiu que genera una densa magnetosfera.
 - Afavoreix la tectònica de plaques (la qual té un efecte positiu en la regulació del clima).

2.3. Mètodes de cerca de vida extraterrestre

La comunitat científica fa servir diversos mètodes per detectar signes de vida extraterrestre.

2.3.1. L'exploració de cossos del Sistema Solar

Es el mètode més directe, però d'eficiència limitada. La humanitat fa més de 50 anys que ha començat a explorar el Sistema Solar, sent la Lluna (Apollo XI) la primera escala. S'han fet servir sondes per arribar més lluny i estudiar els planetes del Sistema Solar, molts dels seus satèl·lits i alguns asteroides i cometes.

En diversos casos (l'atmosfera de Venus, l'interior dels satèl·lits jupiterians Europa i Ganimedes, o la superfície de Tità) s'han trobat condicions que permetrien alguna activitat biològica. De moment però no s'ha trobat cap evidència inequívoca de vida. Ni tan sols a Mart, un planeta que mostra rastres clars de què en un passat remot (fins fa uns 3.500 milions d'anys) va gaudir dels factors ambientals necessaris per donar suport a la vida (inclosa la circulació d'aigua en la seva superfície; [Fig. 2](#)).

2.3.2. L'ús de senyals electromagnètics

És un mètode indirecte, amb una eficiència també bastant limitada. Pot ser passiu o actiu. En el primer cas, tenim projectes com el popular SETI@home

(<https://setiathome.berkeley.edu/>) liderat per la universitat de Berkeley, que fins fa poc utilitzava una xarxa d'ordinadors cedits per voluntaris per analitzar els senyals ràdio de banda estreta detectats pel radiotelescopi d'Arecibo en la regió del cel ocupada per la Galàxia en un intent d'identificar emissions que no tinguessin un origen natural. Aquesta cerca cega de senyals extraterrestres s'ha vist però actualment aturada (en hibernació) degut al col·lapse de l'antena del que fins llavors era el radiotelescopi més sensible del que disposàvem a la Terra.

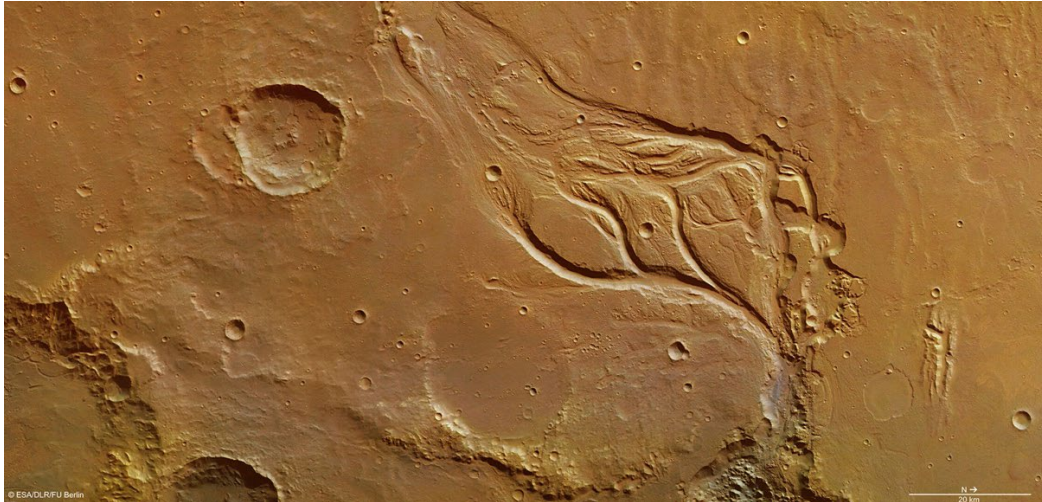


Fig. 2. Part central d'Otago Valles al planeta Mart. Hom creu que inundacions catastròfiques van crear aquesta regió, molt erosionada, que mostra illes hidrodinàmiques i un sòl acanalat tallats per aigua que fluïa ràpidament (cap a la part inferior dreta de la imatge). Crèdits: ESA.

Intencionadament hem enviat senyals propis cap a estrelles llunyanes que poden estar o no orbitades per planetes que continguin vida intel·ligent. El cas més conegut és el missatge codificat, desenvolupat per Drake, que es va enviar el 1974 des d'Arecibo amb dades bàsiques sobre la Terra i la nostra civilització cap al cúmul estel·lar globular M13 situat a uns 22.000 anys llum de nosaltres a la constel·lació d'Hèrcules^[7]. Es va fer amb la idea de que la presència de més de 200.000 estrelles en aquest sistema estel·lar compacte augmenti les possibilitats de què el nostre senyal sigui rebut per una civilització avançada situada en el sistema planetari d'una d'elles. Si alguna criatura estigués observant el nostre Sistema Solar a la freqüència correcta (2380 MHz) quan li arribi el senyal, veurà incrementar-se la brillantor del Sol en aquesta radiofreqüència uns 10 milions de vegades en un període de 3 minuts, una clara indicació de què es tracta d'un fenomen artificial.

Tampoc hem d'oblidar que des de fa uns cent anys també hem estat enviant de forma inconscient senyals electromagnètics cap a l'espai, ja que el nostre planeta ha estat durant l'època del naixement de les telecomunicacions el principal radioemissor del Sistema Solar en bandes específiques (les de les ones portadores de la TV i la ràdio modulades en amplitud o freqüència). De fet, això funciona en els dos sentits. Els astrofísics disposarem aviat (2024) d'un nou radiointerferòmetre, el *Square Kilometre Array* (SKA), amb una sensibilitat tal

que hauria de permetre detectar senyals d'estrelles properes que no siguin més forts que els generats per les nostres pròpies emissores de televisió i radars.

2.3.3. La detecció i l'estudi de planetes extrasolars

És el mètode indirecte més raonable i prometedor pel que fa a la detecció d'evidències de vida fora del Sistema Solar. Han passat prop de 10.000 dies des de què en 1995 es va descobrir el primer planeta al voltant d'una estrella que no era el Sol. Des de llavors, el nombre d'**exoplanetes** no ha fet més que incrementar cada cop més ràpidament.

A les longituds d'ona òptiques, la senyal d'un planeta que orbita una estrella és molt difícil (encara que no impossible) de distingir de la llum brillant de l'estrella hoste (tret que una gran quantitat d'energia es concentri en un rang molt estret de longituds d'ona, com ara un làser, o en una pulsació curta). Per aquest motiu, la detecció d'exoplanetes se serveix majoritàriament de tècniques indirectes com ara variacions periòdiques en les velocitats radials (desplaçaments Doppler), en els moviments propis de l'estrella hoste, o en la caiguda en la corba de llum de les estrelles causada per la presència d'un o més planetes al seu voltant. Aquest darrer mètode, basat en el trànsit dels exoplanetes, també permet extraure informació mitjançant l'anàlisi espectroscòpica de la llum de l'estrella hoste que travessa les atmosferes d'alguns d'ells quan passen pel seu davant (el que s'anomena espectre de transmissió). En el futur, l'anàlisi de la composició de les atmosferes exoplanetàries durant els trànsits amb l'ajuda de potents instruments com el nou telescopi espacial *James Webb Space Telescope* (JWST) permetrà mesurar l'abundància de gasos d'aigua, metà, o diòxid de carboni, així com detectar la presència d'oxigen, proporcionant informació molt valuosa sobre la formació d'aquests planetes i fins i tot sobre si serien aptes per contenir vida.

Malgrat que les deteccions inicials estaven esbiaixades cap a planetes grossos i massius que orbiten molt a prop de la seva estrella (anomenats **Júpiter calents**), actualment les tècniques de microlents gravitatòries i, especialment, les abans esmentades velocitats radials de molt alta precisió ($\lesssim 1$ m/s) i els trànsits, permeten identificar exoplanetes semblants a la Terra. Aquest era precisament l'objectiu de la missió Kepler, oficialment retirada el 2018, la qual ha arribat a descobrir mitjançant el mètode dels trànsits *candidats* a exoplanetes a un ritme superior a 3000 per any. Segons l'Enciclopèdia dels Exoplanetes (<http://exoplanet.eu>), el 29/06/2022 (vegeu també la [Fig. 3](#)) portàvem 5106 exoplanetes confirmats amb 825 sistemes planetaris múltiples (tots ho haurien de ser) i al voltant de 60 exoplanetes terrestres potencialment habitables.

Compensant els biaixos de la missió Kepler, s'estima que $\sim 11 \pm 4\%$ d'estrelles de tipus solar tindrien al menys un planeta de mida $1-2 R_{\oplus}$ a la zona habitable de fluxos entre $0.25 F_{\oplus}$ i $4 F_{\oplus}$.

3. La vida extraterrestre des de la perspectiva d'altres ciències naturals

Revisarem aquí els arguments derivats de les ciències naturals directament relacionades amb la vida (Biologia, Bioquímica,...) i de les relacionades amb la Terra (Paleontologia, Meteorologia,...) que cal tenir presents a l'hora d'estudiar les condicions i els esdeveniments amb els quals la vida pot sorgir, distribuir-se i evolucionar. De fet, la recerca i l'estudi de la vida extraterrestre s'han convertit en una ciència pròpia, l'**astrobiologia**, també coneguda com a exobiologia. L'astrobiologia també estudia la vida a la Terra, però amb una perspectiva còsmica, analitzant tots els seus aspectes, des de la seva definició fins a la seva química, per tal de determinar si és probable que siguin similars en totes les formes de vida del cosmos o només siguin nadius del nostre planeta. L'astrobiologia continua però limitada per la manca actual de formes de vida extraterrestres per estudiar, ja que tota la vida a la Terra prové d'un avantpassat comú, i és difícil inferir característiques generals d'un grup amb un sol exemple per analitzar. Malgrat tot, establir com s'origina la vida a la Terra és essencial per entendre on i com es podria haver desenvolupat la vida a la resta de l'Univers.

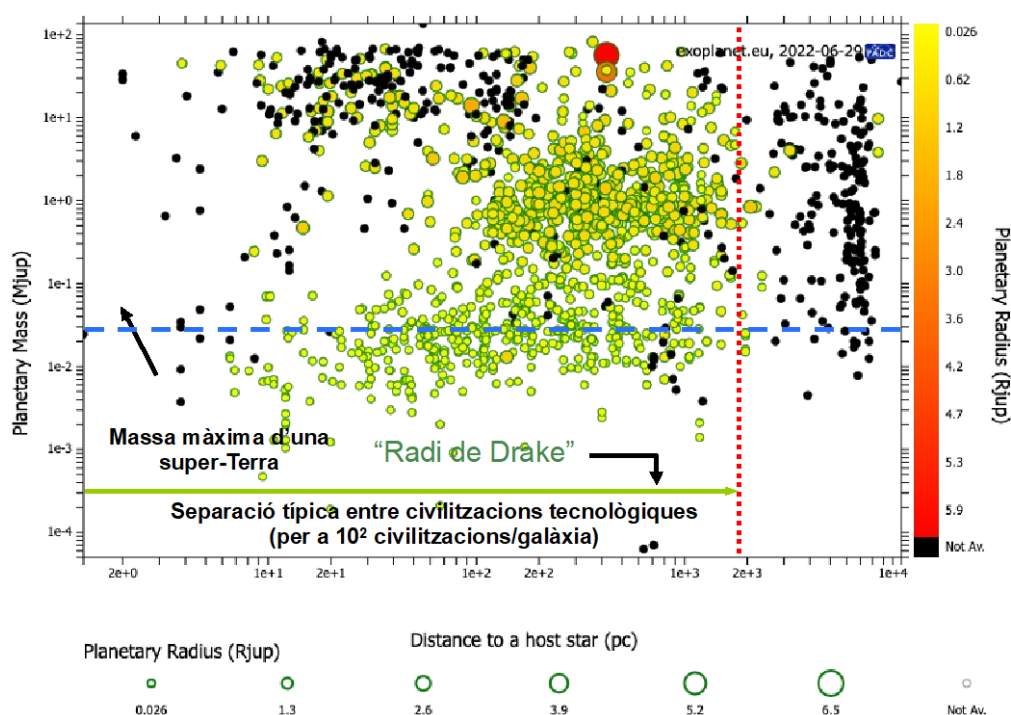


Fig. 3. Massa dels exoplanetes confirmats a 29/06/2022 vs la distància que ens separa de l'estrella hoste. La línia discontinua horitzontal blava assenyalava el límit superior de la massa que pot assolir un planeta de tipus terrestre ($\sim 10 M_{\oplus}$), mentre que la línia de punts vertical vermella mostra el radi de Drake (vegeu el text). Aquestes dues línies divideixen el gràfic en quatre quadrants, sent el quadrant inferior dret el que hauria de concentrar la majoria de deteccions d'exoplanetes habitats per civilitzacions avançades. Veient el gràfic podem concloure que si trobar exoplanetes terrestres que mostrin evidències d'algun tipus de vida podria ser només qüestió de temps, en canvi, les possibilitats de trobar vida intel·ligent estudiant exoplanetes semblen encara remotes. Font de les dades: <http://exoplanet.eu>.

3.1. Definicions de vida

Definir el que és un ésser viu és tot un repte. Això és en part perquè la vida és un procés, no una substància i en altra per les possibles limitacions que es deriven de la manca de coneixement de les característiques dels éssers vius que poden haver-se desenvolupat en planetes que no siguin la Terra. La definició varia segons la disciplina.

Des del punt de vista de la Física, els éssers vius són sistemes termodinàmics oberts amb una estructura molecular organitzada que utilitzen fluxos de matèria i/o d'energia per dur a terme canvis macroscòpics com ara crear còpies imperfectes de si mateixos, evolucionar per adaptar-se a l'entorn i/o adaptar aquest a les seves necessitats. Les fonts externes tradicionals d'energia al cosmos són les estrelles (és el cas la vida a la Terra que depèn de l'energia del Sol). Tanmateix, un planeta o satèl·lit també pot posseir fonts d'energia interna alternatives, com volcans, fonts hidrotermals o el decaïment radioactiu. Una formulació més concisa adoptada per la NASA a proposta de Carl Sagan defineix els éssers vius com a sistemes químics autosuficients capaços d'experimentar una evolució Darwiniana.

Per altra banda, la Biologia defineix la vida com una qualitat que distingeix la matèria amb capacitat de desenvolupar una sèrie de processos complexos, anomenats funcions fisiològiques, com ara la homeòstasi (regulació del medi intern per mantenir-lo estable), el creixement, la reacció als estímuls, l'adaptació a l'hàbitat, el metabolisme (per obtenir energia i fabricar nous components o reemplaçar-ne els deteriorats) i la reproducció.

3.2. Abiogènesi

La hipòtesi científica predominant és que les entitats vives del cosmos apareixen a partir d'entitats no vives com a resultat d'un procés evolutiu espontani i de complexitat creixent desenvolupat en un planeta o satèl·lit habitable conegut com **abiogènesi**. En el cas de la Terra aquest procés va comportar la síntesi prebiòtica de molècules orgàniques, l'autoreplicació i assemblatge d'estructures moleculars complexes, la formació de membranes cel·lulars, l'aparició de les primeres cèl·lules i l'evolució de noves formes de vida a partir d'ancestres comuns a través de la variació hereditària i la selecció natural.

L'abiogènesi utilitza principalment eines de la Biologia i la Química, adoptant l'enfocament de què la vida es basa en la química del carboni (per crear estructures moleculars complexes) i l'aigua (com a dissolvent), i s'organitza principalment al voltant de quatre grans famílies de biomolècules: lípids per a les membranes cel·lulars, hidrats de carboni com els sucres, aminoàcids per al metabolisme de proteïnes i àcids nucleics ADN i ARN per als mecanismes de l'herència. Actualment la teoria de l'abiogènesi, malgrat la seva acceptació generalitzada, té dues etapes de les que encara sabem molt poc (identificades amb interrogants a la [Fig. 4](#)): la formació de les classes fonamentals de biomolècules complexes a partir de les molècules orgàniques més simples que es

troben en el medi interestel·lar i els discos protoplanetaris¹, i la transició entre les primeres cèl·lules procariotes autosuficients i els seus precursors (protobionts).

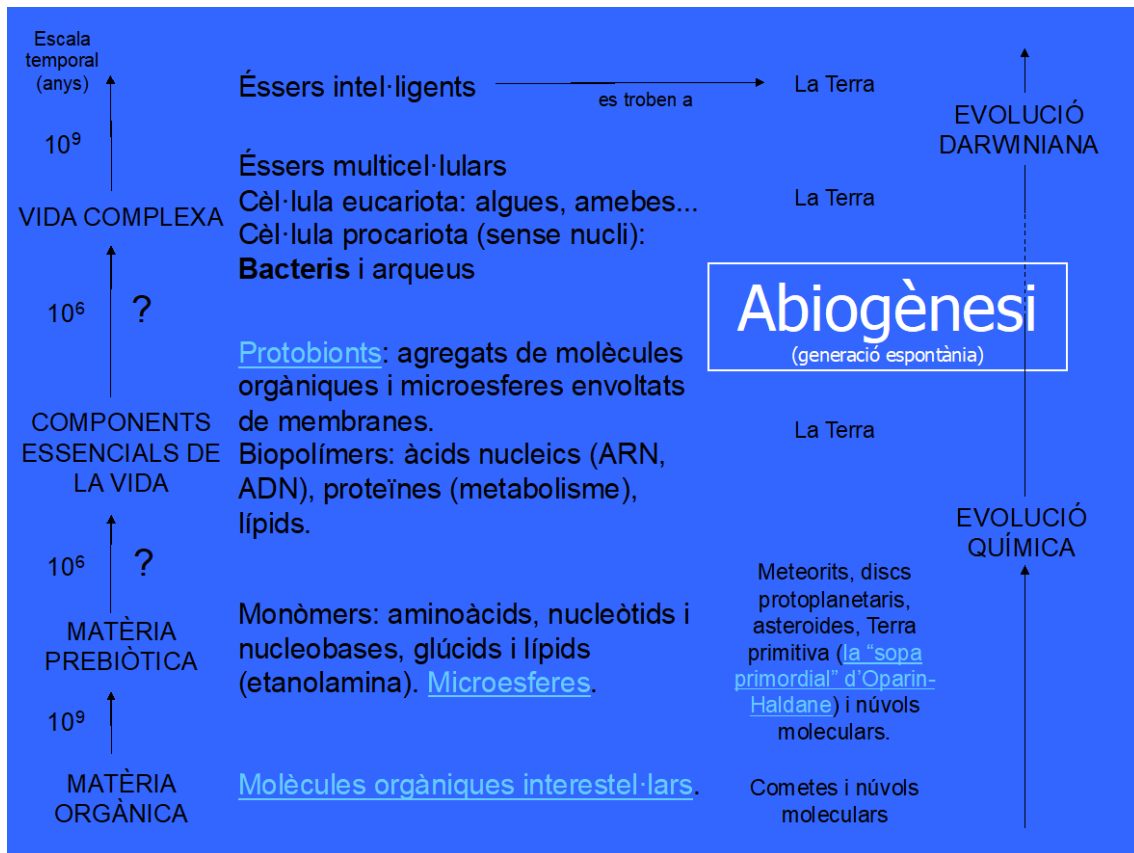


Fig. 4. Les diferents etapes que formen l'abiogènesi (generació espontània de la vida en el cosmos) de menys a més complexa. El gràfic inclou els elements que defineixen cada etapa, els llocs on s'han identificat i l'escala temporal característica, en anys, estimada per a les transicions. Els interrogants marquen les dues transicions menys conegudes.

3.3. Morfologia i bioquímica de la vida extraterrestre

La morfologia de la vida extraterrestre i la seva bioquímica és un tema que genera un gran debat dins la comunitat científica. Els éssers vius evolucionen en resposta al seu entorn, de manera que la forma i composició de qualsevol tipus de vida estarà determinada per les condicions físiques del seu hàbitat, plasmades en elements com la gravetat, densitat, pressió i temperatura ambientals, i la font d'energia, encara que potser hi ha una condició que segurament és universal: la vida, per prosperar, ha d'estar en equilibri amb el seu entorn, formant ecosistemes. El reciclatge és bàsic per a la vida!

Pel que fa a la morfologia dels éssers vius, tenim dos grans corrents de pensament. Per una banda, l'anomenada "evolució convergent" argumenta que determinades

¹ Aquí també instruments com el ja mencionat SKA jugaran un paper fonamental a l'hora d'intentar detectar molècules orgàniques encara més complexes que les que per ara hem trobat en aquests medis amb fins a 13 àtoms.

estructures anatòmiques (ulls, boca, ales, formes hidrodinàmiques,...) i mecanismes fisiològics poden ser comuns entre les formes de vida de l'Univers encara que no tinguin el mateixos ancestres i s'hagin desenvolupat en hàbitats molt diversos, donat que són les millors solucions biològiques a problemes físics bàsics com el desplaçament, l'alimentació, etc. Per altra banda, a la Terra tenim també molts exemples d'"evolució divergent", la qual es produeix quan organismes amb un avantpassat comú acaben com a espècies diferents i amb parts dels seus cossos que, malgrat ser estructures homòlogues (i.e., compartir un origen comú), ja no tenen la mateixa finalitat (les ales dels ratpenats són equivalents a les potes davanteres dels ratolins, però s'han estès i han desenvolupat una cinta carnosa). Cal tenir present que en el desenvolupament de les espècies d'una regió habitable participa no únicament l'acció de lleis físiques, químiques i biològiques universals, sinó també l'atzar, com ara catàstrofes còsmiques que no es poden predir ni són repetibles.

Pel que fa a possibles bioquímiques alternatives, i sense entrar a descriure els pros i contres de cada element, s'han citat com a possibles substituïts del carboni (base de l'estructura molecular) el silici, bor, nitrogen + fòsfor, sofre i arsènic. Com a substituïts de l'aigua (dissolvent i protector de la radiació UV) podrien actuar l'amoniac, fluorur d'hidrogen, àcid clorhídric, metanol i barreges d'hidrocarburs.

Tot això, ens fa pensar que, malgrat el que sovint mostra la ciència-ficció, la vida intel·ligent en altres parts del cosmos no té perquè ser antropomòrfica ni estar basada en el carboni i l'aigua. Aquest biaix antròpic és en gran mesura degut a què molts humans consideren erròniament la nostra espècie com la culminació d'una evolució dirigida, quan en realitat no som més que una entre les $\sim 10^7$ - 10^{12} d'espècies animals i vegetals que es conjectura podrien actualment habitar La Terra.

Citant al filòsof Yuval Noah Harari ^[8]: "L'actual manca d'altres espècies del gènere Homo fa que ens resulti més fàcil imaginar que som l'epítom de la creació i que una enorme bretxa ens separa de la resta del regne animal. Però fa només 100.000 anys hi havia a la Terra sis espècies diferents d'humans. De fet, entre l'1-4% del genoma dels euroasiàtics moderns és ADN neandertal; un 4-6% del genoma dels melanesis i dels aborígens australians és ADN denisovà."

Tampoc no hem d'oblidar que totes les espècies tenen data de caducitat: Més del 99% de les espècies que mai han existit en el nostre planeta² s'han extingit, en molts casos degut a grans catàstrofes globals les quals, d'altra banda, han acabat afavorint empentes evolutives radicals³. Així, a la Terra, el desenvolupament del mamífers en general i dels humans en particular es va fonamentar en la desaparició dels dinosaures fa uns 66 milions d'anys.

² L'homo sàpiens també està creant noves espècies mitjançant "disseny intel·ligent": editant l'ADN i a través de la robòtica.

³ Les espècies de mamífers, per exemple, persisteixen típicament durant 1 milió d'anys.

4. La vida extraterrestre des d'altres perspectives

L'estudi de la vida extraterrestre en totes les seves formes es un camp molt transversal i multidisciplinari que involucra no només les ciències de la natura sinó també les ciències socials (Economia, Sociologia, Psicologia,...) i la Filosofia. Per acabar, repassarem breument algunes de les principals consideracions que sobre la vida intel·ligent extraterrestre i la possibilitat d'establir contacte es deriven d'aquestes darreres disciplines i que serveixen per complementar la resposta que dona l'Astronomia a la paradoxa de Fermi.

4.1. Requisits (universals?) de les civilitzacions avançades

Per a què qualsevol espècie dotada d'intel·ligència pugui arribar a convertir-se en una civilització avançada s'haurien de donar els següents requisits:

- Disposar d'extremitats lliures: permet la manipulació d'objectes.
- Tenir pensament simbòlic (capacitat per donar significat a l'entorn i codificar-lo): permet conèixer i aprendre sense estar en contacte directe amb la realitat, i.e., desenvolupar una cultura (transmissió no genètica d'informació).
- Desenvolupar un llenguatge: permet construir noves realitats i cohesionar l'espècie.
- Gaudir d'una col·laboració flexible i massiva entre els seus individus. La tecnologia accelera dramàticament l'evolució del coneixement, retroalimentant-lo i afavorint el suport individual a través d'estructures socials complexes, les quals permeten incrementar el lleure. Disposar de temps de lleure és un element essencial per progressar, ja que és molt difícil fer-ho si hem d'estar pendents de resoldre necessitats bàsiques.⁴

4.2. Viabilitat dels viatges i la colonització interestel·lars

Els viatges interestel·lars i la colonització de l'espai semblen molt poc factibles, no només per a la nostra civilització actual, sinó també per a qualsevol civilització tecnològica, independentment del seu grau de desenvolupament. Entre altres raons tenim que:

- La vastitud de l'espai i el temps obliga primer a identificar destinacions viables i després a plantejar viatges multi-generacionals o la hibernació (suspensió vital) dels viatgers. Això requereix la construcció de naus espacials de grans dimensions, així com despesa energètica enorme⁵.
- La tripulació d'una nau interestel·lar s'ha d'enfrontar a diversos perills importants, inclosos els efectes de l'exposició als raigs còsmics galàctics i els

⁴ Curiosament en una part de la societat actual existeix la tendència a premiar l'èxit individual i a fomentar relacions impersonals; en definitiva, una ànsia per desfer-nos d'un dels elements en què es fonamenta el domini de la nostra espècie.

⁵ S'estima que diversos ordres de magnitud per sobre de la que produeix el nostre planeta en tot un any.

efectes psicològics de l'aïllament a llarg termini. La necessitat d'assolir velocitats properes a les de la llum també incrementa molt els perills d'impactar amb micrometeoroides i altres petits cossos del medi interestel·lar, com ara un simple gra de pols.^[9]

- “*No gain? We remain!*” Inclús si es troba solució als problemes tecnològics i logístics anteriorment esmentats, queda clar que des del punt de vista econòmic la colonització estel·lar sembla molt poc rendible. En aquestes circumstàncies és difícil que una civilització es plantegi realitzar viatges espacials impulsada només pel desig d'explorar l'espai. L'avarícia és un “motor” molt més potent que la curiositat científica!
- **Autocensura.** Una civilització tecnològica que hagi crescut desmesuradament i es trobi fora de l'equilibri es pot veure abocada a expandir-se colonitzant altres planetes. Moure un gran nombre d'individus a un altre planeta no només agreuja les dificultats plantejades, sinó que a més requereix d'un esforç polític, social, econòmic, etcètera, considerable, coordinat i perllongat en el planeta que es vol abandonar, i un ús encara més desorbitat dels seus escassos recursos naturals.

5. Reflexions finals

El concepte de vida extraterrestre, i particularment de vida intel·ligent, té un enorme impacte cultural, especialment a la ciència-ficció. Al llarg dels anys, d'aquest gènere ha comunicat idees científiques, imaginat un ampli ventall de possibilitats i influït en l'interès i les perspectives del públic sobre la vida extraterrestre generant un important debat, que ultrapassa les seves fronteres, sobre si seria o no prudent intentar establir contacte amb intel·ligències extraterrestres, les quals, d'existir, serien segurament molt més avançades que la nostra. Alguns pensen que el contacte seria positiu perquè els éssers extraterrestres ens transmetrien coneixements que ajudarien a la supervivència de la nostra pròpia civilització. Altres, citant la tendència de les espècies terrestres a anihilar altres formes de vida per assegurar-se la supervivència (teoria del Bosc Fosc de Liu Cixin^[10]), o si més no, de les societats humanes tecnològicament avançades a esclavitzar o acabar amb les societats menys avançades, argumenten que el més sensat seria mantenir l'existència de la Terra en l'anonimat. De fet, no sabem si hi ha una ètica universal, és a dir, si hi ha normes objectives del bé i del mal que poden ser comunes a qualsevol civilització. El que és correcte i el que no ho és podria dependre de la cultura en qüestió i no existir normes bàsiques per les quals un acte pot ser considerat correcte o incorrecte.

Tot això, és clar, si les hipòtesis menys optimistes sobre el nostre futur no es fan realitat. Sense anar més lluny, no sembla impossible que la competència pels cada vegada més escassos recursos de la Terra pugui derivar en violència i genocidi. De forma que les mateixes actituds que han portat a la nostra espècie a conquerir el món, acabin sent també la causa de la nostra autodestrucció!

Epíleg. Malauradament el final de la redacció d'aquesta monografia ha coincidit amb el traspàs de Frank Drake el 2 de setembre de 2022 a l'edat de 92 anys. Autor de la segona equació més famosa en la ciència després de $E = mc^2$ i responsable de desenvolupar i transmetre el famós missatge d'Arecibo, de les plaques gravades del satèl·lit Pioneer i dels discos fonogràfics que es van incloure a les dues naus Voyager, serà recordat pel seu treball pioner en la radioastronomia planetària, la seva mentoria amable de joves científics, la seva naturalesa jovial, i com el primer i gran impulsor de l'interès per la cerca de vida intel·ligent extraterrestre.

Bibliografia

1. <https://sgp.fas.org/othergov/doe/lanl/la-10311-ms.pdf>
2. Sagan, C. (2006). *Cosmos. Publicacions i Edicions de la Univ. de Barcelona*. ISBN: 978-8-447-53131-8
3. Shklovskii, I.; Sagan, C. (1966). *Intelligent Life in the Universe*. San Francisco: Holden-Day. ISBN 978-1-892803-02-3
4. Platt, Karl-F. (2021). *Philosophies*, 6(2), 49. <https://doi.org/10.3390/philosophies6020049>
5. Hanson, R. (1998). *The Great Filter – Are We Almost Past It?* <https://web.archive.org/web/20100507074729/http://hanson.gmu.edu/greatfilter.html>
6. Brownlee, D.; Ward, Peter D. (2000). *Rare Earth: Why complex life is uncommon in the Universe*. Springer Verlag. ISBN 978-0-387-98701-9
7. *Universe Today*. <https://www.universetoday.com/153920/what-is-the-arecibo-message/>
8. Harari, Yuval N. *Sapiens. Ediciones 62*. ISBN 978-8-429-77318-7
9. Garrett, H. (2012). *There and Back Again: A Layman's Guide to Ultra-Reliability for Interstellar Missions* <http://www.kiss.caltech.edu/workshops/systems2012/presentations/garrett.pdf>
10. Cixin, L. (2008). *El bosque oscuro (Trilogía de los tres cuerpos 2)*. Ediciones B. ISBN 978-8-466-66092-1