

David Bueno i Torrens

sensefronteres

L'enigma de la llibertat

Una perspectiva biològica i evolutiva de la llibertat humana



**Premi
Europeu
de Divulgació
Científica
Estudi
General**

LA CUINA DE LA VIDA

Per poder discutir amb propietat i amb coneixement de causa els mecanismes biològics que fan possible la llibertat de pensament i la sensació subjectiva de llibertat, és a dir, per a fer hipòtesis sobre la dimensió evolutiva d'aquesta característica que ens és tan preuada, primer ens cal parlar de quin és el substrat fisicoquímic sobre el qual se sustenta la vida i tots els seus processos. És a dir, començarem parlant d'àtoms i molècules, i de com s'organitzen per constituir els materials bàsics d'un ésser viu. Així, a poc a poc, explorarem el gran edifici que és la matèria viva, com funciona i, en conseqüència, com evoluciona. I veurem com la organització de tots aquests elements va generant tot un seguit de propietats emergents, de característiques completament noves que sorgeixen de la combinació d'elements més senzills que no les tenien. Com les característiques associades amb la llibertat.

L'origen de la matèria

Hi ha qui considera que una de les qüestions evolutives més extraordinàries és el fet que totes les criatures vives de la Terra compartim un antecessor comú, un avantpassat primigeni del qual tots procedim per descendència. Però n'hi ha una altra

que potser sigui tant o més corprenedora: tots els éssers vius estem formats per pols d'estrelles, astres que es van extingir fa eons però les despulles dels quals encara perviuen dins nostre.

L'univers va començar la seva singladura fa uns 13.700 milions d'anys, i quan la Terra es va formar, fa 4.500 milions d'anys, ja havia recorregut un llarg periple. Innombrables estrelles s'havien format i s'havien extingit, i dels seus fragments va sorgir el material necessari per a formar nous astres. Així és com va néixer el Sol i, poc després, la Terra, un planeta que va permetre l'inici i el manteniment de la vida, i l'evolució constant de la seva complexitat.

Les dades cosmològiques de què es disposa indiquen que tot va començar amb una gran explosió primordial, el Big Bang (literalment 'la gran explosió'), a partir de la qual es va originar l'univers, amb tota la matèria i energia que conté. Al principi era tan calent que no hi podia haver matèria com la que coneixem. Un milió d'anys més tard, la temperatura mitjana de l'univers havia disminuït fins a uns pocs milers de graus, suficientment baixa perquè es formessin els primers àtoms, la majoria dels quals d'hidrogen, els més senzills de tots.

Un àtom és la mínima quantitat d'un element químic que presenta les propietats d'aquest element, i no es pot descompondre en partícules més senzilles sense perdre-les. Per exemple, un àtom de ferro té totes les propietats del ferro, però si el descomponem en els elements que el formen –protons, neutrons i electrons, o en partícules encara més elementals– deixa de ser ferro. Per tant, un àtom de ferro és la mínima quantitat de ferro que podem tenir. A la natura es troben 90 tipus d'àtoms diferents, i en condicions experimentals, al laboratori, se n'han generat uns 22 més.

Com he dit, a l'inici la immensa majoria dels àtoms eren d'hidrogen. A poc a poc, aquests àtoms es van començar a agrupar atrets per incipients forces gravitatòries, i van formar núvols gasos. La conseqüència fou que els àtoms van començar a col·lidir. Atès que les col·lisions generen energia —és el mateix efecte que es produeix quan piquem de mans, que se'ns escalfen—, a poc a poc la temperatura d'aquestes boles gasoses va anar augmentant, fins que es van començar a desencadenar reaccions atòmiques —o nuclears. Aquestes reaccions alliberen grans quantitats d'energia i modifiquen la constitució íntima dels àtoms; els àtoms simples es fusionen i se'n formen de més complexos. Havien nascut les primeres estrelles, i amb elles tota la varietat d'àtoms que coneixem.

Tard o d'hora, les estrelles consumeixen el seu combustible. Llavors, moltes exploten i alliberen a l'espai tots aquests elements, els quals es poden concentrar de nou per formar noves estructures còsmiques, com per exemple nous estels amb sistemes planetaris orbitant-los. Així és com es va formar la nostra galàxia, la Via Làctia, i dins d'ella un sistema solar perifèric, el nostre, el qual va donar a llum un petit planeta, la Terra, format per l'acumulació de les restes d'intensos cataclismes còsmics. Un planeta que reunia tots els elements i característiques necessaris perquè s'hi originés la vida.

Les molècules de la vida

Tota la matèria de l'univers és formada per una mica menys d'un centenar de tipus d'àtoms, els elements químics. Els àtoms es poden combinar entre ells per formar molècules,

com les que conformen el nostre cos, sense les quals la vida no seria possible. Ara bé, les possibilitats que tenen de combinar-se per formar molècules no és infinita, sinó restringida. No tots els àtoms poden combinar-se amb tots els altres, atès que hi ha unes relacions físicament permeses mentre que altres no són pas possibles.

De tots els elements químics, n'hi ha uns quants de molt especials per a nosaltres, els que constitueixen la base de les molècules biològiques (que s'anomenen normalment biomolècules). Un d'aquests elements tan especials, probablement el més especial de tots, és el carboni. El carboni presenta diverses característiques fonamentals per a la vida: es pot unir a altres àtoms de carboni formant cadenes molt llargues i ramificades; es pot unir també a altres elements químics, com l'hidrogen, l'oxigen, el nitrogen, el fòsfor i el sofre, entre altres; pot emmagatzemar grans quantitats d'energia química en aquestes unions, la qual resta a disposició dels sistemes biològics; i també pot alliberar grans quantitats d'energia en trencar-se aquestes unions, la qual és utilitzada pels organismes per realitzar les seves funcions vitals.

Hi ha quatre grans grups de biomolècules que tenen el carboni com a base de la seva estructura: els sucres, més pròpiament dits glúcids o hidrats de carboni, que tenen funcions energètiques i contribueixen a donar forma als cossos; els greixos o lípids, que tenen funció estructural i de reserva d'energia; les proteïnes, que tenen funció estructural i afavoreixen les reaccions químiques (els enzims); i els àcids nucleics, com el DNA, que emmagatzemen la informació genètica i constitueixen el material hereditari, el qual determina les característiques biològiques i les transmet d'una

generació a la següent. A part d'aquests molècules, n'hi ha d'altres que també són imprescindibles per a la vida, com les sals minerals i l'aigua.

L'aigua mereix una atenció especial, atès que sense ella la vida a la Terra no seria possible. Per a començar, és el compost químic més abundant a la interfase entra la terra sòlida i l'atmosfera, l'espai que ocupem els éssers vius. Tanmateix, també és el principal component de la matèria viva. Només una dada anecdòtica que ressalta la seva importància: l'aigua representa més del 60% del nostre pes corporal, i en alguns animals com les meduses aquest percentatge arriba al 99%.

L'aigua presenta unes peculiaritats que la fan extraordinària. És l'única molècula que quan es torna sòlida, és a dir, quan en transforma en gel, és menys dens que el líquid del qual prové, i per tant hi sura a sobre. Això fa que si es congela la superfície d'un llac, d'un toll o del mar, a sota hi quedi aigua líquida on es pot mantenir la vida, i a més a més el mateix gel que la cobreix actua d'aïllant tèrmic, com una crosta protectora. Tanmateix, es pot trobar aigua en tots tres estats físics en un espai molt reduït: sòlid (gel), aigua líquida just al costat i vapor d'aigua a l'atmosfera, en contacte amb els dos anteriors. Aquesta varietat obre moltes possibilitats a la vida.

A més a més, el pas de l'aigua d'un estat físic a un altre, com per exemple de gel a aigua líquida i d'aigua líquida a vapor d'aigua, i viceversa, requereix molta energia, una característica que dona molta estabilitat tèrmica als sistemes que contenen aigua, com els éssers vius. Aquest fet disminueix la incidència de les variacions de temperatura sobre la matèria viva, i contribueix a assegurar la continuïtat de la vida.

Finalment, hi ha moltes substàncies que es dissolen en l'aigua, com els sucres, les proteïnes i el DNA, la qual cosa permet que puguin interactuar lliurement entre elles en un medi fluid estable i multiplicar així les seves funcions. Unes característiques que són imprescindibles per a les reaccions fisiològiques de la vida.

Tanmateix, els lípids no són pas solubles en aigua –per això costa tant rentar les taques d'oli. Això fa que siguin els encarregats, entre altres coses, de delimitar els mateixos éssers vius, d'oferir-los una frontera entre el seu interior i el món exterior, una barrera que l'aigua no pot travessar i que els confereix unitat i individualitat. Dins aquestes bombolles aquoses limitades per lípids es poden produir totes les reaccions necessàries per a la vida en un ambient relativament estable i, sobretot, molt controlat per la mateixa fisiologia de les cèl·lules. Com veurem, les membranes de les cèl·lules, l'estructura que les limita i aïlla de l'exterior, són formades bàsicament, però no exclusivament, per lípids. Res no pot entrar ni sortir si no és que la maquinària fisiològica de la cèl·lula ho permet de forma expressa.

Aquestes són les molècules de la vida. Però, com es van formar, a la Terra primitiva?

L'evolució abans de la vida

Hi ha molts estudis l'objectiu dels quals és determinar quan i com va començar la vida a la Terra. Totes les dades indiquen que la vida al nostre planeta es va originar fa uns 4.000 milions d'anys, en un moment concret de la història geològica

del nostre planeta en què les condicions ambientals eren molt diferents de les actuals.

La teoria actual sobre l'origen de la vida indica que aquesta es va iniciar per l'assemblatge dinàmic de les biomolècules constituents dels éssers vius. És a dir, per la formació d'agregats de diverses biomolècules que van començar a interaccionar entre elles, segons les possibilitats permeses per la química del carboni. Tanmateix, val a dir que encara hi ha algunes llacunes de coneixement, però és qüestió de temps dissenyar els experiments adequats per omplir-les. Al pròleg he deixat molt clar que aquest és un llibre científic, i en un llibre com aquest és important reconèixer sense embuts aquells aspectes en què la ciència encara té buits, en el benentès que el fet que encara hi hagi preguntes sense resposta no implica en cap cas que no es puguin trobar respostes científiques plenament vàlides a totes les preguntes. I certament la ciència encara no ha esbrinat pas tots els secrets de l'univers i de la vida –la qual cosa és una gran sort, perquè altrament el nombre de científics a l'atur augmentaria de bon tros.

Si el primer organisme viu es va formar per l'encaix dinàmic de biomolècules, la primera qüestió que cal resoldre és com es van formar aquestes molècules. Actualment, tots els éssers vius fabriquen les seves pròpies biomolècules o bé les ingereixen amb l'aliment, agafant-les d'altres éssers vius, però al principi no n'hi havia pas, d'éssers vius que en fabriquessin. Això implica que aquestes primeres biomolècules es van haver de produir espontàniament, per síntesi química, és a dir, gràcies a reaccions químiques promogudes pel mateix ambient.

Per a començar, com hem dit, la Terra primitiva no era pas com la coneixem actualment. La seva atmosfera era for-

mada bàsicament per núvols d'amoníac, metà i hidrogen, i no tenia oxigen lliure. L'activitat volcànica era molt superior a l'actual, la qual cosa proporcionava abundants fonts de calor i surgències d'altres molècules molt reactives, com per exemple compostos sulfurosos (són unes molècules que fan una olor molt característica, que recorda els ous podrits). I també hi havia una extraordinària activitat elèctrica, en forma de potents llamps. Com és possible que en un ambient tan dantesc com aquest es formessin les primeres biomolècules?

Doncs sembla ser que perquè es formin biomolècules per síntesi química espontània cal precisament aquest ambient. Això s'ha posat de manifest amb tot un seguit d'experiments, el primer dels quals fou realitzat a mitjan segle xx. El disseny és molt simple: barrejar en un recipient tancat tots aquests elements de la Terra primitiva, com metà, hidrogen, amoníac i compostos sulfurosos, i eliminar completament els altres, molt especialment l'oxigen. I força aigua, és clar. Llavors, s'escalfa per simular les fonts de calor, s'hi provoquen descàrregues elèctriques i s'il·lumina amb llum ultraviolada, atès que en aquella època pretèrita tampoc hi havia ozó, el filtre natural d'aquesta radiació solar.

I quin és el resultat? Doncs que de manera espontània es formen un bon grapat dels components típics de les proteïnes, dels àcids nucleics, dels glúcids i dels lípids. En els primers experiments no es van obtenir pas tots, però posteriorment, a mesura que s'ha anat coneixent amb més precisió els compostos presents en aquesta Terra primitiva i el seu percentatge, s'han anat realitzant nous experiments en què s'han obtingut de forma espontània pràcticament totes les molècules bàsiques que formen els éssers vius.

Les biomolècules que s'obtenen són relativament senzilles, molt allunyades de la complexitat i varietat de les que actualment formen els éssers vius. Ara bé, si aquestes molècules es posen en contacte dins d'ambients restringits i menys agressius comencen a interaccionar espontàniament entre elles, s'uneixen i es modifiquen les unes a les altres, i incrementen progressivament llur complexitat. I com més complexes esdevenen, més complexitat poden introduir-se les unes a les altres, tal com fan actualment els enzims, les proteïnes que afavoreixen les reaccions químiques als éssers vius. En definitiva, a la Terra primitiva es va iniciar un reacció en cadena imparabile, que va generar totes les molècules bàsiques perquè s'iniciés la nostra aventura vital. Abans de l'evolució biològica hi va haver un llarg període d'evolució química.

En resum, a partir d'àtoms formats a l'interior d'estrelles llunyanes es van formar molècules complexes, les quals no només podien organitzar-se entre elles sinó que també interactuaven, es modificaven i augmentaven progressivament llur complexitat. A partir d'àtoms subjectes només a reaccions físiques i químiques es van generar molècules capaces d'experimentar processos biològics. És a dir, va aparèixer una característica completament nova a partir de la combinació d'elements que per ells mateixos no la tenien. És el que s'anomena *propietat emergent*. En posarem un exemple molt simple: si escampem per terra caragols, peces de metall i combustible, cap d'aquests elements es mourà per si mateix, però si els organitzem i permetem que interactuïn podrem construir un motor capaç de generar moviment, una propietat emergent –el moviment– que cap dels elements que el componen tenia per ell mateix.

Com veurem, la generació de propietats emergents ha estat una constant al llarg de l'evolució. I, com suggeriré al final del llibre, l'autoconsciència i la llibertat que se'n deriva han de ser considerades una nova propietat emergent, la qual ha proporcionat la base a l'evolució cultural i científicotècnica, que en l'espècie humana s'ha sumat a l'evolució biològica.

Poc després del sorgiment de la vida, alguns éssers vius van començar a produir oxigen com a producte de rebuig del seu funcionament. L'oxigen atmosfèric és un element molt reactiu, i la seva presència va impossibilitar que es continuessin formant biomolècules per síntesi química espontània. Tan bon punt es formaven, l'oxigen atmosfèric les oxidava i les destruïa –per això molts productes alimentaris envasats porten antioxidants com a additiu, o bé vénen protegits en envasos amb una atmosfera protectora sense oxigen. Senzillament, la cuina de la vida va deixar de funcionar: els fogons es van apagar, les cassoles van deixar d'existir i el brou de biomolècules va deixar de fer xup-xup (òbviament això és una frase metafòrica; que ningú ho prengui al peu de la lletra). Des de llavors, únicament els éssers vius han estat capaços de produir biomolècules.

Molt probablement, aquesta cuina estava situada a la vora de fumaroles volcàniques, segurament al fons marí, no massa lluny de la superfície, en zones amb abundants llims argilosos, els quals poden formar petits compartiments, diminutes bombolles relativament estanques i protegides on aquestes biomolècules poden quedar atrapades, aïllades i protegides. D'aquesta manera van poder disposar d'un espai limitat i autòcontrolat on agrupar-se, organitzar-se i començar a interactuar de forma dinàmica, talment com passa a l'interior d'una

cèl·lula. Biomolècules, núvols tòxics, descàrregues elèctriques, radiació ultraviolada, fumaroles volcàniques i bombolles fangoses: l'escenari perquè sorgeixi la vida ja és a punt i els actors frisen per començar la seva funció. Ja tenim les molècules, però encara no s'ha originat la vida. I la seva constitució amaga algunes propietats que poden estar al darrere de la nostra llibertat, com veurem cap al final del llibre.

També s'ha especulat sobre si alguns meteorits podrien haver transportat algunes biomolècules fins a la Terra, atès que se n'han trobat que contenen compostos de carboni originats de forma espontània, els quals podrien haver contribuït als primers estadis d'evolució química prebiòtica, anterior a l'aparició de la vida. Sigui com sigui, ara fa uns 4.000 milions d'anys la Terra reunia totes les condicions perquè s'hi desenvolupés la vida; nosaltres en som testimonis. Fins i tot molts especialistes diuen que la formació de vida a la Terra no va ser pas un fet fortuït producte d'una estranya casualitat, sinó un succés inevitable ateses les condicions de la Terra primitiva. Com discutiré més endavant, molt probablement el sorgiment de l'autoconsciència també va ser inevitable, ateses les condicions en què van viure els nostres avantpassats més directes i l'existència de determinats processos evolutius. I amb ella, l'adquisició de la llibertat, o de la sensació subjectiva de llibertat.

Però no ens avancem als esdeveniments. Ara ja estem a punt per veure néixer el primer avantpassat nostre, la cèl·lula mare de tots els éssers vius actuals, i d'assistir a la seva primera reproducció.