



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Ciències

Memòria del Treball de Fi de Grau

Possibilitats per a la vida microbiana al planeta Mart.

Maria Amengual i Cifre

Grau de Biologia

Any acadèmic 2017-18

DNI de l'alumne: 41573322V

Treball tutelat per Balbina Nogales Fernández
Departament de Biologia

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Paraules clau del treball:
Mart, vida microbiana, quimiolitotròfia, halòfils.

Índex.

	Pàgines
Resum -----	3
Abstract -----	3
Introducció -----	4
Metodologia -----	9
Resultats i discussió -----	12
Conclusions -----	22
Agraïments -----	23
Bibliografia -----	24

Resum.

El planeta Mart o també anomenat planeta roig és el quart planeta per ordre de distància respecte al Sol i rep aquest nom degut a la gran quantitat de ferro que presenta el seu sòl. A més aquest planeta es caracteritza per presentar unes condicions extremes respecte als paràmetres essencials per a la vida microbiana. En concret s'ha mirat si els elements químics essencials per a la vida estan presents al sòl o a l'atmosfera d'una manera accessible pels possibles metabolismes que podrien presentar els microorganismes presents al planeta. Respecte als paràmetres físics s'han estudiat els més importants i s'han cercat condicions i metabolismes que permetin la resistència a aquests paràmetres. Per tant s'ha realitzat un estudi sobre els paràmetres i com es troben al planeta per tal d'arribar a la resposta a la pregunta: és possible la vida microbiana a Mart? Després de realitzar la recerca bibliogràfica i analitzar els resultats s'ha arribat a la conclusió que aquí a la Terra es coneixen metabolismes capaços de viure en les condicions existents a Mart, a part de que hi ha possibles solucions que farien que els microorganismes fossin capaços de suportar els paràmetres físics extrems del planeta. A més estudis recents de la NASA han confirmat la presència de matèria orgànica al planeta, però encara no se sap el seu origen. Per tant, després de tota la informació recopilada s'ha arribat a la conclusió de que la resposta a la pregunta seria afirmativa en certes condicions.

Abstract.

Mars or also called the red planet is the fourth planet in order of distance from the Sun and receives this name due to the large amount of iron that presents its soil. This planet is characterized by extreme conditions regarding to the essential parameters for microbial life. It has been looked if the essential chemical elements for life are present in the soil or the atmosphere in an accessible way for the possible metabolisms that microorganisms might

present in the planet. Regarding the physical parameters, the most important have been studied and conditions and metabolisms have been looked for to allow resistance to these parameters. A study has been carried out on these parameters and how they are on the planet to answer the question: is microbial life possible on Mars? After doing the bibliographic research and analyzing the results, it has been concluded that there are known metabolisms here in the Earth capable of living on Mars, apart from that there are possible solutions that would make microorganisms capable of supporting the extreme physical parameters of the planet. In addition, recent studies of NASA have confirmed the presence of organic matter on the planet, but the origin is still unknown. After all the information collected, it has been concluded that the answer to the question would be affirmative under certain conditions.

Introducció.

Mart és el quart planeta del Sistema Solar i presenta un color vermell característic (imatge 1) degut a la gran quantitat d'òxid de ferro (Fe_2O_3) que presenta el seu sòl, aquest color fa que també rebí el nom de planeta roig (Taylor, 2013).

Presenta una massa de $6,4169 \times 10^{23}$ kg, que representa una desena part de la massa de la Terra. A més és la mitat de gran que el nostre planeta amb un radi de 3.396,2 km respecte al radi del planeta blau (6.378,1 km). Al ser el quart planeta per ordre a partir del Sol fins a Plutó presenta una gravetat menor que la de la Terra. Respecte a les seves condicions ambientals són molt extremes degut a l'òrbita. L'òrbita de Mart és molt més àmplia que la de la Terra fent que segons el moment hi hagi una gran distància entre el planeta Mart i el Sol. Això es tradueix en unes temperatures extremadament fredes que poden arribar fins als -130°C . La temperatura mitjana que es pot trobar al planeta és de -55°C , amb unes màximes de 20°C (Moissl-Eichinger, Cockell and Rettberg, 2016). La distància a la Terra també varia segons al punt de l'òrbita en que es troba i pot oscil·lar entre 55,7 i 401 milions de quilòmetres. Al tenir

una òrbita més gran els seus anys són molt més llargs i són de 687 dies a diferència dels anys terrestres, que compten amb 365 dies (NASA).



Imatge 1. Mart. Imatge realitzada el 12 de Maig de 2016 amb el telescopi espacial Hubble. Es pot veure el color roig característic de la superfície així com alguns cràters (NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA), J. Bell (ASU), and M. Wolff (Space Science Institute)).

A part de la distància al Sol hi ha altres factors que afecten a les condicions que es poden trobar al planeta Mart, el més important és la presència d'una atmosfera amb una composició molt diferent de la que hi ha a la Terra (taula 1). L'atmosfera marciana està composta principalment per diòxid de carboni (CO_2) (96%) i presenta una molt baixa concentració d'oxigen en estat gasós (O_2) (0,145%). Aquesta falta d'oxigen en estat gasós implica que no hi hagi una capa d'ozó que protegeix la superfície de certes radiacions, fent que les atmosferes dels dos planetes difereixin considerablement (NASA).

Taula 1. Comparació de la composició de les atmosferes de la Terra i Mart (NASA).

Elements	Mart	Terra
Diòxid de Carboni (CO₂)	96 %	0,039 %
Argó (Ar)	1,93 %	0,93 %
Nitrogen (N₂)	1,89 %	78,09 %
Oxigen (O₂)	0,145 %	20,95 %
Monòxid de Carboni (CO)	<0,01 %	-

Com s'ha comentat anteriorment les temperatures que es poden trobar al planeta són extremadament fredes, per tant l'aigua es troba principalment amb forma de gel (Moissl-Eichinger, Cockell and Rettberg, 2016). Aquest fet és un factor molt important a tenir en compte, juntament amb la composició de l'atmosfera, quan s'estudia la possible vida microbiana a Mart.

Abans de parlar de vida a Mart s'haurien de definir quins elements o paràmetres són essencials per a la vida microbiana. En aquest cas el primer que s'ha considerat ha estat la presència d'aigua al planeta en alguna forma accessible pels microorganismes. El principal estat en que es troba l'aigua és amb forma de gel als casquets polars (Cockell *et al.*, 2012). Tot i així, a la superfície es poden veure relleus característics que només poden estar formats per corrents d'aigües. Això indica que en algun moment de la vida de Mart hi va haver aigua líquida a la zona superficial (West *et al.*, 2010). Però avui en dia a la superfície no s'ha trobat cap traça d'aigua en estat líquid. Tot i així diversos estudis han demostrat que sí que es pot trobar aigua líquida amb forma de corrents subterrànies (Stoker *et al.*, 2010). A més, aquesta aigua és extremadament salada, factor que implica un menor punt de congelació respecte a l'aigua dolça.

A part de l'aigua els altres factors considerats com essencials per a la vida han estat dividits en dos blocs. El primer està format pels elements químics que són necessaris per a la vida i el segon es correspon amb els paràmetres físics que permeten que hi hagi vida.

Al primer bloc s'han considerat com essencials els següents elements: carboni (C), oxigen (O), hidrogen (H), nitrogen (N), sofre (S) i fòsfor (P). Aquests elements es troben en diferents estats tant al sòl com a l'atmosfera del planeta Mart, per tant es pot considerar que no serien un impediment per la vida microbiana (Stoker *et al.*, 2010). Així com l'hidrogen, el nitrogen, el sofre i el fòsfor es poden trobar al sòl i serien fàcilment accessibles l'oxigen presenta certa dificultat per ser captat, ja que la presència a l'atmosfera és pràcticament nul·la, tot i així aquesta concentració és suficient per alguns microorganismes aeròbics (Rummel *et al.*, 2014). A més, també s'han trobat fonts alternatives d'oxigen com els perclorats, substàncies que es troben en una elevada concentració a les corrents d'aigua del planeta Mart (Kounaves *et al.*, 2014). Per tant podrien ser una font d'oxigen i d'energia gràcies a les reaccions oxidants biològiques (Myers and King, 2017). Respecte a la font de carboni al sòl de Mart sobretot es poden trobar molècules inorgàniques, però també molècules orgàniques, tot i així el principal metabolisme proposat per a la vida microbiana a Mart és la quimiolitotròfia (Rummel *et al.*, 2014).

Al segon bloc s'han estudiat quatre paràmetres físics: temperatura, salinitat, pH i radiació (Tarasashvili *et al.*, 2017). Aquests s'han considerat els quatre paràmetres més importants a nivell de condicionar la vida tal com la coneixem. Com s'ha mencionat anteriorment les temperatures són extremadament baixes però això no seria un problema pels microorganismes ja que alguns tenen la capacitat de sobreviure, de forma latent, a molt baixes temperatures i quan es presenten unes condicions més òptimes per continuar amb les funcions vitals (Schuerger, Ming and Golden, 2017). Respecte a la salinitat del planeta Mart cal

mencionar que és molt elevada, tant al sòl com a les corrents d'aigua salada mencionades anteriorment. La quantitat de sal que hi ha a l'aigua és major del 5% per tant els microorganismes capaços de viure en aquestes condicions haurien de ser halòfils (Litchfield, 1998). Per acabar cal tenir en compte el pH que es pot trobar al planeta. En aquest cas no és un problema ja que es troba entre 8 i 9, per tant és un pH alcalí (Moissl-Eichinger, Cockell and Rettberg, 2016), tot i així algunes àrees presenten un pH àcid de menys de 3,5 (Price *et al.*, 2018). Per acabar la radiació a la superfície del planeta és molt severa (NASA) i no permet la vida microbiana a la superfície, per això la possible vida microbiana a Mart hauria de ser subterrània (Schuerger, Golden and Ming, 2012).

Aquest treball presenta dues hipòtesis en contradicció ja que son les dues possibles respostes a la pregunta: és possible la vida microbiana a Mart? Per una banda hi ha la resposta negativa, que diria que la vida microbiana a Mart no és possible i per l'altra banda hi hauria la resposta afirmativa que declara el contrari. Per poder respondre a la pregunta i elegir una de les dues hipòtesis s'han hagut d'assolir una sèrie d'objectius. Aquests objectius són:

- Saber com és Mart i quines condicions es poden trobar.
- Estudiar els microorganismes presents als llocs anàlegs entre la Terra i Mart, per així saber quins metabolismes serien adequats.
- Cercar quins són els elements essencials per a la vida microbiana i veure si es poden trobar a Mart.

Després d'assolir aquests objectius s'ha acceptat una de les dues hipòtesis sobre la vida microbiana a Mart.

Metodologia.

La recerca bibliogràfica s'ha realitzat a partir de tres bases de dades: ScienceDirect (Elsevier B. V.), Scopus (Elsevier B. V.) i Web Of Science (Clarivate Analytics). Aquestes tres bases de dades han estat elegides perquè tenen un gran contingut d'articles científics com a font d'informació fidedigne i també perquè gràcies a la Universitat de les Illes Balears presenten molts articles d'accés obert. La principal base de dades utilitzada ha estat ScienceDirect, ja que era la que presentava més resultats. A més, els resultats obtinguts a Scopus i a Web Of Science eren molt similars, en canvi la tercera base de dades, ScienceDirect, donava més varietat.

Per poder seleccionar aquesta informació d'una manera idònia s'ha dividit el treball en tres parts. Els tres blocs són les principals pautes per a la recerca bibliogràfica. Aquests blocs es caracteritzen per ser les tres idees claus a partir de les quals s'ha escrit tot el treball. El primer bloc tracta sobre les condicions que es poden trobar a Mart, per exemple, tots els paràmetres característics del planeta i que són condicionants per a la vida, per tant es feia una cerca tan de les condicions que hi ha a nivell de clima, com la composició de l'atmosfera o del sòl, entre altres. El segon bloc es caracteritza per cercar zones anàlogues entre la Terra i Mart, per així tenir una idea de quins microorganismes i metabolismes serien els adequats per estudiar. A partir d'aquest segon bloc, es va fer una tercera part més específica de quins metabolismes i microorganismes serien capaços de viure a les condicions que es poden trobar al planeta Mart. Quan es va voler estudiar com haurien de ser els microorganismes presents al planeta es va veure que era necessària una última cerca sobre que és imprescindible per a la vida microbiana, tenint en compte tant les condicions presents al planeta com la disponibilitat de certs elements essencials per a la vida. Aquesta informació ja s'havia obtingut a la primera recerca.

La primera informació que es va obtenir, sobretot sobre les condicions que hi ha a Mart, va ser obtinguda a partir de la National Aeronautics and Space Administration (NASA). Després es va seguir el mètode explicat a continuació. Aquest mètode s'ha utilitzat a les tres bases de dades i per a les tres seccions en que s'ha dividit el treball. Primer es feia una tria de paraules clau (taula 2) i s'introduïen al cercador de la base de dades. Una vegada la base de dades donava els resultats es mirava la seva tendència d'una manera cronològica, per fer un anàlisi sobre com ha incrementat l'interès sobre el tema d'estudi.

Una vegada s'havien analitzat els resultats, s'aplicava un primer filtre amb els criteris de selecció de la base de dades. En concret els articles s'ordenaven per rellevància, es llegien els primers 100 articles i es seleccionaven segons el resum. Posteriorment s'ordenaven cronològicament, també es feia una llegida dels resums i es feia una elecció dels articles interessants. Per acabar es feia un darrer filtre només cercant les revisions d'articles ja que poden oferir un resultat comparat de diversos autors.

Taula 2. Paraules clau utilitzades per a la recerca bibliogràfica classificades segons el bloc.

Blocs	Paraules Clau
1. Com és Mart?	Mars conditions Mars stratosphere Mars radiation
2. Anàlegs de Mart a la Terra.	Mars analogue Río Tinto
3. Possibles metabolismes i microorganismes que es podrien trobar a Mart.	Mars microorganisms Mars metabolism Extremophiles
4. Altres cerques addicionals	Mars life Chlorobenzene Elements life

Els resums analitzats es llegien i s'hi cercaven les paraules clau utilitzades o algun paràmetre que es considerava útil. Per exemple, en el cas de les condicions de Mart si un resum presentava paraules com atmosfera, condicions, temperatura, pH, etc. es considerava útil pel treball. Quan un article era considerat interessant s'aconseguia l'article complet i es feia una primera llegida ràpida, amb un especial interès sobre la introducció i conclusions del treball. Quan s'havia fet aquesta primera llegida es decidia si realment l'article era útil o si no donava una informació rellevant pel treball. Després de fer aquesta darrera selecció es decidia si la informació obtinguda era suficient. En cas negatiu es tornava fer una cerca més concreta sobre els paràmetres que es creia que no havien estat suficientment investigats.

Una altra manera de trobar articles interessants va ser consultar la bibliografia citada a alguns articles d'especial interès. També es varen aconseguir articles a partir dels que s'havien obtingut, mirant quins articles més recents els havien citat. Aquest criteri es va utilitzar sobretot en alguns articles que eren d'anys anteriors a l'any 2000. D'aquesta manera la informació obtinguda als articles dels anys 90 era corroborada amb més bibliografia.

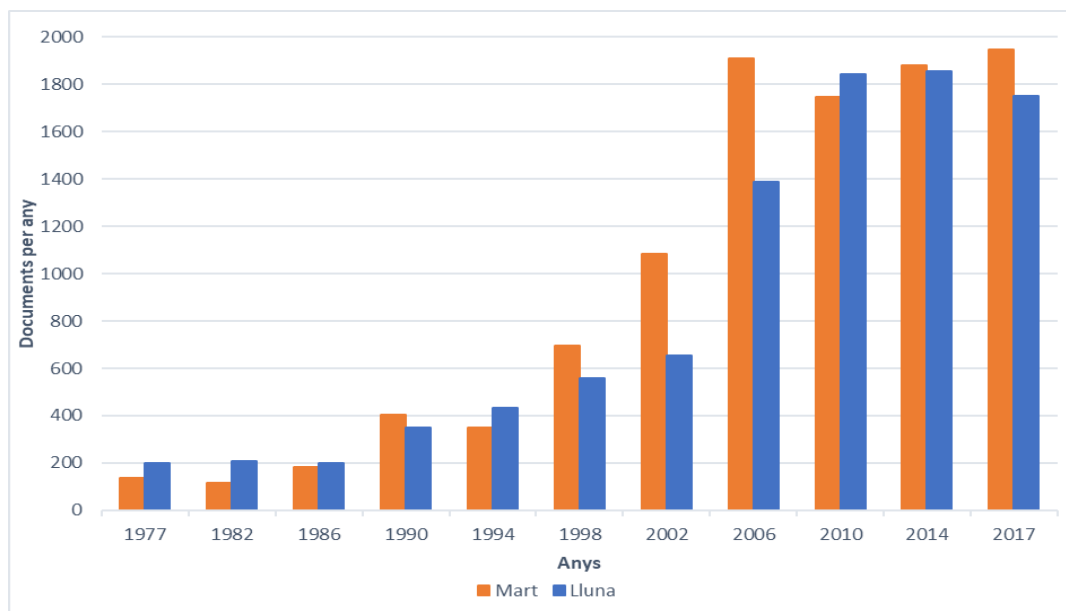
Aquest mètode de recerca es va utilitzar varies vegades quan es veia que no s'havia obtingut suficient informació o quan a partir d'algun article es trobaven paraules clau més idònies per a la cerca o que es pensava que donarien millors resultats.

Tota aquesta informació obtinguda de les bases de dades es va veure ampliada gràcies a les tutories i a la informació obtinguda de la tutora. Respecte a la informació bàsica sobre metabolismes o tipus de microorganismes es va utilitzar un llibre de microbiologia bàsica (Madigan, Martinko and Parker, 2014).

Resultats i discussió

Recerca bibliogràfica.

Després de realitzar la recerca bibliogràfica tal i com s'explica a la metodologia s'han obtingut 20 articles entre els quals es poden destacar revisions i articles de recerca sobre quines són les condicions que hi ha al planeta Mart, llocs anàlegs entre la Terra i Mart i possibles metabolismes que podrien estar presents en les condicions del planeta Mart. Els 20 articles mencionats anteriorment han estat complementats amb la informació obtinguda de la tutora fent un total de 23 articles utilitzats per realitzar el treball. Els principals resultats obtinguts de la recerca es poden veure a la taula 3. Com es pot veure la base de dades que proporciona més informació és ScienceDirect encara que no sempre és la més útil, per exemple del bloc 3 no es va poder aconseguir cap article per obtenir informació. A més, tot i que ScienceDirect proporciona una gran varietat d'articles la base de dades que ha subministrat una informació més enfocada al tema que es tracta és Scopus.



Gràfica 1. Resultats comparació Mart-Lluna. Nombre de documents per any sobre la Lluna i Mart desde l'any 1977 fins al 2017. No s'han utilitzat els resultats del 2018 perquè el nombre d'estudis que hi ha al mes de maig encara no és representatiu dels estudis realitzats aquest any.

A la vegada que es realitzava la recerca bibliogràfica també es va mirar quan va començar a sorgir informació sobre el planeta Mart. S'ha vist que el primer increment de informació sobre aquest tema comença a la dècada dels 90 i va augmentant fins avui en dia. Si mirem la gràfica 1 els articles sobre la Lluna han anat augmentant a la vegada que augmenten els de Mart. Però es pot veure que a partir de finals dels anys 90 en general hi ha més informació sobre Mart que sobre la Lluna. Això és degut a que a partir de l'any 2005 es va descobrir aigua amb forma de gel al planeta Mart (NASA) per tant es varen començar a realitzar més investigacions. La informació utilitzada per realitzar la gràfica de comparació s'ha extret de la base de dades Scopus (Elsevier B. V.), en concret s'ha utilitzat el nombre de documents sobre Mart i la Lluna classificats per anys. Per realitzar aquesta gràfica s'han introduït les paraules clau: Mars i Moon; ja que és una cerca general.

Taula 3. Resultats de les cerques per cada bloc i després de passar els diferents filtres. Cada filtre es correspon amb una lletra: A: resultats sense passar per cap filtre; B: articles després d'ordenar cronològicament i per rellevància, i llegir els resums dels primers 200 resultats; C: resultats després de llegir els resums; D: resultats després d'una llegida ràpida de la introducció i conclusions dels articles; E: articles que s'han llegit completament i s'han utilitzat pel treball. A la taula es poden veure els resultats obtinguts per una de les paraules clau més rellevants de cada bloc.

Bloc / Paraula clau	Bases de dades	A	B	C	D	E
Bloc 1. Mars conditions	Web Of Science	8.965	19	6	5	1
	ScienceDirect	52.016	26	8	4	3
	Scopus	6.052	22	9	3	2
Bloc 2. Mars analogue	Web Of Science	2.123	32	11	5	1
	ScienceDirect	10.596	49	17	4	3
	Scopus	1.776	30	13	4	2
Bloc 3. Mars microorganisms	Web Of Science	3.834	39	21	3	2
	ScienceDirect	9	1	0	0	0
	Scopus	656	21	12	6	4

Vida a Mart.

Segons Stoker *et al.* (2010) per a la vida a Mart són essencials una sèrie de factors, primer és necessària un font d'energia que pot ser lumínica o química i segon són necessaris una sèrie d'elements químics fonamentals perquè els microorganismes puguin tenir vida així com la coneixem a la Terra. A part d'aquests dos factors hi ha una sèrie de paràmetres físics que condicionaran i permetran la vida al planeta Mart, en aquest cas s'han tingut en compte: la temperatura, la radiació, la salinitat i el pH (Lammer *et al.*, 2009).

Taula 4. Comparació realitzada per a cada paràmetre estudiat entre el planeta Mart i les condicions necessàries per a la vida. Taula resum realitzada a partir dels articles de: Rummel *et al.*, 2014; Moissl-Eichinger, Cockell and Rettberg, 2016; Myers and King, 2017; Price *et al.*, 2018, NASA, Jakosky *et al.*, 2003.

Paràmetres	Mart	Vida
H₂O	Vapor a l'atmosfera Líquida amb forma de corrents subterrànies Gel als pols	Líquida
O₂	0,143% a l'atmosfera (~3nM)	Presència o absència
Font de carboni	C orgànic (C ₆ H ₅ Cl) i inorgànic (CO)	C orgànic o inorgànic
Nitrogen	Nitrats	N ₂ o nitrats
Sofre	Sulfats	Sulfur o sulfats
Fòsfor	Fosfats (traces)	Fòsfor o fosfats
Temperatura	-153°C a 20°C	-33°C fins a 113°C
Salinitat	Dipòsits localitzats i amb forma de salmorra	30-35% NaCl
pH	General: pH 8-9 (alcalí) Certes zones: pH <3,5 (àcid)	0 a 13

Per tal de decidir si hi ha alguna possibilitat de vida a Mart s'ha anat mirant individualment cada un dels factors mencionats anteriorment. En el cas dels elements químics s'ha anat comprovant en quin estat es poden trobar tant al sòl com a l'atmosfera de Mart i per tant si són accessibles pels microorganismes. En el cas de que l'element químic o la forma d'energia estigui present al planeta s'ha mirat si es coneix algun tipus de metabolisme que pugui obtenir l'element o energia. Respecte als paràmetres físics s'han mirat quines són les condicions que es troben al planeta i si aquí a la Terra es coneix algun tipus de microorganisme capaç de suportar-les. A la taula 4 es poden veure les condicions de Mart respecte als elements químics i paràmetres físics mencionats anteriorment i es relacionen amb les condicions o formes dels elements necessàries per a la vida tal i com la coneixem aquí a la Terra.

1. Elements químics

El primer factor estudiat, i un dels més importants per la vida, és la presència d'aigua líquida o accessible d'alguna manera pels microorganismes. Degut a la gran radiació que sofreix Mart no hi ha aigua a la superfície, encara que s'ha demostrat que als estadis inicials del planeta si que n'hi havia (NASA), per tant hi ha algun tipus de font d'aquest líquid. Una altra zona on es pot trobar aigua és als pols, però està en forma de gel per tant no és una font accessible pels microorganismes (Jakosky *et al.*, 2003). La darrera zona que s'ha tingut en compte és la zona subterrània on hi ha corrents d'aigua líquida i salada accessibles (Schuerger, Ming and Golden, 2017). El problema que representa aquesta aigua és que només es troba en estat líquid de manera temporal per tant els microorganismes haurien de tenir algun tipus de defensa contra el fred extrem, per exemple crear estructures de resistència com podrien ser espores per aguantar dintre d'un cristall de gel o de sal (Möhlmann and Thomsen,

2011; Moissl-Eichinger, Cockell and Rettberg, 2016). Però a part de l'aigua és important saber si poden accedir a la resta d'elements essencials per la vida, els que s'han considerat més importants i que són necessaris per poder crear biomassa són l'oxigen, l'hidrogen, el carboni, el nitrogen, el fòsfor i el sofre (Stoker *et al.*, 2010).

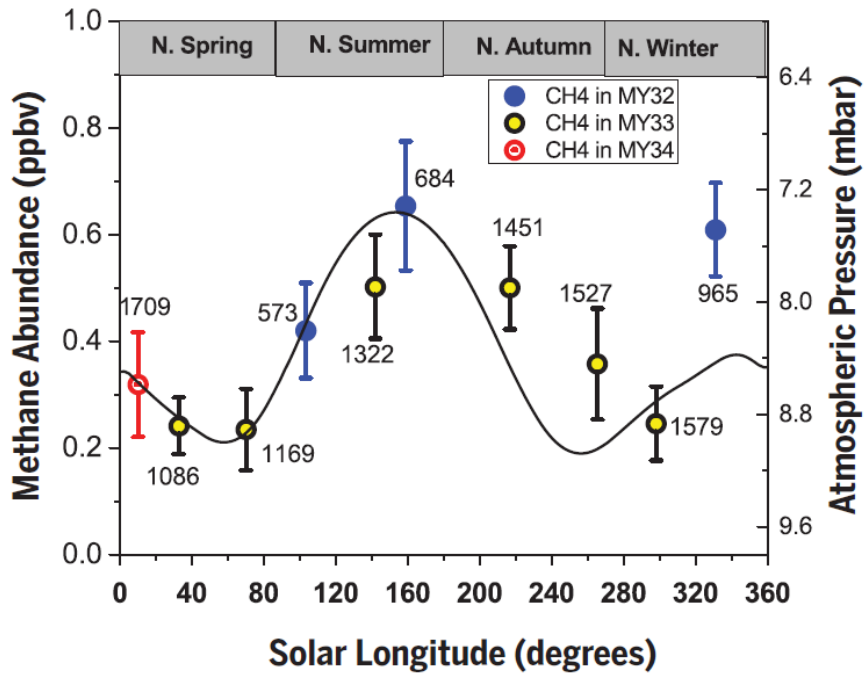
L'hidrogen és un element que es pot trobar de diverses formes al planeta Mart, per exemple formant part de la molècula d'aigua, però els microorganismes també són capaços d'utilitzar altres formes, com per exemple l'H₂. Aquesta molècula es troba present al planeta gràcies a les reaccions abiòtiques entre l'aigua i el ferro (Fe²⁺) present al sòl del planeta. Per tant, l'hidrogen no seria un element problemàtic respecte a la vida microbiana a Mart (Stoker *et al.*, 2010).

L'oxigen és un altre element clau ja que és el principal acceptor d'electrons en el metabolisme microbià per crear energia (Madigan, Martinko and Parker, 2014). A l'atmosfera del planeta es pot trobar un percentatge molt baix d'aquest element en estat gasós (0,143%) (Moissl-Eichinger, Cockell and Rettberg, 2016, NASA) per tant els microorganismes han de presentar un metabolisme capaç de sobreviure en concentracions molt baixes o quasi nul·les d'oxigen. Haurien de ser microorganismes microaeròfils o anaeròbics (Madigan, Martinko and Parker, 2014), però també existeixen alguns microorganismes aeròbics que poden sobreviure en condicions baixes d'oxigen a l'aire (Rummel *et al.*, 2014). Un altre possible acceptor d'electrons són els perclorats (ClO₄⁻) que en conjunt amb el monòxid de carboni (CO) formen part d'un possible mecanisme metabòlic alternatiu a la utilització d'oxigen, en concret seria la utilització dels perclorats com agents oxidants del CO. Per tant passaria la següent reacció química:



Aquest seria un possible metabolisme que presenten alguns halòfils i que faria que alguns microorganismes fossin capaços de viure a les corrents salades del planeta Mart (Myers and King, 2017). En concret l'estudi de Myers and King (2017) va utilitzar diversos microorganismes, entre ells *Holoarcularia sp. PCN7* perquè és un microorganisme que realitza desnitrificació a unes elevades concentracions de sals i a més pot realitzar el metabolisme mencionat anteriorment, oxidant el CO a partir dels perclorats presents a les concentracions de sals. Totes les fonts d'electrons mencionades anteriorment són inorgàniques per tant els microorganismes capaços de realitzar aquestes reaccions d'oxidació i reducció haurien de ser organismes quimiolitòtrofs.

Un altre element clau per a la vida és una font de carboni orgànica o inorgànica, al planeta Mart hi ha els dos tipus de font de carboni (Rummel *et al.*, 2014; Inge Loesten, 2018). A la zona subterrània hi ha certa quantitat de composts orgànics, com el clorobenzè (C₆H₅Cl) o el metà (CH₄), que podrien ser utilitzats pels microorganismes heteròtrofs (Rummel *et al.*, 2014). En concret un article recent de la NASA ha confirmat la presència de matèria orgànica amb forma de diverses molècules com per exemple el tiofè i altres composts aromàtics o alifàtics, preservada als fangs del cràter Gale. Encara s'està estudiant l'origen d'aquestes substàncies però no es descarta la possibilitat d'un origen biològic de fa 3 mil milions d'anys, tot i així també s'està estudiant un possible origen geològic (Eigenbrode *et al.*, 2018). Una altra substància orgànica que s'ha confirmat que es pot trobar a l'atmosfera del planeta és el metà. S'ha descobert que les concentracions de metà a l'atmosfera presenten variacions estacionàries (gràfica 2), s'està estudiant la possible relació amb altres paràmetres com la pressió, la temperatura de la superfície, la humitat relativa, etc. (Webster *et al.*, 2018). També s'ha comprovat que existeixen fonts de carboni inorgànic com per exemple el CO que podrien ser utilitzades per microorganismes autòtrofs (Stoker *et al.*, 2010).



Gràfica 2. Variacions estacionaries de la concentració de metà a Mart (Webster *et al.*, 2018).

El nitrogen pot estar present principalment amb dues formes: nitrats o nitrogen atmosfèric; per tant hi ha dos possibles metabolismes pel nitrogen. La forma de nitrat es podria metabolitzar gràcies al metabolisme oxidant de ferro dependent de nitrats. Aquest metabolisme es caracteritza per utilitzar el ferro com a donador d'electrons i el nitrat com a acceptor. Aquest metabolisme és òptim degut a la gran quantitat de ferro que es pot trobar al sòl del planeta Mart, així com l'elevada presència tant de nitrats com de perclorats com a acceptors d'electrons. A més aquest metabolisme es caracteritza per ser un procés microbiològic primerenc que va contribuir a les primeres etapes de la història de la vida a la Terra. En aquestes etapes les condicions de la Terra i Mart eren similars, per tant el metabolisme oxidant de ferro dependent de nitrats seria factible al planeta Mart (Price, *et al.*, 2018). Per poder analitzar aquest metabolisme s'han realitzat diversos estudis a Río Tinto (Espanya) ja que és un lloc anàleg entre la Terra i Mart, en concret es tracta d'un lloc anàleg degut a la gran concentració de metalls pesants que es pot trobar al seu sòl així com a l'aigua, també s'ha considerat un lloc anàleg ja que presenta un pH de 2,3 per tant àcid, que es

correspon amb el pH que es pot trobar a certes zones del planeta Mart. El pH àcid és necessari perquè en pH neutre el ferro és oxidat ràpidament a composts insolubles que fan que no sigui tan accessible pels microorganismes. Aquest pH àcid només es troba a certes zones del planeta ja que en general el pH del planeta és alcalí. Un dels principals metalls estudiats és el ferro ja que pot actuar tan d'acceptor (Fe^{2+}) com de donador (Fe^{3+}) d'electrons i per tant corroboraria el metabolisme mencionat anteriorment, afirmant la idea de que la possible vida a Mart hauria de ser quimiolitòtrofa. També s'ha estudiat la concentració de matèria orgànica, sobretot de metà (CH_4) ja que a Río Tinto s'han pogut trobar diversos microorganismes metanògens que explicarien la presència de metà des de un punt de vista biològic. Aquest procés de metanogènesi també implica un augment del pH àcid degut a que la presència de l'ió ferro fa que passi al pH alcalí característic del planeta. Tot i així encara no s'ha pogut demostrar que el metà present al planeta Mart també presenti aquest origen (Amils and Fernández-Remolar, 2014).

Una altra possibilitat seria la utilització del nitrogen atmosfèric, per tant els microorganismes presents al planeta haurien de ser capaços de fixar-lo per poder realitzar les seves funcions bàsiques. Com s'ha mencionat anteriorment l'estudi de Myers and King (2017) s'ha basat en un microorganisme capaç de captar el nitrogen atmosfèric del planeta, per tant és un metabolisme perfectament compatible amb les condicions presents a Mart. Aquest metabolisme es caracteritza per la capacitat de reduir el nitrogen atmosfèric (N_2) per fixar-lo a amoníac, una forma orgànica que pot ser metabolitzada, aquest procés es realitza gràcies a l'enzim nitrogenasa (Madigan, Martinko and Parker, 2014). Aquest possible metabolisme implicaria la possibilitat de cadenes tròfiques ja que hi podria haver una relació entre els fixadors de nitrogen heteròtrofs i altres microorganismes autòtrofs.

A part dels elements mencionats anteriorment també s'ha de tenir en compte que són necessaris altres elements en menor quantitat però essencials de totes maneres, com el fòsfor i el sofre. El fòsfor és important per a la vida ja que és essencial per a la formació d'àcids nucleics i fosfolípids, en canvi el sofre forma part dels aminoàcids (Madigan, Martinko and Parker, 2014). Al planeta Mart hi ha poca quantitat de fòsfor amb forma de fosfats però aquestes traces son suficients perquè són utilitzables pels microorganismes. Els minerals de fòsfor que hi ha a Mart es troben en estat sòlid degut al pH alcalí del planeta però alguns microorganismes són capaços de captar-lo gràcies a la utilització d'àcids orgànics (Stoker *et al.*, 2010). També hi ha una gran presència de sulfur amb diverses formes, com per exemple els sulfats, ja que presenta una gran varietat d'estats d'oxidació per tant tampoc seria un impediment per la vida microbiana ja que hi ha diversos possibles metabolismes per captar-lo (Madigan, Martinko and Parker, 2014).

Després d'estudiar els elements químics essencials per la vida a Mart podríem dir que els microorganismes presents al planeta haurien de ser microorganismes capaços de: tenir com a font de carboni qualsevol tipus de carboni (orgànic o inorgànic), per tant podrien ser tant organismes autòtrofs com heteròtrofs. A més haurien de tenir la capacitat d'utilitzar les poques concentracions d'oxigen que hi ha al planeta o sinó presentar un metabolisme anaeròbic (Madigan, Martinko and Parker, 2014; Rummel *et al.*, 2014).

2. Paràmetres físics

Com s'ha comentat al principi, la possible vida microbiana a Mart també estaria condicionada per les condicions físiques del planeta. Per això s'han analitzat quatre principals paràmetres, la radiació, la salinitat, el pH i la temperatura (Moissl-Eichinger, Cockell and Rettberg, 2016).

La radiació que rep la superfície de Mart és tan elevada que l'esterilitza (Stoker *et al.*, 2010) per tant una solució seria viure de manera subterrània així l'elevada radiació de la superfície no afectaria als microorganismes. Per tant al ser organismes que no reben la llum solar haurien d'utilitzar una altre font d'energia com la química. Com s'ha mencionat anteriorment la font d'electrons present al planeta és inorgànica i si a més l'energia utilitzada és química el principal metabolisme que es podria trobar a Mart seria la quimiolitotròfia (Rummel *et al.*, 2014). La quimiolitotròfia és la capacitat d'obtenir energia de la oxidació de composts inorgànics (Madigan, Martinko and Parker, 2014).

Respecte a la salinitat com s'ha mencionat anteriorment l'única aigua accessible és amb forma de salmorra per tant els possibles microorganismes que puguin viure al planeta haurien de ser halòfils per tal de suportar aquestes elevades concentracions (Bryanskaya *et al.*, 2013). Aquest tipus d'organisme no només és capaç de viure en altes concentracions de sals sinó que aquestes són necessàries pel seu creixement (Madigan, Martinko and Parker, 2014). S'han trobat dos possibles anàlegs aquí a la Terra respecte a la salinitat. El primer és el llac Spotted (Canadà) (Pontefract *et al.*, 2017) i el segon és el Big Soda Lake (USA) (Matsubara *et al.*, 2017). El llac de Canadà és representatiu degut a la gran quantitat de sals sulfatades que presenta la seva aigua, amb una salinitat total de 370.999 mg/L. Per això és un lloc anàleg molt utilitzat per a l'estudi de possibles microorganismes a les seves aigües. S'ha arribat a la conclusió que un gran nombre de microorganismes, com per exemple una gran varietat de bacteris, són capaços de viure a les seves aigües (Pontefract *et al.*, 2017). El Big Soda Lake (USA) s'ha descrit com un possible anàleg degut a la gran quantitat de perclorats que presenta. A l'estudi de Matsubara *et al.* (2017) es varen aïllar quatre microorganismes halòfils d'aquest ambient i després de realitzar diversos experiments amb diverses concentracions salines similars a les que es poden trobar a Mart es va arribar a la conclusió que la possible vida microbiana al planeta Mart hauria de ser halòfila.

La temperatura del planeta presenta un interval de canvi molt ampli que va des de els -153°C fins als 20°C, tot i així aquí a la Terra coneixem microorganismes capaços de sobreviure de manera latent fins als -263°C (Moissl-Eichinger, Cockell and Rettberg, 2016) i de créixer fins als -33°C (Rummel *et al.*, 2014) per tant podria existir un microorganisme que visques dintre de l'interval de temperatures que es troben al planeta. Tot i així haurien de presentar algun tipus de estructura protectora per sobreviure latentment fins als -153°C que es pot arribar al planeta.

Respecte al pH, el pH del planeta és predominantment alcalí i es troba dintre del rang de 8-9, uns valors perfectament assequibles pels microorganismes (Moissl-Eichinger, Cockell and Rettberg, 2016). També es pot trobar un pH àcid (<3,5) a certes zones (Price *et al.*, 2018), aquest pH baix podria ser un impediment per a la vida microbiana a Mart, però com s'ha demostrat a Río Tinto hi ha diversos microorganismes amb la capacitat de viure i metabolitzar ferro en aquestes condicions (Amils and Fernández-Remolar, 2014).

El principal problema de tot el que s'ha mencionat fins ara és la falta d'evidències, ja que, tot i que s'ha trobat matèria orgànica al planeta encara no s'ha pogut confirmar si presenta un origen biològic o geològic (Eigenbrode *et al.*, 2018).

Conclusions.

Amb la recerca bibliogràfica s'ha arribat a la conclusió que es possible la vida microbiana a Mart. Per tant s'accepta la hipòtesis que implica la resposta afirmativa a la pregunta plantejada a la introducció i es rebutja la hipòtesis que implica una resposta negativa.

Després d'analitzar els elements químics així com els paràmetres físics s'han seleccionats una sèrie de metabolismes que farien que la vida microbiana a Mart fos possible,

els principals serien la oxidació de ferro dependent de nitrogen i la oxidació del monòxid de carboni a partir de perclorats, aquests dos metabolismes es caracteritzen per formar part de la quimiolitotròfia. En concret la utilització d'energia química en lloc de lumínica es degut a la elevada radiació que rep el planeta per tant la vida hauria de ser subterrània. Una altra cosa que representa la quimiolitotròfia és la utilització de matèria inorgànica com a acceptors o donadors d'electrons. Respecte a la font de carboni els organismes presentarien un metabolisme autòtrof o heteròtrof ja que hi ha les dues possibles fonts de carboni (orgànic i inorgànic).

Aquests metabolismes es veuen condicionats pels paràmetres físics presents al planeta. Els possibles organismes haurien de ser halòfils per suportar les importants concentracions de sals a l'aigua líquida present al planeta i també haurien de ser microorganismes capaços de suportar temperatures extremadament baixes. Tots els metabolismes s'han trobat i confirmat als anàlegs de Mart a la Terra com podrien ser els llacs extremadament salats de Canadà i USA o el Río Tinto característic per l'elevada concentració de ferro. Per tant aquests metabolismes podrien donar-se al planeta Mart, a més els darrers estudis de la NASA han confirmat la presència de diverses molècules orgàniques que podrien implicar un origen biològic encara que no s'ha confirmat. Per tant la recerca de vida microbiana al planeta Mart encara necessita molta investigació i sempre estarà relacionada amb els avanços tecnològics.

Agraïments.

Agraeixo la direcció de la tutora Dra. Balbina Nogales Fernández per proporcionar-me material necessari per a realitzar el treball i ajudar-me en tot el possible durant la seva realització. També agraeixo a la Universitat de les Illes Balears l'accés a diverses bases de dades amb la possibilitat d'obtenció d'articles.

Bibliografia

Amils, R. and Fernández-Remolar, D. (2014) 'Río Tinto: A Geochemical and Mineralogical Terrestrial Analogue of Mars', *Life*, 4, pp. 511–534. doi: 10.3390/life4030511.

Bridenstine, J. F. 'Mars facts', *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. Visitada des de 03/02/2018 fins al 09/06/2018.

Bryanskaya, A. V. *et al.* (2013) 'Adaptive capabilities of microorganisms of salt lakes of the Altai Region under conditions of early Mars', *Paleontological Journal*, 47, pp. 1089–1092. doi: 10.1134/S0031030113090050.

Cockell, C. S. *et al.* (2012) 'Uninhabited habitats on Mars', *Icarus*. Elsevier Inc., 217, pp. 184–193. doi: 10.1016/j.icarus.2011.10.025.

Eigenbrode, J. L. *et al.* (2018) 'Organic matter preserved in 3-billion-year-old mudstones at Gale crater, Mars', *Science*, 360, pp. 1096–1101. doi: 10.1126/science.aas9185.

Inge Loes ten, K. (2018) 'Organic molecules on Mars', *Science*, 360, pp. 1068–1069.

Jakosky, B. M. *et al.* (2003) 'Subfreezing Activity of Microorganisms and the Potential Habitability of Mars' Polar Regions', *Astrobiology*, 3, pp. 343–350. doi: 10.1089/153110703769016433.

Kounaves, S. P. *et al.* (2014) 'Evidence of martian perchlorate, chlorate, and nitrate in Mars meteorite EETA79001: Implications for oxidants and organics', *Icarus*. Elsevier Inc., 229, pp. 206–213. doi: 10.1016/j.icarus.2013.11.012.

Lammer, H. *et al.* (2009) 'What makes a planet habitable?', *Astronomy and Astrophysics Review*, 17, pp. 181–249. doi: 10.1007/s00159-009-0019-z.

Litchfield, C. D. (1998) 'Survival strategies for microorganisms in hypersaline environments and their relevance to life on early Mars', *Meteoritics and Planetary Science*, 33, pp. 813–819. doi: 10.1111/j.1945-5100.1998.tb01688.x.

Madigan, M. T., Martinko, J. M. and Parker, J. (2014) *Brock biology of microorganisms*. Pearson.

Matsubara, T. *et al.* (2017) 'Earth analogues for past and future life on Mars: Isolation of perchlorate resistant halophiles from Big Soda Lake', *International Journal of Astrobiology*, 16, pp. 218–228. doi: 10.1017/S1473550416000458.

Möhlmann, D. and Thomsen, K. (2011) 'Properties of cryobrines on Mars', *Icarus*. Elsevier Inc., 212, pp. 123–130. doi: 10.1016/j.icarus.2010.11.025.

Moissl-Eichinger, C., Cockell, C. and Rettberg, P. (2016) 'Venturing into new realms? Microorganisms in spacea', *FEMS Microbiology Reviews*, 40, pp. 722–737. doi: 10.1093/femsre/fuw015.

Myers, M. R. and King, G. M. (2017) 'Perchlorate-Coupled Carbon Monoxide (CO) Oxidation: Evidence for a plausible microbe-mediated reaction in Martian brines', *Frontiers in Microbiology*, 8, p. 2571. doi: 10.3389/fmicb.2017.02571.

Pontefract, A. *et al.* (2017) 'Microbial Diversity in a Hypersaline Sulfate Lake : A Terrestrial Analog of Ancient Mars', *Frontiers in Microbiology*, 8, p. 1819. doi: 10.3389/fmicb.2017.01819.

Price, A. *et al.* (2018) 'Nitrate-dependent iron oxidation: A potential Mars metabolism', *Frontiers in Microbiology*, 9, p. 513. doi: 10.3389/fmicb.2018.00513.

Rummel, J. D. *et al.* (2014) 'A New Analysis of Mars "Special Regions": Findings of

the Second MEPAG Special Regions Science Analysis Group (SR-SAG2)', *Astrobiology*, 14, pp. 887–968. doi: 10.1089/ast.2014.1227.

Schuerger, A. C., Golden, D. C. and Ming, D. W. (2012) 'Biototoxicity of Mars soils: 1. Dry deposition of analog soils on microbial colonies and survival under Martian conditions', *Planetary and Space Science*. Elsevier Inc., 72, pp. 91–101. doi: 10.1016/j.pss.2012.07.026.

Schuerger, A. C., Ming, D. W. and Golden, D. C. (2017) 'Biototoxicity of Mars soils: 2. Survival of *Bacillus subtilis* and *Enterococcus faecalis* in aqueous extracts derived from six Mars analog soils', *Icarus*. Elsevier Inc., 290, pp. 215–223. doi: 10.1016/j.icarus.2017.02.023.

Stoker, C. R. *et al.* (2010) 'Habitability of the phoenix landing site', *Journal of Geophysical Research*, 115, pp. 1–24. doi: 10.1029/2009JE003421.

Tarasashvili, M. V. *et al.* (2017) 'Semi-Automated operation of Mars Climate Simulation chamber-MCSC modelled for biological experiments', *International Journal of Astrobiology*, 16, pp. 328–342. doi: 10.1017/S1473550416000380.

Taylor, G. J. (2013) 'The bulk composition of Mars', *Chemie der Erde*. Elsevier Inc., 73, pp. 401–420. doi: 10.1016/j.chemer.2013.09.006.

Webster, C. R. *et al.* (2018) 'Background levels of methane in Mars' atmosphere show strong seasonal Variations', *Science*, 360, pp. 1093–1096.

West, M. D. *et al.* (2010) 'The geology of Australian Mars analogue sites', *Planetary and Space Science*. Elsevier Inc., 58, pp. 447–458. doi: 10.1016/j.pss.2009.06.012.