

Elements d'Astrobiología

Rosa M. Ros, Beatriz García, Alex Costa, Florian Seitz, Ana Villaescusa, Madeleine Rojas, Juan Ángel Vaquerizo

International Astronomical Union, Technical University of Catalonia, Spain, ITeDA and National Technological University, Argentina, Escola Secundária de Faro, Portugal, Heidelberg Astronomy House, Germany, Diverciencia, Spain, SENACYT, Panama, Center for Astrobiology (CAB, CSIC-INTA), Spain.

Resum

Aquest taller es divideix essencialment en dues parts. Els elements necessaris per a la vida i després es fa un estudi succint de la taula periòdica atesos els objectius d'aquest treball i s'introdueixen alguns elements d'astrobiologia

Objectius

- Comprendre on sorgeixen els diferents elements de la taula periòdica
- Comprendre les condicions d'habitabilitat necessàries per al desenvolupament de la vida
- Manejar les directrius mínimes de la vida fora de la terra.

Formació de sistemes planetaris

En el procés de formació i naixement d'una estrella es constitueix alhora el seu sistema planetari amb les restes de material d'àmbit pròxim a l'estrella.

De la mateixa forma que podem conèixer a composició de l'estrella considerada estudiant el seu espectre, s'usa espectroscòpia per a conèixer la atmosfera dels exoplanetes. Cada element químic, cada molècula, presenta un espectre determinat i únic.

Comparant els espectres de llum de les estrelles de sistemes exoplanetaris que, eventualment, travessin la atmosfera d'un dels seus exoplanetes, es pot saber la composició química d'aquesta (figures 1 i 2).

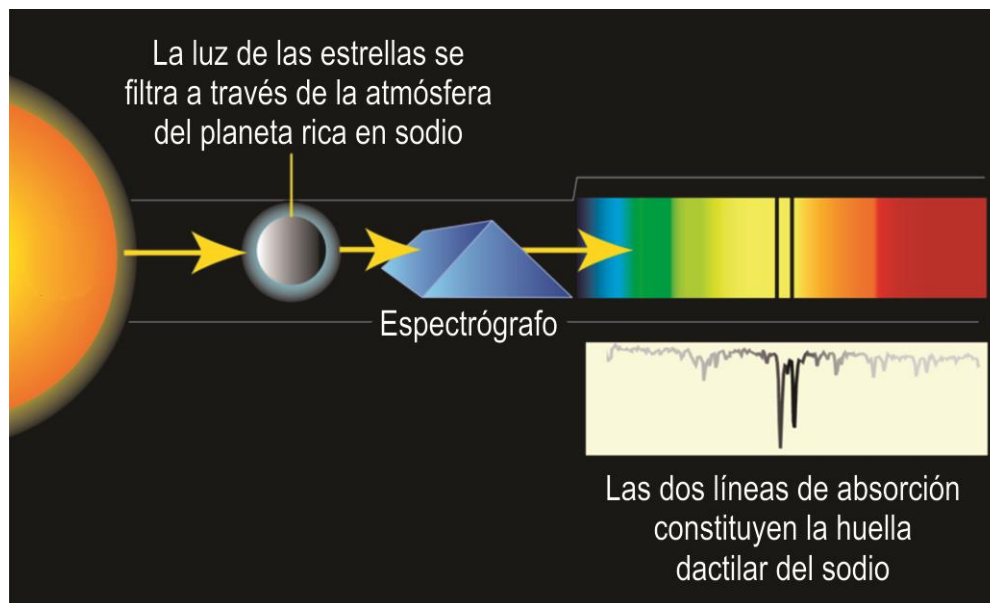


Fig. 1: Espectroscòpia aplicada a l'estudi de l'atmosfera del planeta HD 209458b, amb la detecció de sodi en la seva atmosfera. Font: Wikipedia/ A. Feild (STSci)

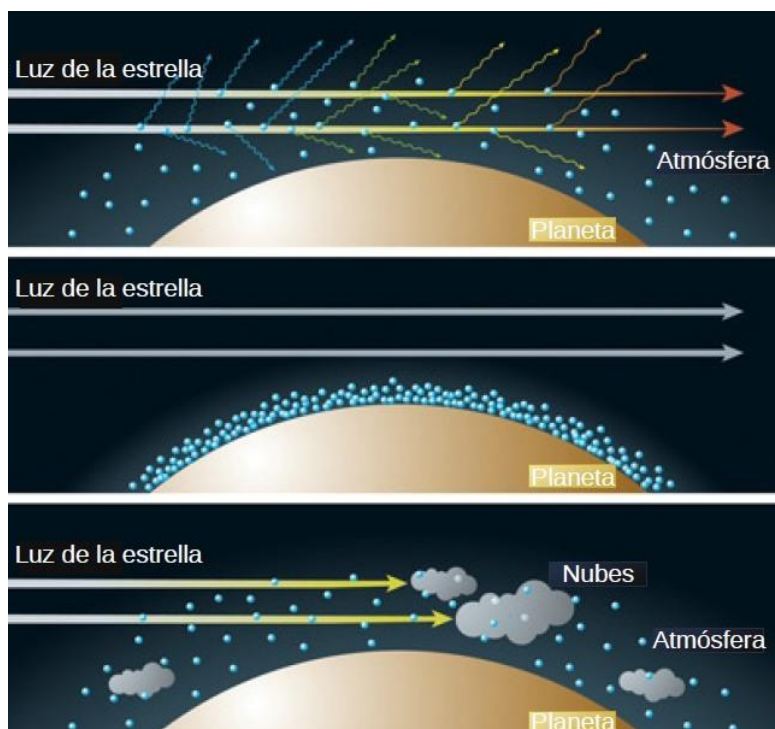


Fig 2: Com sabem si hi ha aigua com fins i tot molècules orgàniques? Cada element químic, cada molècula, presenta un espectre determinat i únic. Comparant els espectres de llum de les estrelles de sistemes exoplanetaris que, eventualment, travessin la atmosfera d'un dels seus exoplanetes, es pot saber la composició química d'aquesta.

Però vegem un exemple de formació de sistema planetaris usant un mètode per a involucrar als participants en un model actiu.

Activitat 1: Formació d'un Sistema Planetari a partir de gas i pols

La temàtica d'aquesta activitat consisteix a explicar la formació del Sistema Solar o de qualsevol sistema planetari segons la hipòtesi Nebular de Kant.

La dinàmica consisteix a dividir el grup en dos subgrups que a simple vista siguin fàcils d'identificar. Per exemple: el grup de les noies i el grup dels nois. (Es poden prendre altres criteris, però aquest generalment és senzill). Cada grup té un rol, les Noies poden ser el gas i els Nois la pols (o viceversa). Si hi ha una diferència substancial en la quantitat de participants d'un grup i un altre, es recomana que el grup que representa al gas sigui el que contingui més quantitat de participants, ja que en un sistema planetari en formació la massa del gas és 100 vegades la massa de la pols.

Els participants a mesura que van escoltant el relat van fent una dinàmica d'actuació sobre el que escolten, per exemple:

Text del relat:	Actuació dels participants:
Hi havia una vegada un núvol de molt de gas i una mica menys de pols.	Tots estan barrejats en un núvol. Hi ha major quantitat de participants que representen al gas. En el núvol s'agarren de les mans tots els participants de manera aleatòria, formant com una xarxa.
Lavors el gas va començar a ajuntar-se en el centre del núvol i al seu voltant la pols.	Comencen a separar-se. Els participants que representen al gas s'acumulen en el centre i els que representen a la pols s'agarren de les mans al voltant dels altres.
Hi havia molt de moviment, les partícules de gas atreïen gas i les partícules de pols atreïen pols.	Comencen a girar, moure's, xocar, vibrar, saltar. Alguns surten disparats com a resultat de tant de moviment i altres "rescaten", atrapen, abracen a aquestes partícules ajuntant-se per identificació (gas amb gas i pols amb pols)
En el centre es va formar un nucli opac dens envoltat d'un disc de pols i gas.	Els del centre (gas) s'acumulen i al seu voltant es prenen de la mà els participants que representen a la pols en espècie d'un cercle. Aclariment: no tot el gas aquesta en el centre, hi ha gas allunyat, fora del cercle.
Aquest nucli és el que finalment donaria origen al Sol o a l'estrella mare d'un sistema extrasolar.	El Sol o l'estrella amfitriona comença a brillar pel que els seus raigs han de sortir disparats cap a totes les direccions. Aclariment: Al moment que el Sol o l'estrella amfitriona comença a brillar el gas "solt" comença a allunyar-se.
Alguns planetes petits es van formar per la unió de grans de pols cada vegada més i més gran, després roques i així fins que es van fer planetes terrestres.	Comencen a agrupar-se els participants que representen la pols que forma els planetes terrestres. Aclariment: no tota la pols es queda en els planetes terrestres, ha d'haver-hi una mica de pols a les regions més allunyades.

<p>Els planetes gegants es van formar lluny de la calor del Sol o l'estrella amfitriona on el gas va poder reunir-se sense inconvenients.</p>	<p>La resta, els planetes gegants, comença a ajuntar-se: molt de gas i una mica de pols. Aclariment: La disminució de la temperatura producte de la major distància respecte al Sol o a l'estrella amfitriona va ser la causant de les diferències principals entre els planetes rocosos interns i els gegants externs.</p>
---	---

Taula 1: Història per a explicar la formació d'un sistema planetari



Fig. 3: Tots estan barrejats en un núvol. Hi ha major quantitat de participants que representen al gas. En el núvol s'agarren de les mans tots els participants de manera aleatòria, formant com una xarxa



Fig. 4: Comencen a separar-se. Els participants que representen al gas s'acumulen en el centre i els que representen a la pols s'agarren de les mans al voltant dels altres

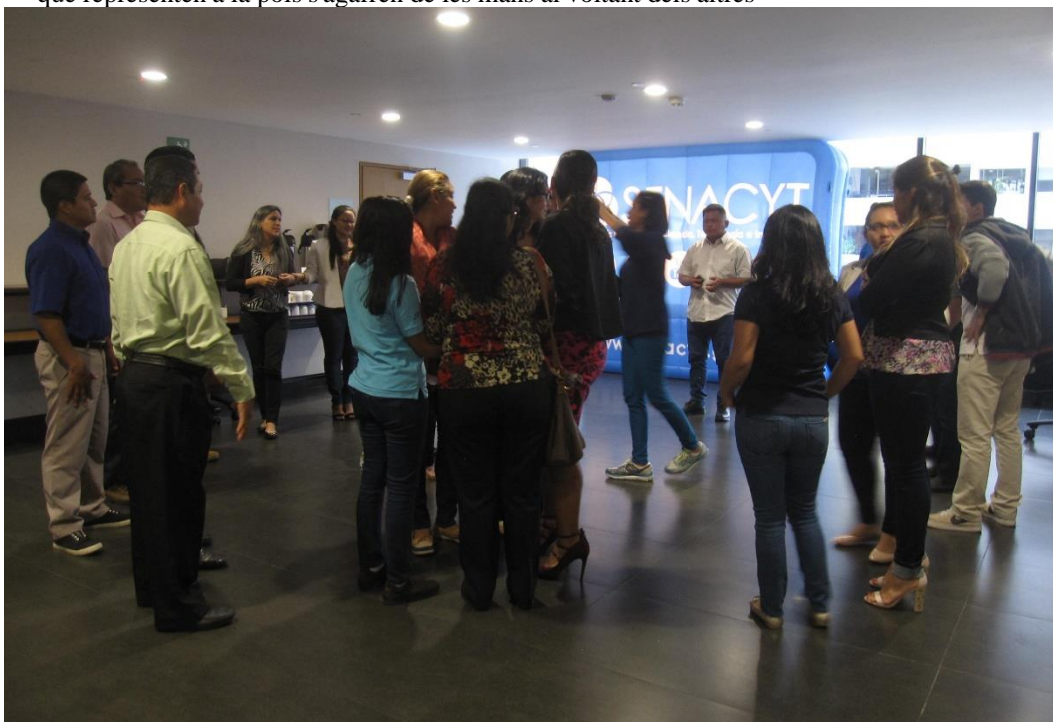


Fig. 5: Comencen a agrupar-se els participants que representen la pols que forma els planetes terrestres



Fig. 6: La resta, els planetes gegants, comença a ajuntar-se: molt de gas i una mica de pols.

Aspectes químics de l'evolució estel·lar

La taula periòdica ens permet adonar-nos de fins a quin punt tot el que som sorgeix a partir de l'evolució de les estrelles.

En la taula de la figura 3 es classifiquen els diferents elements segons.

- 1) Elements creats en els primers minuts després del Big bang. Inicialment l'Univers estava format essencialment per l'àtom més simple: l'àtom d'Hidrogen. Un curt temps després aquest dona lloc a elements una mica més elaborats com l'Heli, el Liti i el Beril·li.
- 2) Els elements que es formen en el nucli de les estrelles per nucleosíntesis ja són una mica més pesats com el Bor, Carbó, Nitrogen, Oxigeno, Fluor, Neó, Sodi, Magnesi, Alumini, Silici, Fòsfor, Sofre, Clor, Argó, Potassi, Calci, Sc, Titani, V, Crom, Manganès i Ferro.
- 3) Els elements més pesats que es formen en les grans explosions de supernoves són tots els altres. Alguns d'ells poden ser inestables i es poden produir en laboratori.
- 4) Els elements sintètics produïts per l'home en un laboratori i que no es troben en la naturalesa



Fig. 7: La taula periòdica des del punt de vista d'evolució estel·lar

Activitat 2: Classificació dels Elements de la taula periòdica

A continuació, és dona una llista d'objectes que caldrà classificar segons els tres nivells o en tres cistells:

1. Elements produïts en els primers minuts després del Big bang (Cistell blau)
2. Elements forjats dins dels estavells (Cistell groc)
3. Elements que apareixen en les explosions de supernoves (Cistell vermell)

Cal col·locar en cadascun dels tres cistells (blau, groc i rosa) cada objecte de la següent llista, segons la seva constitució:

Anell: Or Au	Broca de trepant recoberta amb: Titani Tu	Gas interior amb globus de nen: Heli He	Netejador de casseroles: Niquel Ni
Bateria de botó / mòbil: Liti Li	Bugies de cotxe: Platí Pt	Fil de coure elèctric: Cobri Cu	Solució de iode: Iode, I
Botella d'aigua H₂O: Hidrogeno H	Casserola antiga: Alumini Al	Mina de llapis negre: Carbó C	Sofre en agricultura: Sofre, S
Llauna de refresc: Alumini Al	Rellotge de nina de Titani Tu	Medalla: Plata Ag	Canonada: Plom Pb
Maquineta de Zinc: Zinc Zn	Clau vell oxidat: Ferro Fe	Termòmetre: Gal·li Ga	Caixa de llumins: Fosforo P

Taula 2: Objectes per a classificar

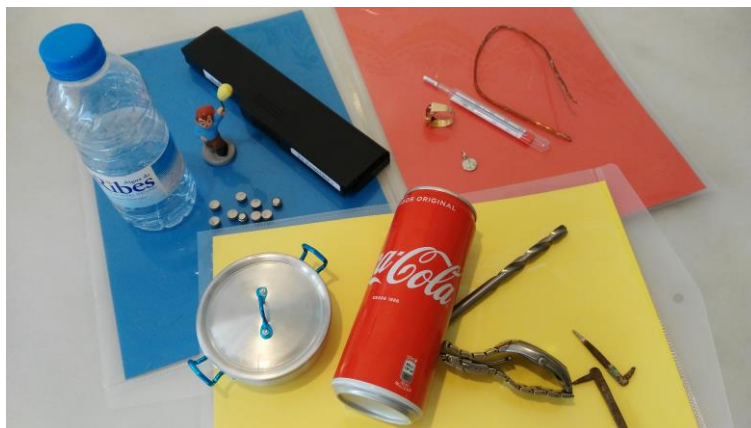


Fig. 8: Classificació correcta. En la zona blava: Bateria de mòbil: Liti, Botella d'aigua H₂O: Hidrogen, Gas de l'interior d'un globus de nen: Heli. En la zona groga: Llauna de Coca cola: Alumini Al, Broca de trepant recoberta amb: Titani Tu, Casserola antiga: Alumini Al, Rellotge de nina de Titani Tu., Clau vell oxidat: Ferro Fe, Mina de llapis negre: Carbó/Grafit C, Sofre en agricultura: Sofre, S, Caixa de Llumins: Fosforo. P. En la zona vermella: Fil de coure elèctric: Cobri Cu, Bugies de cotxe: Platí Pt, Anell: Or Au, Medalla: Plata Ag, Termòmetre: Gal·li, Ga, Maquineta de Zinc, Zn, Netejador de casseroles: Níquel Ni, Solució de Iode: Iode, I, Canonada, Plom, Pb.

Activitat 3: Fills de les estrelles

A continuació, s'inclou la llista bioelements presents en l'ésser humà ordenats segons la seva abundància:

- Elements abundants: oxigeno, carboni, hidrogen, nitrogen, calci, fòsfor, potassi, sofre, sodi, clor, ferro i magnesi
- Elements traça: fluor, zinc, coure, silici, vanadi, manganès, iode, níquel, molibdè, crom i cobalt

Els elements químics que es consideren essencials per a la vida són aquells que:

- La insuficiència de l'element provoca deficiències funcionals (reversibles quan torna a estar en les concentracions adequades).
- Quan l'organisme manca d'aquest element no creix ni completa el seu cicle vital
- L'element influeix directament en l'organisme i està involucrat en els seus processos metabòlics.
- L'efecte d'aquest element no pot ser reemplaçat per cap altre.

No tots els éssers vius tenen la mateixa proporció d'elements essencials. En la figura 6 es destaquen els elements essencials així com alguns que podrien ser reconeguts com a tals: liti, cadmi, arsènic i estany.

Comparant amb la taula periòdica de la figura 3 amb la figura 8, s'observa que “tots els elements majoritaris (excepte l'hidrogen)” s'han produït dins de les estrelles. Sense els elements més pesats creats gràcies a l'evolució estel·lar no podríem existir. Els que figuren solament com a traces, hi ha alguns que s'han format dins d'una estrella però uns altres en una

explosió de supernova, però els majoritaris tots sorgeixen de les reaccions de nucli síntesi dins del ventre de les estrelles: Som fills de les estrelles!

Element majoritari		Element traça										Essencialitat discutida					
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Taula 3: Taula periòdica d'elements essencials per a la vida

El Sol no es una estrella de primera generació

Les estrelles de primera generació estan constituïdes essencialment per hidrogeno i heli (que elles mateixes han generat). Les estrelles que presenten elements més elaborats signifiquen que el seu núvol inicial part de les restes de l'explosió d'una supernova i per això presenta alguns elements molt més evolucionats. Per exemple l'espectre solar té unes línies molt marcades de Sodi el que fa pensar, per la seva massa i estat d'evolució, que no pot ser una estrella de primera generació, aquest sodi no pot haver-se generat en el seu propi interior. A més en el sistema planetari es detecten multitud d'elements que sorgeixen després de l'explosió d'una supernova per la qual cosa cal pensar que possiblement el Sol de forma a partir d'un núvol inicial que corresponia a les restes almenys de dues explosions de supernoves. En conseqüència cal pensar que el sol és una estrella de tercera generació.

Vegem a continuació un parell d'exemples de figures d'espectres: l'espectre d'una estrella de primera generació on només s'aprecien les línies dels elements primigenis (figura 9). L'espectre solar amb les línies de sodi ja esmentades (figura 11).

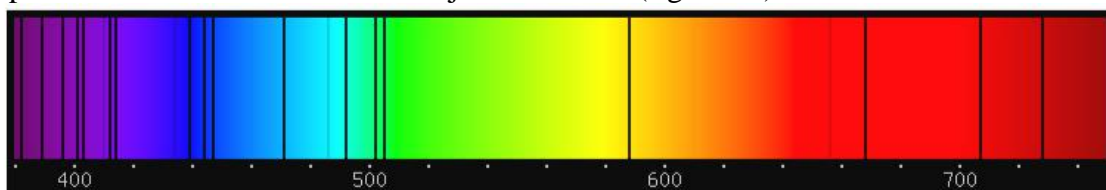


Fig. 9: Espectre de primera generació (impressió d'artista). Les estrelles de primera generació són predominantment desenes o centenars de vegades més massives que el sol. Van viure ràpid, van morir joves i no han sobreviscut fins als nostres dies. Només hi hauria línies de Hidrogeno, Heli i com a màxim Liti.

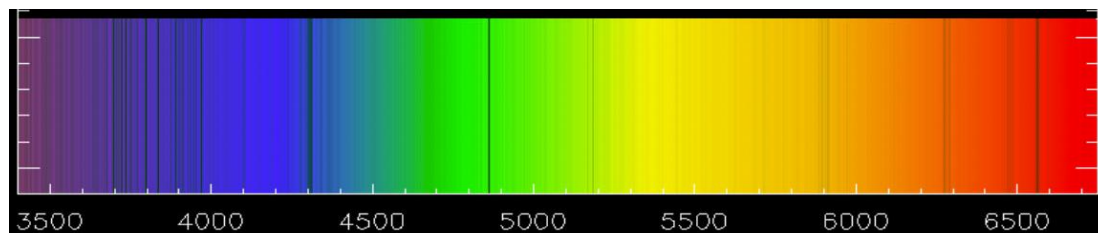


Fig. 10: Espectre de SMSS J031300.36-670839.3 estrella de segona generació que solament presenta línies d'hidrogeno i carbó.

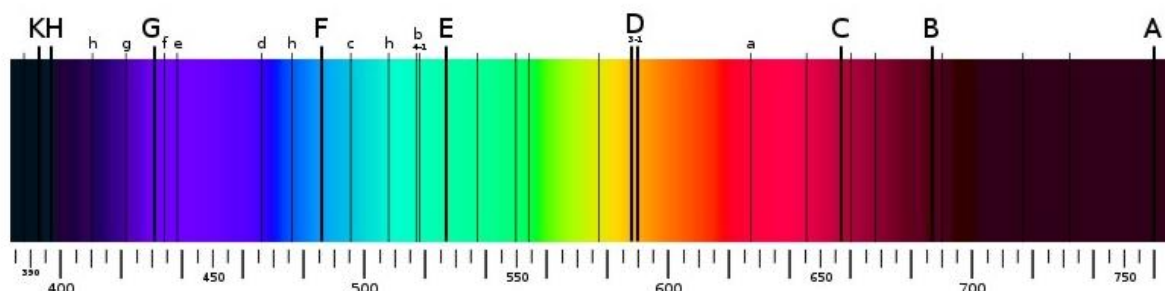


Fig. 10: Espectre de SMSS J031300.36-670839.3 estrella de segona generació que solament presenta línies d'hidrogeno i carbó.

Zona d'Habitabilitat

Quan parlem de vida se sol assumir que es tracta de formes de vida basades en el carboni i així es defineix un criteri central per a l'habitabilitat, que és la presència d'aigua líquida. Es denomina zona d'habitabilitat estel·lar a la regió al voltant d'una estrella en la qual el flux de radiació sobre la superfície de qualsevol planeta (o satèl·lit) rocós permetria la presència d'aigua en estat líquid. Sol donar-se en cossos de massa compresa entre 0,5 i 10 Mt i una pressió atmosfèrica superior a 6,1 mbar, corresponent al punt triple de l'aigua a una temperatura de 273,16 K (quan coexisteix aigua en forma de gel, líquid i vapor).

La zona d'habitabilitat depèn de la massa de l'estrella. Si augmenta la massa d'una estrella, la seva temperatura i lluentor augmenten i en conseqüència la zona d'habitabilitat és cada vegada més llunyana.

Que un planeta es trobi en la zona d'habitabilitat no implica que ha d'existir vida. Per exemple, en el nostre sistema solar la zona d'habitabilitat inclou els planetes Terra i Mart, però dels dos, en l'únic en la qual cosa es coneix vida és en la Terra. La zona d'habitabilitat per al sistema solar està compresa entre 0.84 UA i 1,67 UA. Venus està a 0.7 UA amb un efecte d'hivernacle descontrolat i en canvi Mart està a 1.5 UA sense l'existència d'aigua superficial, mentre s'espera l'existència d'aigua congelat subterrani.

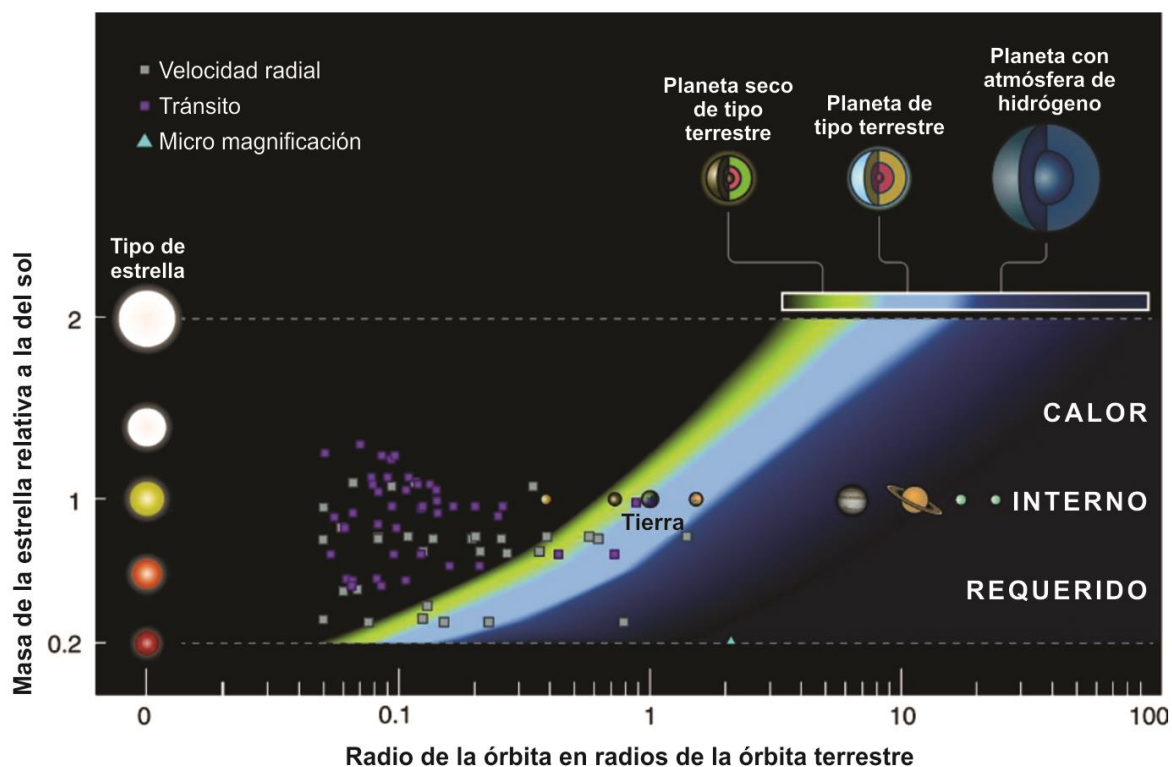


Fig. 12: Zona d'habitabilitat segons sigui l'estrella amfitriona

A més de l'existència d'aigua superficial líquida hi ha altres condicions per a l'habitabilitat d'un planeta. Vegem amb detall les més importants:

- Una distància orbital del planeta que el situï en la zona habitable és una condició necessària, però no suficient perquè un planeta sigui hospitalari per a la vida. Exemple: Venus i Mart.
- Un factor que influeix decisivament en l'habitabilitat és la massa del planeta. Aquesta ha de ser prou gran perquè la seva gravetat sigui capaç de retenir l'atmosfera. Això és el raó principal per la qual cosa Mart no és habitable en el present, com va perdre el major part de la seva atmosfera i tot l'aigua superficial, la qual cosa tenia en els seus primers mil milions d'anys.

De totes maneres pot ocórrer que encara que els planetes no estiguin en la zona d'habitabilitat, pot ser que en el seu interior es donin els factors necessaris per a l'existència d'alguna mena de vida, sigui en els planetes mateixos o en algunes de les seves llunes, com podria ser el cas d'algunes llunes de Júpiter o Saturn.

Activitat 4: Aigua líquida en Mart?

Les imatges obtingudes del planeta vermell mostren canons i conques fluvials que semblen haver estat produïts per l'aigua líquida en temps passats. Actualment no hi ha aigua líquida en la superfície de Mart, el vapor d'aigua representa només un 0,01% de l'atmosfera de Mart i existeixen enormes reserves de gel en el subsòl, sobretot en els dos casquets polars. Per què no hi ha aigua líquida? La raó consisteix en el fet que la pressió atmosfèrica marciana és molt debil (0,7% de la terrestre) i la temperatura també és molt baixa, amb un valor mitjà de 70 graus sota zero. Aquestes condicions ambientals fan que el cicle de l'aigua en Mart sigui diferent al de la Terra, de manera que no arriba a passar per l'estat líquid, sinó que passa directament d'estat sòlid a gasós i viceversa.

En aquesta activitat se simulen les condicions de baixa pressió en Mart per a mostrar com l'aigua no pot mantenir-se en estat líquid. S'utilitza una xeringa amb tap per a fer el mateix efecte manualment. Posem aigua calenta pròxima a bullir dins de xeringa. En tirar del embolo baixa la pressió i l'aigua comença a bullir i passa a vapor i a poc a poc desaparece. Per a simular la pressió marciana hauríem de tirar del embolo fins a 9 m.

Preliminars d'Astrobiologia: El procés de la formació de la atmosfera terrestre

El coneixement de la fotosíntesi és essencial per a entendre les relacions dels éssers vius i l'atmosfera, i per a entendre el balanç de la vida sobre la terra, donat el profund impacte que té sobre l'atmosfera i el clima terrestres.

La fotosíntesi és un procés físic-químic pel qual plantes, algues i uns certs bacteris fotosintètics utilitzen l'energia de la llum solar per a sintetitzar compostos orgànics. Es tracta d'un procés fonamental per a la vida sobre la terra i té un profund impacte sobre l'atmosfera i el clima terrestres: cada any els organismes amb capacitat fotosintètica converteixen en carbohidrats més del 10% del diòxid de carboni atmosfèric. Això és, que l'augment de la concentració de diòxid de carboni atmosfèric generat per l'activitat humana, té un gran impacte sobre la fotosíntesi. Des del punt de vista evolutiu, l'aparició de la fotosíntesi oxigènica (que produeix oxigeno) va suposar una veritable revolució per a la vida sobre la terra: va canviar l'atmosfera terrestre enriquint-la, fet que va possibilitar l'aparició d'organismes que utilitzen l'oxigen per a viure.

Fotosíntesi Oxigènica	Fotosíntesi Anoxigènica
$H_2O \rightarrow 2 H^+ + 2 e^- + 1/2 O_2$	$H_2S \rightarrow 2 H^+ + 2 e^- + S$

Fig. 13: Fotosíntesi oxigènica i anoxigènica

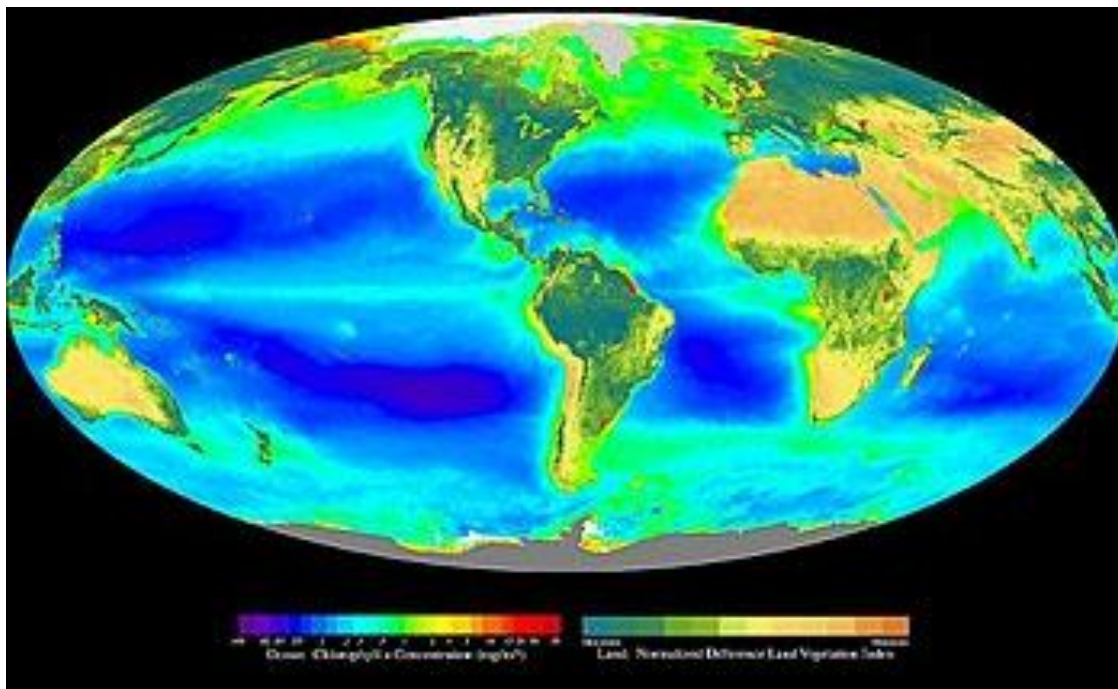


Fig. 14: Imatge que mostra la distribució de la fotosíntesi en el globus terrestre; mostrant tant la dada a terme pel fitoplàncton oceànic com per la vegetació terrestre.

Les coses no sempre van ser com nosaltres les coneixem; l'evolució de la terra, l'evolució de l'atmosfera primitiva, l'evolució dels metabolismes primitius, constitueix un entramat d'esdeveniments que condueix fins a uns bacteris fototrofas que utilitzen la llum com a font d'energia però alliberen sofre (anomenada fotosíntesi anoxigènica, no allibera oxigeno) .Posteriorment apareix en la Terra la fotosíntesi oxigènica que allibera oxigen a l'atmosfera, incrementant la seva concentració i possibilitant la gran explosió de la vida que coneixem ara. Es pot dir que atmosfera primitiva del nostre planeta a penes contenia traces d'oxigen. Però va haver-hi vida abans. I hi ha acord en què l'aire que respirem actualment, amb un 21% d'oxigen, és producte de l'activitat biològica de la terra i molt diferent a com degué ser l'atmosfera de la terra primitiva.

El procés de formació de matèria orgànica. Per què són verds les plantes?

La fotosíntesi o també anomenada funció clorofil·lica, consisteix en la conversió de matèria inorgànica a matèria orgànica gràcies a l'energia que aporta la llum. La vida en el nostre planeta es manté fonamentalment gràcies a la fotosíntesi que realitzen en el mitjà aquàtic les algues i alguns bacteris i en el mitjà terrestre les plantes, que tenen la capacitat de sintetitzar matèria orgànica (imprescindible per a la constitució dels éssers vius) partint de la llum i la matèria inorgànica. De fet, cada any els organismes fotosintetitzadors fixen en forma de matèria orgànica entorn de 100 000 milions de tones de carboni.

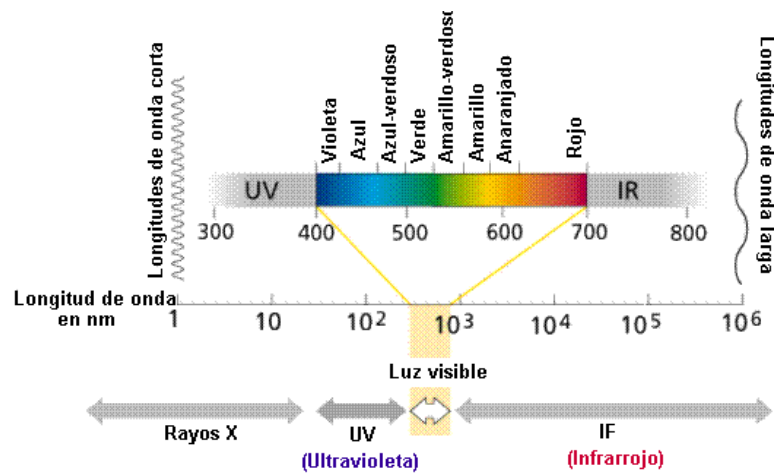


Fig. 15: L'espectre de llum. Ampliat es representa l'espectre de llum visible.

Els passos inicials de conversió d'energia lumínica en energia química depenen de molècules denominades pigments fotosintètics. El terme 'pigmento' és utilitzat per a descriure una molècula que posseeixen la capacitat de captar energia dels fotons (energitzant o excitant el nivell energètic d'electrons de la seva estructura atòmica, és a dir una molècula que es “excita amb la llum”). Tots els pigments biològics absorbeixen selectivament unes certes longituds d'ona de la llum mentre que reflecteixen unes altres.

La llum solar està composta de diferents colors; cadascun té una longitud d'ona diferent que oscil·la entre 400 i 700 nm. La clorofil·la absorbeix les longituds d'ona vermelles i blaves per a usar-les com a energia però no absorbeix el verd. El color verd rebota de la fulla i els nostres ulls la veuen verd.

Activitat 5: Producció d'oxigen a partir de CO₂ usant la fotosíntesi o funció clorofil·lica

En aquesta proposta experimental s'utilitzarem fulles d'una planta per a produir oxigeno gràcies al carboni del bicarbonat sòdic i la llum d'un llum. Utilitzarem 2 flascons de vidre transparent i sobre ells col·locarem paper de cel·lofana blava and vermell.

Les fulles vegetals verds han de ser fresques, consistents i ben verdes, per la qual cosa s'aconsella espinac o bleda. Amb ajuda d'un sacabocados o una perforadora de paper, tallarem discos de fulles uniformes (calcular tenir 10 discos per flascó, evitant les zones amb nervadures centrals).

Prepararem una solució al 25% de bicarbonat de sodi, és a dir 25 gr de bicarbonat per 1 litre d'aigua, amb l'objectiu d'impregnar els discos retallats de les fulles amb ella i aconseguir augmentar la quantitat de carboni disponible en forma de bicarbonat sòdic fent així més visible i més ràpid, el fenomen que desitgem observar. Col·loquem 20 ml de la solució de bicarbonat de sodi en cada flascó de vidre.

Traiem l'èmbol d'una xeringa d'un sol ús de 10 ml i situem els discos en el cos d'aquesta, després col·loquem suaument l'èmbol i succionem 10 ml de la solució de bicarbonat fins que els discos estiguin suspesos en la solució.

Hem de reemplaçar l'aire existent en els discos per la solució de bicarbonat. Per aconseguir això, obturar l'extrem de la xeringa amb un dit i succionar fortament, procurant fer el buit. En els espais interns del teixit vegetal es reemplaçarà aire per solució de bicarbonat: d'aquesta manera, els discos no suraran en la solució de bicarbonat, i la solució serà una font de carboni disponible i pròxim a les estructures fotosintètiques de la fulla.

Col·loquem els discos de fulla així tractats en cada flascó de vidre (que al seu torn contenen solució de bicarbonat al 25%). Cobrim amb un paper d'alumini un dels gots, i recobrim els altres flascons amb el paper de cel·lofana de colors. Sobre cada flascó (amb el paper cobrint-lo) ha d'instal·lar-se un llum, de manera que el feix de llum incideixi sobre la mostra a estudiar: totes a igual distància (és necessari disposar de fonts de llum individuals per a cada flascó, de la mateixa potència, no menor que 70w: poden ser fonts fluorescents, però es recomana l'ús de LED; evitar les incandescents, com les llum halògenes, perquè perden molta energia com a calor).



Fig. 16 i 17: La solució amb el llum amb paper vermell i amb paper blau

Quan encenem la llum, comencem a mesurar el temps amb un cronòmetre, la qual cosa s'ha de registrar és el temps per al qual els discos comencen a ascendir en la solució.

El procés no és immediat, pot demorar uns 5 minuts perquè els discos comencin a ascendir (depèn de la intensitat de les llums i la distància al fet que es col·loca el llum). Els discos comencen a surar en anar alliberant oxigen en forma de bombolles, que ajuden en l'ascensió. S'observarà que l'ascensió en cada flascó és en temps diferents, depenent del color del feix de llum: resulta més ràpid per a la llum blava. D'aquesta manera vam demostrar que la component d'alta energia de la radiació electromagnètica és la més eficient en el procés, la taxa fotosintètica està directament relacionada amb el temps per al qual els discos ascendeixen, fenomen vinculat amb la producció d'oxigen. La taxa fotosintètica és major per

al blau que per al vermell. Per tant amb aquest experiment estem demostrant com les plantes i altres organismes fotosintètics són responsables de l'existència d'Oxigen en la nostra atmosfera. La substitució de l'aire per la solució de bicarbonat, accelera el procés i ens permet visualitzar-lo en menor temps.



Fig. 18 i 19: La solució amb els llums de diferent color mostrant com ascendeixen els discos de manera diferent en cada cas

A més, amb el temps, la interacció de la radiació UV del Sol amb les molècules d'oxigen, van generar l'ozó (O₃), que ens protegeix de la radiació UV més energètica, però que deixa passar els UVA i UVB, sense els quals no podria haver continuat el procés fotosintètic en el nostre Planeta.

Variables alternatives a explorar: concentració de bicarbonat en la solució utilitzada, temperatura, fonts de llum de diferents colors i intensitats (mantenint la resta de les condicions constants i el control de foscó en tots els casos), fulles pre-exposades a llum o foscó, etc

Activitat 6: Comprovar la possibilitat de vida en condicions extremes

La fermentació alcohòlica és un procés anaeròbic realitzat pels llevats (fongs). Juntament amb els bacteris, el procés fermentatiu és la base per a l'obtenció d'energia en els microorganismes. Els llevats transformen el sucre (glucosa) en alcohol etílic o etanol, i diòxid de carboni. La fermentació és un procés de rendiment energètic baix, mentre que respirar és molt més rendible i més recent des del punt de vista evolutiu.

Així doncs, com el sucre es transforma en alcohol etílic i diòxid de carboni, basarem el nostre experiment en la presència d'aquest gas. Si s'observa la presència del mateix sabrem que hi ha hagut fermentació i per tant s'ha provat la possibilitat de vida.

Les experiències de microbiologia requereixen temps per a arribar a conclusions fiables, en el nostre cas, la presència o absència del diòxid de carboni ens permetrà saber si davant un canvi de condicions ambientals podem deduir que la vida és possible. En tots els casos del nostre experiment partim d'un cultiu en el qual l'aigua és present. Per a disposar del temps suficient

per a observar l'evolució de l'experiment, es prepara al principi del taller i es pot observar la situació dels 7 procediments diferents després d'una hora.

Per a això usarem 1 cullerada de llevat (utilitzar llevat per a fabricar pa que es pot adquirir en un supermercat), és un microorganisme viu fàcil d'aconseguir, 1 got d'aigua tèbia (una mica més de mig got entre 22° i 27 °C), 1 cullerada de sucre que puguin consumir els microorganismes considerats.

Usarem el mateix procedint en l'experiment de control i els altres experiments desenvolupats en condicions extremes.

Procediment en un experiment de control

En un got de vidre es dissol el sucre en l'aigua calenta. Després es col·loca el llevat i es dissol bé, amb ajuda d'una cullera. De seguida es col·loca la mescla obtinguda en una bosseta plàstica i es col·loca dins d'una bossa hermètica de les quals s'utilitzen en els supermercats extraient tot l'aire de l'interior abans (estenant-la sobre la taula i pressionat amb les mans esteses) de tancar-la. És important cuidar de no deixar gens d'aire dins de la bossa. Als 5 minuts hem d'observar com comença a acumular-se en la bossa el diòxid de carboni. Als 20 minutos han d'aparèixer bombolles a l'interior de la bossa pel despreniment d'aquest gas, un dels productes finals de la fermentació que es produeix a l'interior de la bossa. La presència d'aquest gas demostra que els microorganismes estan vius.



Fig. 20: L'experiment de control amb les bombolles de diòxid de carboni que mostren l'existència de vida

Procediment en un “planeta alcalí” (p. ex. NEPTÚ o Tità tots dos tenen presència d'amoníac): Repetir l'experiència utilitzant una base de la qual es disposi (bicarbonat sòdic, amoníac...) en l'aigua de cultiu i esperar per a veure si apareixen bombolles, és a dir si els microorganismes poden viure o no. Escalles de Ph **ALCALÍ**: Bicarbonat sòdic: Ph 8,4 i Amoníac casolà: Ph 11

Procediment en un “planeta salí” (p. ex. MART o Ganimedes es creu que té aigua amb concentració de sal). Repetir l'experiència dissolent diferents quantitats de clorur sòdic en l'aigua del cultiu (sal comuna)



Fig. 21 i 22: La solució alcalina i la solució salina ambdues amb bombolles

Procediment en un “planeta àcid” (p. ex. VENUS que té pluges d'àcid sulfúric): Repetir l'experiència dissolent vinagre, llimona...o qualsevol altre àcid del qual es disposi en l'aigua de cultiu. Escales de Ph ACIDIFICO: Vinagre: Ph 2,9 i Llimona: Ph 2,3

Procediment en un “planeta gelat” (p. ex. Europa o Trapist-1 h)

Col·locar la bossa en un recipient ple de gel i observar si hi ha activitat, és a dir si apareixen bombolles de CO₂. També utilitzar-se un congelador. Si no apareixen bombolles no hi ha vida



Fig. 23: La solució helada sin burbujas

Procediment en un “planeta amb UV” (p. ex. MART): Realitzar el mateix experiment però mantenint la borsa hermètica amb el llevat i sucre sota l'acció de la llum UV produïda per un llum especial per a això. Si el llum d'UV utilitzada és d'alta energia (UV-C) o (UV-B) no apareixeran bombolles la qual cosa significa que no hi ha vida possible. Però els llums comercialitzats, anomenades de “llum negra”, són de baixa energia ultra violeta (UV-A), és a dir que no són perilloses per a la vida i solen ser usades en jardineria pels bons resultats que donen a facilitar el creixement de les plantes. Usant aquest tipus de llums s'observa que es forma major nombre de bombolles. Si apareixen bombolles hi ha vida.

Procediment en un “planeta càlid” (p. ex. VENUS degut a aquest efecte hivernacle)

Realitzar el mateix experiment amb l'aigua molt calenta. Per al cas de Venus hem d'usar aigua bullent. (Si es disposa de termòmetre es pot repetir a diferents temperatures i treure una taula d'activitat a aquestes temperatures). Si apareixen bombolles hi ha vida.

Planetes i exoplanetes amb condicions extremes i semblants a les exposades en aquesta activitat

VENUS. Té una densa atmosfera, composta en la seva major part per diòxid de carboni i una petita quantitat de nitrogen. La pressió al nivell de la superfície és 90 vegades superior a la pressió atmosfèrica en la superfície terrestre. L'enorme quantitat de diòxid de carboni de l'atmosfera provoca un fort efecte d'hivernacle que **eleva la temperatura de la superfície del planeta fins prop de 464 °C a les regions menys elevades prop de l'equador.** Això fa que Venus sigui més calent que Mercuri, malgrat trobar-se a més del doble de la distància del Sol que aquest i de rebre només el 25% de la seva radiació solar. Els núvols estan composts principalment per gotes de diòxid de sofre i **àcid sulfúric**, i cobreixen el planeta per complet, ocultant la major part dels detalls de la superfície a l'observació externa.

MART. Sota la superfície gelada d'aquest món **desèrtic podria haver-hi aigua salada. Aquesta aigua podria ser la llar de formes de vida capaces de tolerar aquestes condicions tan extremes.** En el passat va ser un lloc molt diferent. Sabem que va poder semblar-se molt a la Terra. Va tenir oceans, volcans i una atmosfera tan densa com la nostra, rica en diòxid de carboni, però això no hagués estat un impediment per a la vida microbiana. **L'única cosa que li faltava al planeta vermell, i va provocar que acabés d'una manera tan diferent al nostre planeta, va ser un camp magnètic** que pogués retenir la seva atmosfera. A més, Mart és un planeta que rep en la seva superfície radiació ultraviolada (UV) solar amb una forta component biològicament molt perjudicial (UV-C i UV-B), la qual cosa influeix notòriament en la deterioració de la superfície en vistes de poder trobar algun signe de vida.

NEPTÚ. L'estructura interna de Neptú s'assembla a la d'Urà: un nucli rocós cobert per una crosta gelada, ocult sota una atmosfera gruixuda i espessa. Els dos terços interiors de Neptú es componen d'una mescla de roca fosa, aigua, amoníac líquid i metà. El terç exterior és una mescla de gas calent compost d'hidrogen, heli, aigua i metà. La seva atmosfera comprèn aproximadament 7% de la seva massa. A grans profunditats, l'atmosfera aconsegueix pressions d'aproximadament 100 000 vegades major que la de l'atmosfera de la Terra. **Les concentracions de metà, amoníac i aigua són creixents des de les regions exteriors cap a les regions inferiors de l'atmosfera.**

Ganimedes. Satèl·lit de Júpiter, està compost de silicats i gel, amb una escorça de gel que sura damunt d'un fangós mantell que pot contenir **una capa d'aigua líquida amb una alta concentració de sal.** Els primers sobrevols de Ganimedes de la nau Galileu van descobrir que el satèl·lit té la seva pròpia magnetosfera. Probablement es genera d'una manera similar a la magnetosfera de la Terra: és a dir, resulta del moviment de material conductiu en el seu interior.

Titan. Satèl·lit de Saturn. **Es creu que existeix també un oceà subterrani d'aigua i amoníac dissolt** en ell a una profunditat de 100 quilòmetres sota la superfície, i tal vegada un altre d'hidrocarburs. L'atmosfera està composta en un 94% de nitrogen i és l'única atmosfera rica en nitrogen en el Sistema Solar a part del nostre propi planeta, amb rastres significatius de diversos hidrocarburs que constitueixen la resta.

Europa satèl·lit de Júpiter té una superfície gelada un oceà subsuperficial d'aigua líquida. L'atmosfera que té és molt lleugera i composta d'oxigen. El gel s'assembla molt al qual existeix en els pols de la Terra, gel a la deriva. Europa té un nucli de metall i pedra envoltat d'un mantell rocós calent, sobre aquest un oceà profund d'aigua líquida amb una profunditat en discussió per als geòlegs d'entorn de 100 km i amb una superfície gelada de 10 km.

Activitat 7: Extracció d'ADN

L'extracció de l'ADN és una de les activitats científiques que es desenvolupen en diversos escenaris com són Riu Negre, l'Antàrtida o el Desert de *Atacama, entre altres, amb la finalitat d'estudiar sobre el terreny com evoluciona o s'adapta la vida i entendre com es va originar. En concret l'extracció de l'ADN, amb mitjans més sofisticats dels quals aquí s'exposaran, s'utilitza per a detectar la possible presència de vida en sòls d'on es prenen les mostres. A tall d'exemple, aquest tipus de procediments es consideressin en l'estudi del sòl marcià.

Les restes d'ADN permeten detectar l'existència de vida (actual o passada), i això s'usa per a buscar vida en l'espai.

La molècula d'ADN és molt llarga i aquesta compactada amb proteïnes (com un cabdell) dins de les cèl·lules. Per a extreure l'ADN cal procedir, en primer lloc, a trencar la cèl·lula i per a això es procedirà a preparar una solució “*trencagrasses”. Per a això es pren mig got d'aigua, una culleradeta de sal comuna (Clorur Sòdic), per a deixar anar les proteïnes i alliberar així l'ADN. Tres culleradetes de Bicarbonat de Sodi, per a mantenir constant el ph de la solució i que no es degradi l'ADN. Un raig de rentavaixella fins que l'aigua prengui el color d'aquest producte, per a poder trencar la membrana de les cèl·lules de caràcter gras. El detergent líquid conté Sulfat de Sodi, que destrueix els lípids de la membrana cel·lular i la nuclear. Cal barrejar els ingredients durant un parell de minuts per a donar temps al fet que la dissolució trenqui un numero elevat de membranes cel·lulars, i a més cal fer-ho sense escuma per a poder veure bé l'ADN al final.

Com l'ADN es troba en totes les cèl·lules dels éssers vius, en aquest experiment tractarem d'extreure l'ADN d'un “tomàquet” mitjançant un procediment senzill i usant ingredients accessibles. Per tant, en segon lloc preparem un suc de cèl·lules de “tomàquet”. Per a això extraurem un parell de cullerades de polpa del tomàquet i procedim a triturar-la amb una forquilla fins a obtenir un puré. Tirem la solució trencadora sobre aquest (doble de volum de solució que de puré de tomàquet) i per a trencar les cèl·lules agitem cuidant no fer escuma. Colem per a llevar els trossos grans. El contingut de dins les cèl·lules aquesta en el suc, cada celula conté una *molècula d'ADN, *asi en aquest suc aquesta l'ADN



Fig. 24: Fent visible l'ADN

Finalment, i en tercer lloc **cal fer visible l'ADN**. Quan hi ha molts brins d'ADN es veu com un núvol blanc (la sal li dona el color blanquinós). Afegir al suc alcohol etílic (val alcohol de farmaciola). L'alcohol ha d'afegir-se amb cura, inclinant el got i deixant relliscar l'alcohol per la part interna d'aquest, a poc a poc, sobre la mescla. L'alcohol ha de quedar per sobre de la mescla de tomàquet. Després d'uns pocs minuts entre el suc de tomàquet i l'alcohol s'aniran acumulant els brins d'ADN de les cèl·lules de tomàquet trencades, que es veuran com una estructura embullada blanquinosa. Aquesta estructura conté totes les molècules d'ADN extretes de les cèl·lules de tomàquet. Se li afegeix alcohol perquè l'ADN no és soluble en ell.

Activitat 8: Buscant una segona Terra

La Terra és l'únic planeta conegut que conté vida. Llavors, si estem buscant un planeta amb vida extraterrestre, és una bona opció buscar planetes que ofereixin condicions similars. Però quins paràmetres són importants?

La següent taula enumera alguns exoplanetes amb propietats. Descarteu els exoplanetes que no són adequats per a la vida i tal vegada trobeu una segona terra. Hi ha alguns criteris a considerar després de la taula 4.

Ràdio i massa

En el nostre Sistema Solar hi ha planetes terrestres (Mercuri, Venus, Terra, Mart) i planetes gegants (Júpiter, Saturn, Urà, Neptú). Els planetes terrestres similars a la Terra estan composts de roques de silicat i metalls i tenen una densitat més alta que els planetes gegants. Els bons indicadors per a una densitat adequada són el radi i la massa del planeta.

Utilitzant la definició de l'equip de la Missió Kepler: els planetes de la grandària de la Terra i de la grandària de la Terra tenen un radi inferior a 2 radis terrestres i 10 masses de Terra es consideren un límit superior per a planetes de grandària súper terrestre.

Nom de l'exoplaneta	Massa de l'exoplaneta en masses terrestres	Radi de l'exoplaneta en ràdios terrestres	Distància a l'estrella UA	Massa de l'estrella en masses solars	Tipus espectral de l'estrelles / temps superficial
Beta Pic b	4100	18,5	11,8	1,73	A6V
HD 209458 b	219,00	15,10	0,05	1,10	G0V
HR8799 b	2226	14,20	68,0	1,56	A5V
Kepler-452 b	desconegut	1,59	1,05	1,04	G2V
Kepler-78 b	1,69	1,20	0,01	0,81	G
Luyten b	2,19	desconegut	0,09	0,29	M3.5V
Tau Cet c	3,11	unknown	0,20	0,78	G8.5V
TOI 163 b	387	16,34	0,06	1,43	F
Trappist-1 b	0,86	1,09	0,01	0,08	M8
TW Hya d (yet unconfirmed)	4	desconegut	24	0,7	K8V
HD 10613 b	12,60	2,39	0,09	1,07	F5V
Kepler-138c	1,97	1,20	0,09	0,57	M1V
Kepler-62f	2,80	1,41	0,72	0,69	K2V
Proxima Centauri b	1,30	1,10	0,05	0,12	M5V
HD 10613 b	12,60	2,39	0,09	1,07	F5V

Taula 4: Candidates a segona Terra

Zona d'Habitabilitat

La zona habitable és el rang d'òrbites al voltant d'una estrella dins de la qual una superfície planetària pot suportar aigua líquida.

Les estrelles de seqüència principal en les quals ens estem centrant tenen una correlació directa entre la lluentor i la temperatura de la superfície de l'estrella. Com més calent és la temperatura de la superfície, més brillant és l'estrella i més lluny està la zona habitable. Els tipus espectrals indiquen la temperatura de la superfície (veure taula a continuació).

Tipus espectral	Temperatura K	Zona Habitable AU
O6V	41 000	450-900
B5V	15 400	20-40
A5V	8 200	2,6-5,2
F5V	6 400	1,3-2,5
G5V	5 800	0,7-1,4
K5V	4 400	0,3-0,5
M5V	3 200	0,07-0,15

Taula 5: Zona habitable dependent del tipus espectral

Els tipus espectrals es classifiquen amb una lletra (O, B, A, F, G, K, M) i se subdivideixen en un número del 0 al 9 (0 és el més calent en un tipus espectral dau). La V indica una seqüència principal estrella.

Suggeriment: useu els valors donats per a la zona habitable com a aproximació, si el tipus espectral d'una estrella és lleugerament diferent o es desconeix el subtipus.

Massa de l'Estrella amfitriona

Per a estudiar l'habitabilitat en un sistema planetari al voltant d'estrelles de seqüència principal, hem de tenir en compte l'evolució de l'estrella amfitriona.

Aproximadament mil milions d'anys després de la formació de la Terra, van ocórrer les primeres formes de vida. Tal vegada va haver-hi vida fins i tot abans, però això és incert. Per tant, l'estrella amfitriona ha de ser estable durant almenys més de 10⁹ anys perquè la vida evolucioni.

L'evolució i vida útil d'una estrella depèn principalment de la seva massa. L'energia que una estrella pot obtenir de la fusió d'hidrogen és proporcional a la seva massa. I s'obté el temps de seqüència principal dividint aquesta energia per la lluminositat de l'estrella. Usant aquestes proporcionalitats i usant el sol com a referència, a partir d'aquestes consideracions s'estima la vida d'una estrella en la seqüència principal com

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(L^*/L_s)$$

Per a estrelles normals nanes o de la seqüència principal del diagrama H-R, la lluminositat és proporcional a la massa elevada a la potència d'aproximadament 3.5.

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(M^{*3.5}/M_s^{3.5}) = (M^*/M_s)^{-2.5}$$

$$t^*/t_s = (M_s/M^*)^{2.5}$$

el que dona la vida útil d'una estrella com una fracció de la vida útil esperada del Sol (*10¹⁰ años). Una versió simplificada d'aquesta fórmula és:

$$t^* \sim 10^{10} \cdot (M_s/M^*)^{2.5} \quad \text{años}$$

Calculem un límit superior per a la massa de l'estrella si l'interval de temps de la seqüència principal ha de ser d'almenys 3 mil milions d'anys.

$$M^* = (10^{-10} t)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = (10^{-10} \cdot 3\,000\,000\,000)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = 1,6 M_s$$

Per a estrelles amb masses >2M la vida útil de la seqüència principal cau per sota d'1 any galàctic (temps a fer un volt al centre galàctic 250 milions d'anys) per tant, fins i tot si existeixen planetes habitables al seu voltant, la vida probablement no tindria temps suficient per a evolucionar.

Bibliografía

- Anderson, M. (2018) *Habitable Exoplanets: Red Dwarf Systems Like TRAPPIST-1*, ISBN 1980845026
- García Véscovi, E., Alvarez, C., Bercovich, B., Burdisso, P., Crotta Asis, A., Echarren, L., Espinoza Cara, A., Galles, C., Garavaglia, B., Lavatelli, A., Lazzaro, M., Lisa, N., Tomatis, P., Vitor Horen, L. (2018), *Libreciencias Taller Experimental para Docentes de Establecimientos Escolares de Nivel Secundario*, <http://librecienciaibr.blogspot.com.ar/>
- Goldsmith, D. (2018) *Exoplanets: Hidden Worlds and the Quest for Extraterrestrial Life*, Harvard University Press, ISBN 0674976908
- Haswell, C.A. (2010). *Transiting Exoplanets*. Cambridge Univ. Press. ISBN: 9780521139380.
- Prieto, J., Orozco, P., *Estudios de Astrobiología*, Actas Ciencia en Acción , Viladecans, 2018
- Perryman, M., (2018) *The Exoplanet Handbook*, 2nd edition, Cambridge Univ. Press. ISBN: 9781108419772
- Seager, S. (2011) *Exoplanets*, University of Arizona Press; ISBN 9780816529452
- Summers M, Trefil, J. (2018) *Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets, and the New Search for Life beyond Our Solar System* , Smithsonian Books; ISBN 1588346250
- Tasker, E. (2017) *The Planet Factory: Exoplanets and the Search for a Second Earth*, Bloomsbury Sigma, ISBN: 1472917723