

L'atmosfera i la vida

Actualment s'accepta que la composició atmosfèrica dels tres planetes interiors del sistema solar va ser molt semblant en els orígens, ja que es van formar a partir d'un material comú i d'una manera similar. En tots ells la desgasificació originaria una atmosfera constituïda pels elements més lleugers que haurien quedat retinguts en l'interior dels planetes durant l'acreció. Aquests elements són l'hidrogen, l'heli l'oxigen, el carboni i el nitrogen, i en menor quantitat el sofre i el clor.

Els únics elements que no presenten problemes, quant a la seva manera d'aparició sobre la superfície de la Terra, són l'oxigen, que apareixeria majoritàriament en forma d'aigua, i el clor, que ho faria com àcid clorhídric; a més l'heli, que no es combina, i l'hidrogen a l'excés escaparien de l'atracció terrestre, evadint-se a l'espai. El problema es planteja en la manera d'aparició del nitrogen, el carboni i el sofre, ja que aquests elements donen compostos distints en funció de la temperatura i de la quantitat d'hidrogen present.

Quan la temperatura és baixa i la concentració d'hidrogen elevada, els elements anteriors tendeixen a formar amoníac, metà i àcid sulfúric, però segons augmenta la temperatura i disminueix la concentració d'hidrogen, disminueixen les possibilitats que es formin els compostos anteriors, i la barreja d'hidrogen, oxigen, carboni i sofre reacciona per a originar vapor d'aigua, nitrogen molecular, diòxid de carboni i diòxid de sofre.

Per a la "atmosfera primitiva" s'han proposat dues "composicions tipus", amb una àmplia gamma de possibilitats entre elles. La primera atmosfera que es va suggerir era reductora, amb amoníac, metà i vapor d'aigua, mentre que la segona és no reductora, amb vapor d'aigua, nitrogen molecular i diòxid de carboni. A mesura que passa el temps, els científics semblen cada vegada més inclinats a acceptar com més probable la idea d'una atmosfera no reductora.

La idea d'una atmosfera reductora va ser suggerida per Alexander Oparin en 1938. Existeixen una sèrie de proves a favor d'aquesta teoria:

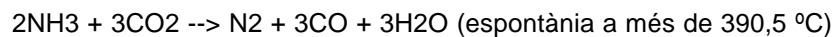
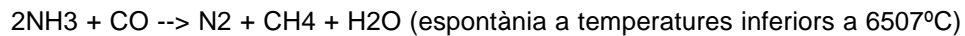
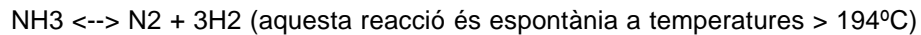
1. Durant el procés d'acreció, la matèria sòlida va atrapar els gasos de la nebulosa, principalment hidrogen i heli. L'heli no estaria combinat, però l'hidrogen s'associaria amb els elements lleugers més abundants (nitrogen, oxigen i carboni) per a donar amoníac, aigua i metà.
2. Els planetes gegants del sistema solar posseeixen gran quantitat d'aigua, amoníac i metà, el que demostra que aquests compostos estaven presents durant la formació del sistema solar.
3. Hi ha uns mecanismes coneguts pels quals una atmosfera d'aquesta composició evoluciona a una altra de diòxid de carboni, aigua i nitrogen, com és el cas de les atmosferes actuals de Venus i Mart.
4. En els planetes interiors, la radiació ultraviolada del Sol va poder trencar les molècules d'aigua en àtoms d'hidrogen (que escaparien a l'espai exterior) i en àtoms d'oxigen, aquests últims es combinarien amb l'amoníac per a formar nitrogen molecular i aigua i amb el metà per a donar diòxid de carboni i aigua; de forma que, a poc a poc, les atmosferes d'aquests planetes passarien d'una barreja d'aigua, metà i amoníac a una de diòxid de carboni, nitrogen i aigua.
5. Quan s'investiga l'origen de la vida, un medi ambient constituït per vapor d'aigua metà i amoníac hauria estat ideals per a la síntesi química de les molècules biològiques, com demostren els experiments de laboratori, mentre que les simulacions amb barreges no reductores (nitrogen, diòxid de carboni i vapor d'aigua) mostren un clar descens en el rendiment de les molècules orgàniques essencials per a la vida

La "atmosfera no reductora" sembla ser una teoria més versemblant a la vista de noves dades aportats per l'observació dels gasos volcànics i la termodinàmica. En la proposta d'atmosfera reductora no es va tenir en compte una dada molt important, la temperatura.

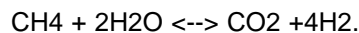
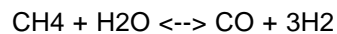
Actualment la temperatura de la base de l'escorça terrestre és d'uns 500°C, però durant la diferenciació, les temperatures eren molt superiors a les actuals. És estable la barreja amoníac, aigua i metà a temperatures tan elevades? La resposta és que no.

A mitjan segle XX es va considerar que l'atmosfera primitiva deuria tenir una composició similar a la dels gasos volcànics actuals, amb vapor d'aigua, diòxid de carboni i nitrogen molecular com components majoritaris. Aquesta hipòtesi es va comprovar a l'observar que la proporció entre ferro fèrric i ferros en els volcans més antics és la mateixa que en els actuals, després els gasos que expulsen els volcans (que estan en equilibri químic amb el mantell) van deure ser els mateixos en la Terra primitiva que en l'actualitat. Els gasos volcànics indiquen que aquesta barreja és la més probable en les condicions de pressió i temperatura de l'interior terrestre. A més, a temperatures superiors a 194°C l'amoníac es transforma en nitrogen molecular i hidrogen

Reaccions de descomposició de l'amoníac



En el cas del carboni, les coses són semblants. El metà és inestable i a temperatures elevades reacciona amb el vapor d'aigua i es forma hidrogen molecular i diòxid o bé monòxid de carboni



En els gasos volcànics actuals el carboni es troba en forma de diòxid, encara que una fracció del mateix pot accedir a l'exterior en forma de monòxid.

Una vegada formades, les atmosferes de Venus i Mart no han experimentat grans transformacions, mentre que l'atmosfera de la Terra es va transformar completament com a conseqüència de la vida.

Sembla evident que la Terra primitiva tingués una atmosfera amb diòxid de carboni, nitrogen i vapor d'aigua. El que resulta difícil d'avaluar és la proporció d'aquests gasos i la pressió que els mateixos exercien sobre la superfície. El nitrogen és molt estable i se suposa que ha estat en l'atmosfera de forma indefinida i en quantitat similar a l'actual. En canvi el diòxid de carboni ha desaparegut pràcticament. Es pensa que la quantitat inicial de diòxid va deure ser molt elevada, ja que el Sol primitiu proporcionava molt poca energia i va deure ser necessària aquesta quantitat de diòxid, perquè pogués existir un efecte hivernacle capaç d'eleva la temperatura del planeta per sobre del punt de congelació de l'aigua. La millor prova de la seva existència la tenim en els grans dipòsits de carbonats que es troben sobre l'escorça terrestre i que avui sabem que són d'origen orgànic i relacionats amb l'activitat fotosintètica. La quantitat de diòxid de carboni en l'atmosfera primitiva va deure ocasionar una pressió superior a les 21 atmosferes, és a dir unes vint vegades superior a la pressió atmosfèrica normal al nivell del mar. S'ha estimat que si tot el carboni emmagatzemat en la Terra en forma de carbonats, tornés a l'atmosfera, s'arribarien a pressions de diòxid de carboni de fins a 60 atmosferes.

Una vegada que l'atmosfera de la Terra es va saturar en vapor d'aigua, el vapor va començar a condensar-se formant les primeres tolles i llacs. No se sap amb exactitud quan es van formar els primers oceans, però durant els primers 600 o 700 milions d'anys no van poder ser estables, ja que alguns dels xocs amb meteorits haurien volatilitzat part de l'aigua de la Terra. Les roques més antigues que es coneixen ens permeten afirmar que fa 3.800 milions d'anys ja existien corrents d'aigua superficial i a partir d'aquest moment ja es pot parlar d'una hidrosfera estable.

Com s'originà la vida sobre la Terra?

Fins a mitjans del segle XIX es creia que la vida sorgiria per generació espontània a partir d'una matèria biològica que era sustentada per l'anomenada "força vital". La síntesi de les primeres molècules orgàniques va fer que comencessin a canviar aquests punts de vista. La teoria de l'evolució va obligar a renovar les idees sobre el món orgànic i es va obrir la possibilitat de plantejar una teoria racional sobre l'origen de la vida. El mateix Darwin va imaginar la vida sorgint d'un toll calent, però no és d'estranyar que no es presentés cap teoria científica sobre l'origen de la vida fins als treballs de Alexander Oparin en 1923. Per a Oparin, els oceans representaven el que s'ha vingut a cridar la "sopa primordial", un món ple d'aminoàcids i altres compostos orgànics que reaccionaven entre si per a donar lloc a molècules més complexes. Miller, en 1953, va realitzar un experiment que durant molt temps s'ha considerat la demostració de les idees de Oparin. Aquestes idees i l'experiment estaven basats en la "sopa primordial", que en l'actualitat s'ha demostrat que no va existir o que no era possible en unes condicions atmosfèriques com les quals ara es proposen.

El mar obert no era el lloc més adequat per a la formació de les molècules biològiques. Això ha dut a buscar nous ambients, com les fonts hidrotermals, riques en substàncies reduïdes i on existeixen minerals molt actius, del tipus de les argiles, capaces de catalitzar la síntesi de biomolècules. Els minerals argilosos són bons absorbents de l'aigua i facilitarien la formació de polímers al fer desplaçar la reacció cap a la seva formació. Existeixen a més minerals del tipus de les zeolites, que "poden dirigir", es a dir, catalitzar, determinades reaccions químiques.

El problema de l'origen de la vida no està avui en dia resolt. S'han pensat una llarga cadena de suposades reaccions prebiològiques, però hi ha pocs resultats experimentals satisfactoris. Sobre el lloc on es va poder originar tampoc es posen d'acord els científics. En el que sí, semblen estar d'acord en l'antiguitat de la vida.

Per a poder saber quan va començar la vida s'han buscat les seves restes en les roques de l'Arcaic. El que es busquen són formes microscòpiques esferoïdals o allargades que, d'alguna manera, ens recordin les cèl·lules actuals. Aquestes formes es troben amb relativa freqüència, però encara hi ha dubtes en assignar-los un paper biològic. De fet no contenen carboni, que seria un indicatiu acceptable, ja que els processos metamòrfics ho han destruït i el seu lloc ha estat ocupat per altres minerals o elements com el silici.

Possiblement els organismes més primitius s'alimentaven de molècules més senzilles de matèria orgànica dissoltes o en suspensió en l'aigua. Al proliferar i escassejar les fonts de matèria orgànica, començarien el procés de sintetitzar els seus propis aliments que conclourien en la fotosíntesi.

El fòssil més antic conegut està datat en més de 3.500 milions d'anys i ha estat trobat a Austràlia. La seva forma coincideix amb la dels cianobactèris actuals i com elles tindrien paret cel·lular i realitzarien la fotosíntesi, però si això fos cert, l'organisme ja posseiria una enorme complexitat que no sembla probable. Una altra de les proves més antigues que posen en evidència una activitat biològica són els estromatòlits; formacions macroscòpiques minerals, silícies o carbonatades, semiesfèriques i amb laminació concèntrica, en so originades per cianobactèris o algues verdblavoses. Els estromatòlits més antics tenen una edat de 3.500 milions d'anys

El problema inicial de la fotosíntesi és que es produeix oxigeno, i aquest era letal per a aquells primers organismes. La fotosíntesi representava una solució a un problema, però al mateix temps un perill per a molts altres organismes o biomolècules. Però els organismes devien adaptar-se o "morir de fam" i alguns van desenvolupar sistemes d'autodefensa per a neutralitzar l'oxigen intracel·lular. L'oxigen extracel·lular s'anava neutralitzant a partir de les seves reaccions amb compostos reduïts o elements reductors. Al principi la vida mateixa controlava la concentració d'oxigen. Si un tipus de productor d'oxigen es desenvolupava a l'excés, la gran quantitat d'oxigen lliure provocava la mort de part de la població, quedant només els individus més resistents o aquells que habitessin prop de materials reduïts. Van passar molts milions d'anys per a donar el gran pas en l'evolució biològica: el desenvolupament del nucli cel·lular. Les cèl·lules eucariotes van aparèixer en el registre fòssil fa 1.400 milions

d'anys i la seva evolució posterior va desembocar en els organismes pluricel·lulars, els primers representants dels quals fòssils estan datats en uns 700 milions d'anys.

La vida, que s'havia desenvolupat en el mar, inundava des de cap a temps les zones poc profundes dels oceans i intentava conquerir la terra, però l'adaptació a la vida fora de l'aigua tampoc era fàcil.

En el mar, la vida estava protegida de la dessecació i la radiació ultraviolada i l'aigua era prou transparent per a permetre l'accés de la llum solar. La proliferació de la vida fora dels mars no depenia només de la formació de la capa d'ozó, ja que aquesta es forma relativament prompte. L'adaptació a terra ferma era molt més complicada. Els organismes havien de buscar el mitjà d'evitar la dessecació i mantenir la seva concentració salina. Devien desenvolupar nous sistemes per a absorbir oxigen i modificar també la seva manera de reproducció. Un llarg procés evolutiu que no va culminar fins fa uns 400 milions d'anys, època que la vida va aconseguir assentar-se en els continents.

L'evolució de l'atmosfera després de la vida

Venus, la Terra i Mart havien nascut d'una manera semblant i aprecia que anaven a tenir destinacions paral·leles, no obstant això la vida anava a canviar per complet la història de la Terra. La capacitat d'interacció dels éssers vius amb el medi ambient, va dur a una transformació química total de la seva superfície, l'atmosfera, la hidrosfera i fins i tot la litosfera.

Els canvis més importants van començar amb els primers organismes fotosintètics. Amb el temps la major part del diòxid de carboni atmosfèric es va transformar en compostos de carboni, que quedaven enterrats i allunyats dels organismes vius. Simultàniament s'anava generant l'oxigen que ha arribat a ser un component majoritari de la nostra atmosfera.

La variació d'aquesta composició atmosfèrica va provocar també l'alteració de les roques superficials i la neutralització química dels oceans. La densa atmosfera de diòxid de carboni va ser reemplaçada per una molt més tènue que dona al nostre planeta el seu color blau.

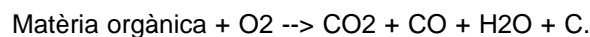
La taula següent mostra l'evolució de l'oxigen en l'atmosfera en relació amb el fet evolutiu que marca la necessitat d'oxigen:

Temps en milions d'anys	Fet evolutiu que determina la necessitat d'oxigen	Oxigen atmosfèric
3.800	Formes biològiques ancestrals. Formacions de ferro bandejat	nul
2.000	Metabolisme d'oxidació. Primeres capes vermelles	1 % de l'actual Pantalla d'ozó
700-670	Éssers multicel·lulars	6 a 7 % de l'actual
600-550	Esquelets externs	10 % de l'actual
400	Plantes terrestres	100 % de l'actual

Per a explicar el baix nivell inicial d'oxigen atmosfèric, s'ha d'acceptar l'existència d'albellons capaços d'absorbir l'oxigen que anava generant la vida. Se suposa que en els primers 1.500 milions d'anys posteriors a la fotosíntesi, la major part de l'oxigen es va invertir en oxidar els materials superficials. Com en aquest període la vida estava reclosa en els oceans, l'oxigen alliberat reaccionaria amb els compostos reduïts que es trobaven dissolts, per a formar òxids i hidròxids, generalment insolubles i que acaben per precipitar deixant l'oxigen enterrat i fora de circulació. Quan l'oxigen va començar a augmentar i escapar-se a l'atmosfera, seria arrossegat per l'aigua de pluja i oxidaria els materials rocosos superficials. La intensa activitat volcànica proporcionava a la litosfera superficial molts materials reduïts. Els gasos sulfurosos es transformaven en sulfats i els compostos de ferro ferros produïen ferro fèrric. La primera mostra d'oxidació de ferro es troba en roques de 3.800 anys d'antiguitat. Aquests processos d'oxidació mineral van ser els millors aliats de l'evolució biològica, ja que permetien l'evacuació de l'oxigen dels ecosistemes i van permetre un desenvolupament de sistemes de protecció per als éssers vius.

El ferro és un element molt abundant i el seu estat d'oxidació és un bon indicador geoquímic que ens mostra l'ambient de formació dels minerals que ho contenen. Els compostos de ferro són bastant insolubles, però poden ser arrossegats juntament amb els materials argilencs i acaben incorporats als sediments, que adquireixen una coloració groc ocre o rogenca característica.

La concentració d'oxigen en l'atmosfera va ser augmentant a mesura disminuint la quantitat d'elements reductors en la superfície de la Terra, fins que, fa uns quatre-cents milions va començar a estabilitzar-se en la concentració actual. S'ha intentat donar una explicació a aquesta estabilitat mitjançant el foc. En els éssers heteròtrofs les combustions són el sistema utilitzat per obtenir energia. També hi ha processos de combustió no biològics, com la degradació del metà en l'atmosfera, però també existeix un procés més ràpid i espectacular que és el foc. En un incendi forestal, el foc consumeix una gran quantitat d'oxigen i es desprèn diòxid de carboni i monòxid de carboni.



En l'atmosfera el monòxid té una vida molt curta, ja que es difon i reacciona ràpidament amb l'oxigen de l'aire, mentre que les partícules de carboni es diposita en el sòl (partícules negres del fum)

Actualment es veuen aquestes combustions com processos naturals de regulació de l'oxigen de l'atmosfera. Per sota d'una concentració d'oxigen del 15 %, gens cremaria; per sobre del 25 % la combustió és instantània. Basta un raig o l'electricitat estàtica en un terreny sec i calent, perquè pugui desencadenar-se un incendi forestal. Molts arbres s'han adaptat a aquest procés i fins i tot els cal utilitzen el foc com estratègia evolutiva, ja que hi ha espècies les llavors de les quals s'alliberen amb el foc.

Els organismes han utilitzat el carboni, inicialment atmosfèric, per a formar la seva matèria orgànica i les seves conquilles de carbonat, però quan moren, el carboni que contenen no torna íntegrament a l'atmosfera, sinó que parteix d'ell és alterat i dipositat al costat de la resta de sediments: Una part d'aquesta matèria orgànica es transforma en carbó, petroli o derivats i algunes conquilles acaben formant roques carbonatades. Avui, després de 4.000 milions d'anys d'evolució biològica, els éssers vius han fet descendir les concentracions de diòxid de carboni fins als nivells actuals. Actualment, gairebé tot el carboni de la Terra es troba retingut en l'escorça com matèria orgànica sedimentària o carbonats, i el poc carboni que queda en l'atmosfera és el resultat del metamorfisme i vulcanisme actual i de l'oxidació de la matèria orgànica, incloses les combustions d'origen antròpic.

Resum, traducció i adaptació de:
LA HISTORIA DE LA TIERRA (Un estudio global de la materia)
M^a Jesús Mediavilla Pérez
Editorial McGraw Hill Madrid 1999