

Treball de recerca

# Mart, el futur de la humanitat

Martí Massó Moreno

**Promoció: 2018-2020**

**Centre: Institut Santiago Sobrequés i Vidal (Girona)**

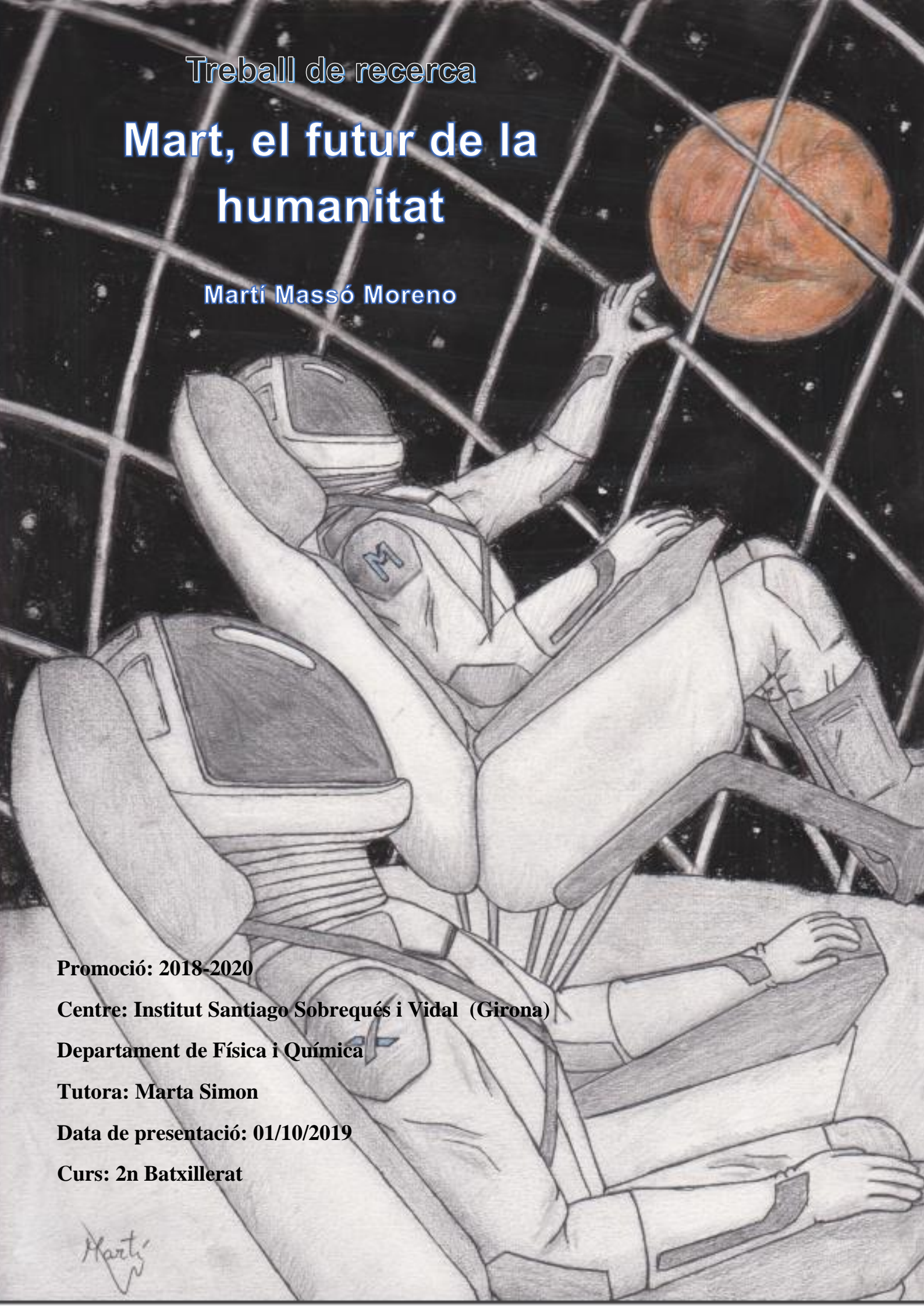
**Departament de Física i Química**

**Tutora: Marta Simon**

**Data de presentació: 01/10/2019**

**Curs: 2n Batxillerat**

Martí



**Treball de recerca**

# Mart, el futur de la humanitat

**Alumne: Martí Massó Moreno**

**Centre: Institut Santiago Sobrequés i Vidal (Girona)**

**Promoció: 2018-2020**

**Departament de Física i Química**

**Tutora: Marta Simon**

**Data de presentació: 01/10/2019**

**Curs: 2n Batxillerat**

*Tot el que una persona pugui imaginar, altres ho poden fer realitat.*

**Jules Verne**

## **Agraïments**

En primer lloc, vull agrair a la meva tutora Marta Simon les seves orientacions i consells durant el procés d'elaboració del treball. També agraeixo especialment l'ajuda del Dr. Joan Miró, de la UdG, i del Dr. Enrique Peiró, de la UAB, per oferir-me els seus elevats coneixements sobre la matèria i animar-me a realitzar el meu projecte. Al Dr. Britt, de la Universitat de Florida, li agraeixo que em tractés amb proximitat i em donés accés als seus estudis. També estic agraït als doctors Josep Duran i Sílvia Simon, de la UdG, per proporcionar-me materials i respondre a les meves inquietuds. Agraeixo als meus amics els seus comentaris sobre la meva recerca i, concretament, al meu amic Àlex Castro per ajudar-me amb els dubtes ortogràfics del redactat. Finalment, agraeixo a la meva família el seu recolzament i la seva paciència durant tot el temps que ha durat aquesta investigació.

Aquest treball no hauria estat possible sense el suport de tota aquesta gent. Moltes gràcies a tots.

## Índex

Introducció .....	7
1. Breu història de l'exploració espacial .....	9
1.1. La carrera espacial.....	9
1.2. Exploració espacial fins a finals del segle XX.....	15
1.3. Exploració espacial al segle XXI .....	19
1.4. Agències dedicades a l'exploració espacial .....	22
1.4.1. NASA .....	22
1.4.2. Roscosmos.....	23
1.4.3. ESA .....	23
1.4.4. SpaceX .....	24
1.4.5. Altres agències de la indústria espacial .....	24
2. El planeta Mart.....	26
2.1. Exploració i missions espacials.....	26
2.2. Mida i distància .....	27
2.3. Òrbita i rotació .....	27
2.4. Geologia i estructura .....	28
2.5. Atmosfera.....	29
2.6. Temperatura .....	29
2.7. Llunes de Mart .....	30
2.8. Aigua.....	30
2.9. Potencial de vida .....	31
3. Com arribarà una missió tripulada al planeta vermell?.....	32
3.1. Projecte de SpaceX per fer la vida multi-planetària.....	33
3.1.1. Coet BFR.....	33
3.2. Processos de reciclatge de substàncies dintre la nau .....	37
3.2.1. El cicle del carboni, l'oxigen i l'hidrogen.....	37
3.2.2. El cicle del nitrogen.....	38
3.2.3. El cicle del fòsfor i el sofre .....	40
3.3. Quines persones s'hi enviaran?.....	40
3.4. Estudis i simulacions.....	42
4. Adversitats que ens trobem en un viatge a Mart per la supervivència humana.....	44
4.1. Obtenció de l'aigua .....	44
4.1.1. On es troba l'aigua a Mart?.....	44
4.1.2. Extracció de l'aigua.....	45
4.2. Obtenció de l'aliment.....	46

4.2.1. Per què és important portar aliments variats?.....	47
4.2.2. Cultius hidropònics a l'interior de les naus .....	47
4.2.3. Com cultivar plantes a Mart per aconseguir aliment? .....	48
4.3. Obtenció d'oxigen .....	48
4.3.1. Mètode de creació d'un nou ecosistema a través de la fotosíntesi (ecopoiesi) .....	49
4.3.2. Mètode de l'electròlisi per descompondre el CO <sub>2</sub> .....	49
4.3.3. Mètode dels <i>archaeoglobus</i> per descompondre el perclorat .....	49
4.4. Obtenció d'energia .....	50
4.4.1. Energia geotèrmica.....	50
4.4.2. Energia eòlica .....	51
4.4.3. Energia solar.....	51
4.4.4. Energia nuclear.....	52
4.5. On i com viurem a Mart? .....	52
4.5.1. Quin és el millor lloc per crear una colònia?.....	53
4.5.2. Com seran els futurs habitatges a Mart? .....	53
4.6. Efectes d'aquest medi hostil sobre les persones.....	55
4.6.1. Efectes físics.....	56
4.6.2. Efectes psicològics .....	57
5. La terra-formació de Mart .....	59
5.1. Com canviar l'atmosfera? .....	59
5.1.1. Utilització de l'efecte hivernacle.....	60
5.1.3. Omplir l'atmosfera d'oxigen.....	61
5.1.2. Creació d'un camp magnètic artificial .....	62
5.2. Com fer-hi créixer grans quantitats de plantes? .....	63
5.3. Com tornar blau el planeta vermell? .....	65
6. Aportacions de científics universitaris .....	67
6.1. Universitat de Girona (UdG).....	67
6.2. Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) .....	68
6.3. University of Central Florida (UCF, USA).....	69
7. Experiment per provar si es pot fer créixer plantes al sòl de Mart.....	70
7.1. Introducció .....	70
7.2. Objectius .....	70
7.3. Materials.....	70
7.3.1. Materials per fer la terra .....	70
7.3.2. Materials per cultivar les plantes.....	71
7.3.3. Materials per l'obtenció de l'òxid de ferro (III) .....	71
7.4. Procediment.....	71

7.4.1. Obtenció d'òxid de ferro .....	71
7.4.2. Mescla dels materials per fer la terra.....	73
7.4.3. Plantació dels vegetals a estudiar .....	73
7.5. Resultats .....	73
7.5.1. Resultats del primer experiment.....	73
7.5.2. Resultats del segon experiment .....	75
7.6. Vídeo divulgatiu a YouTube d'aquest treball .....	77
7.7. Conclusions.....	77
8. Anàlisi de l'elaboració del treball .....	79
8.1. Dificultats en la part teòrica .....	79
8.2. Dificultats en la part pràctica .....	80
Conclusions.....	82
Referències.....	84
Annexos.....	96
Annex I: Correspondència amb el Dr. Daniel Britt de Florida (15/04/2019).....	97
Annex II: Entrevista al Dr. Joan Miró UdG (16/07/2019) .....	100
Annex III: Entrevista al Dr. Enrique Peiró, investigador de la ESA a la UAB.....	112
Annex IV: Qui és Elon Musk? .....	125
Annex V: Procés Sabatier per aconseguir combustible de coets a Mart .....	127
Annex VI: Taula d'agències espacials globals i els seus pressupostos .....	128
Annex VII: Elaboració de la portada del treball.....	131

## Introducció

Fer un treball de recerca suposa una oportunitat d'adquirir molts coneixements d'un tema concret, a part de l'experiència d'investigar i explorar el tema que tu vulguis. Tot i així, fer aquest treball comporta moltes hores d'esforç i dedicació i, per tant, crec que el millor és triar un tema que et motivi i que t'agradi.

**El que m'ha motivat** més per fer aquest treball és que m'apassiona l'univers i, concretament, Mart. Des de ben petit, sempre he tingut una gran curiositat i admiració per l'espai i els seus misteris; a més, fa pocs mesos, vaig veure que hi havia empreses que pretenien enviar humans a Mart l'any 2024 i no vaig poder evitar interessar-me pel tema i informar-me'n. D'aquí va ser d'on va sorgir la idea de fer aquest treball, i penso que ha estat una bona decisió, ja que és un tema que m'agrada molt i, per tant, m'entusiasma informar-me'n i aprendre'n coses.

Em semblava que aquest treball podria aportar-me un gran ventall de coneixements i reflexions sobre un tema que sempre m'ha interessat però mai he estudiat a fons. A part, també em donaria una perspectiva diferent sobre la humanitat, des del punt de vista de la seva capacitat per avançar en la ciència i superar noves fronteres.

Amb aquesta motivació, **em plantejo dues d'hipòtesis** que em proposo comprovar si es confirmen a partir de la meua recerca. En primer lloc, i la més important, és "Es pot colonitzar Mart?". L'altra hipòtesi, que formaria part de la primera, és "Es poden fer créixer plantes al sòl de Mart?".

Colonitzar un planeta és tot un repte. No només s'ha de tenir en compte com portar allà les persones, sinó també què s'hauria de fer per superar les adversitats que hi trobaríem i crear-hi un entorn habitable semblant al de la Terra. Cal tenir en compte que a Mart no hi ha aigua líquida, ni aire respirable, a part d'una forta radiació i una gravetat molt dèbil que tindria efectes negatius pel físic de les persones. Tot i així, a tots aquests problemes se'ls pot buscar una solució, només cal investigar i troba-la.

Per comprovar aquestes hipòtesis, **la metodologia que utilitzaré** consistirà en dur a terme una exhaustiva recerca sobre les investigacions i avenços tecnològics realitzats per científics, i fer un treball de camp en el qual simularé terra de Mart i hi faré créixer plantes. A més, entrevistaré científics de renom, experts en la matèria, i elaboraré un vídeo

divulgatiu del meu treball per tal que aquest sigui accessible a qualsevol persona interessada en aquest tema.

**El meu objectiu** és aportar una investigació més sobre l'estudi de Mart, aportar més dades sobre la seva colonització i fer-ne difusió per tal que tingui una continuïtat. Espero que aquest treball inspire a altres persones, serveixi a altres estudis relacionats amb aquest tema, sigui, en definitiva, una petita contribució per a uns fins més grans.

Colonitzar planetes i viatjar per la galàxia és un somni que sempre ha tingut la humanitat. Ara fa 50 anys, vam ser capaços d'enviar l'home a la Lluna. Això va suposar, tal i com va dir el propi Armstrong, "un gran pas per la humanitat". Més tard, es van dur a terme algunes altres missions com la creació de l'Estació Espacial Internacional (EEI), però des d'aleshores ja no s'han tornat a fer projectes tan ambiciosos i s'ha anat desaccelerant la carrera espacial fins al punt que actualment no s'envia persones més enllà de l'EEI.

Avui, estem a punt de dur a terme aquest somni per primer cop i així començar a fer real el que veiem a les pel·lícules i llibres de ciència ficció. Estem a un pas de deixar de somiar i començar a viure el que fins ara només era simple ciència ficció. Ens trobem davant del que segurament és l'aventura més gran de la humanitat fins ara.

## **1. Breu història de l'exploració espacial**








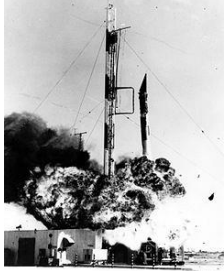
L'exploració espacial mai ha estat ni serà fàcil ja que comporta uns riscos personals importants per a qui s'aventura a viatjar tan lluny i per les dimensions dels instruments que es necessiten. El seu progrés s'aconsegueix a partir del que s'ha après a les missions anteriors, amb els seus assajos i errors inclosos. Al llarg dels 60 anys que fa que es va iniciar s'ha hagut d'innovar en tots els sentits: elaborar noves eines, buscar nous camins i perfeccionar tècniques noves.

La indústria espacial va néixer a partir de la carrera espacial entre els Estats Units i la URSS que va desembocar en l'arribada de l'home a la Lluna; s'ha seguit desenvolupant fins als nostres dies de manera progressiva i amb perspectives de futur molt esperançadores de cares a arribar a conquerir l'espai.

### **1.1. La carrera espacial**

El 1945, poc després de la segona guerra mundial, va començar la Guerra Freda entre els Estats Units i la Unió Soviètica. Durant aquesta època, els avenços en l'àmbit de l'exploració espacial i la tecnologia de satèl·lits, juntament amb altres aspectes de la cursa armamentista, es mostraven com un indicador de la capacitat tecnològica i econòmica de cadascuna de les potències, demostrant així la seva superioritat i prestigi nacional. Era una competició entre dues superpotències que no estalviaven esforços per aconseguir el seu objectiu.

Així, i en qüestió de pocs anys, es van arribar a realitzar moltes missions espacials amb més o menys encert, tal com es pot veure en la següent quadrícula que he elaborat a partir de les dades recopilades:

Data llançament	País	Nau	Viatgers	Motiu / Objectiu	Resultat
4 d'octubre de 1957	<sup>1</sup> URSS 	<sup>2</sup> Sputnik 1 	No tripulat	Llançar el primer satèl·lit artificial	✓ Demostrea la seva capacitat tecnològica a tot el món i provoquen els EEUU
3 de novembre de 1957	URSS 	<sup>3</sup> Sputnik 2  	La gossa Laika, que havia estat recollida dels carrers de Moscú <sup>4</sup>	Enviar el primer ésser viu a orbitar la Terra	✓ La Laika va sobreviure a l'espai unes hores. 162 dies després, la nau es va desintegrar en entrar en contacte amb l'atmosfera.
6 de desembre de 1957	<sup>5</sup> EEUU 	<sup>6</sup> Vanguard TV3 (Test Vehicle Three) 	No tripulat	Primer intent dels EEUU de llençar un satèl·lit artificial	✗ Va ser un fracàs. Va explotar a la plataforma de llançament i va significar una humiliació per als EEUU. Es va fer burla anomenant el coet "Kaputnik" <sup>7</sup> 

<sup>1</sup> Imatge: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Flag\\_of\\_the\\_Soviet\\_Union.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Flag_of_the_Soviet_Union.svg)

<sup>2</sup> Imatge: <http://projectoidis.org/wp-content/uploads/2013/08/Sputnik01.jpg>


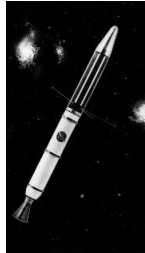
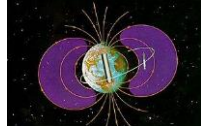








<sup>3</sup> Imatge: [http://mentallandscape.com/S\\_Sputnik2.jpg](http://mentallandscape.com/S_Sputnik2.jpg)

<sup>4</sup> Imatge: [https://ichef.bbci.co.uk/news/660/cpsprodpb/13F42/production/\\_98603718\\_laika.jpg](https://ichef.bbci.co.uk/news/660/cpsprodpb/13F42/production/_98603718_laika.jpg)

<sup>5</sup> Imatge: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Flag\\_of\\_the\\_United\\_States.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Flag_of_the_United_States.svg)

<sup>6</sup> Imatge: <https://danielmarin.naukas.com/files/2017/12/13.jpg>

<sup>7</sup> Imatge: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Vanguard\\_rocket\\_explodes.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Vanguard_rocket_explodes.jpg)

Data llançament	País	Nau	Viatgers	Motiu / Objectiu	Resultat
31 de gener de 1958	EEUU 	<sup>8</sup> Explorer 1 	No tripulat	<sup>9</sup> Enviar el primer satèl·lit nord-americà en òrbita i detectar la radiació de l'espai. 	✓ Va detectar les oscil·lacions de les radiacions de l'espai. Va descobrir els cinturons de radiació de Van Allen, que ens protegeixen d'aquesta radiació.
12 de setembre de 1959	URSS 	<sup>10</sup> Lluna 2 (en rus: Луна-2) 	No tripulat	Enviar una nau a la superfície lunar	✓ És la primera nau en arribar a la superfície lunar. Impacta sobre aquesta.
28 de maig de 1959	EEUU 	<sup>11</sup> Júpiter AM-18 	<sup>12</sup> Dues mones rhesus anomenades Able i Miss Baker 	Avaluar els efectes de la ingravidesa en micòs, en representació dels humans	✓ Les mones van aterrar vives 15 minuts després del llançament, convertint-se així en els primers astronautes animals en tornar amb vida des de l'espai.
19 d'agost de 1960	URSS 	<sup>13</sup> Sputnik 5 	<sup>14</sup> Dues gosses anomenades Strelka i Belka 	Enviar éssers vius a l'espai i tornar-los amb vida	✓ Les gosses van donar 17 voltes al voltant de la Terra i van retornar el dia següent. Primers canins en tornar vius de l'espai.

<sup>8</sup> Imatge: <https://imagecache.jpl.nasa.gov/images/640x350/PIA04601-16-640x350.jpg>

<sup>9</sup> Imatge: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b5/Van\\_Allen.jpg/300px-Van\\_Allen.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b5/Van_Allen.jpg/300px-Van_Allen.jpg)


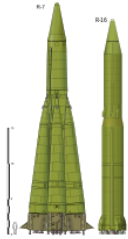








<sup>10</sup> Imatge: [https://www.historytoday.com/sites/default/files/Luna\\_2\\_Soviet\\_moon\\_probe.jpg](https://www.historytoday.com/sites/default/files/Luna_2_Soviet_moon_probe.jpg)

<sup>11</sup> Imatge: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Jupiter\\_AM-18\\_pre-launch.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Jupiter_AM-18_pre-launch.jpg)

<sup>12</sup> Imatge: <https://fiftiesweb.com/pop/able-baker.jpg>

<sup>13</sup> Imatge: <http://images.oobject.com/thumbdir/thumbnails/f/33/f333412b871619fb510d4f66ebc0a563-orig>

<sup>14</sup> Imatge: <https://novaonline.nvcc.edu/eli/evans/his135/events/sputnik57/belka-strelka-mod.jpg>

Data llançament	País	Nau	Viatgers	Motiu / Objectiu	Resultat
24 d'octubre de 1960	URSS 	<sup>15</sup> míssil R-16 	No tripulat	Fer un míssil intercontinental que millori la operativitat del míssil R-7	<b>X</b> Explotà a la plataforma de llançament mentre es preparava un viatge de prova i cent persones van morir en l'accident
12 d'abril de 1961	URSS 	<sup>16</sup> Vostok 1 	<sup>17</sup> Yuri Gagarin, - "Pobladors del món, salvagudem aquesta bellesa, no la destruïm"- 	Enviar la primera persona a l'espai	<b>✓</b> Yuri Gagarin es convertí en la primera persona en anar a l'espai. Va enlairar-se en el cosmòdrom soviètic de Baykonur i orbità la Terra en 108 minuts.
5 de maig de 1961	EEUU 	<sup>18</sup> Freedom 7 	<sup>19</sup> Alan Shepard 	Enviar el primer nord-americà a l'espai	<b>✓</b> <sup>20</sup> Shepard tornà sa i estalvi després de passar 15 minuts a l'espai. 
<sup>21</sup> 25 de maig de 1961 - El president dels EEUU, John F. Kennedy, anuncia la meta d'enviar un home a la Lluna abans que s'acabi la dècada i a través del Programa Apolo de la NASA					

<sup>15</sup> Imatge: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/R-7\\_vs\\_R-16.svg/110px-R-7\\_vs\\_R-16.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/R-7_vs_R-16.svg/110px-R-7_vs_R-16.svg.png)

<sup>16</sup> Imatge: [https://vignette.wikia.nocookie.net/memoryalpha/images/6/6c/Vostok\\_1.jpg/revision/latest?cb=20081227092048&path-prefix=en](https://vignette.wikia.nocookie.net/memoryalpha/images/6/6c/Vostok_1.jpg/revision/latest?cb=20081227092048&path-prefix=en)


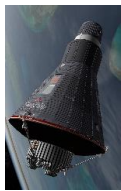









<sup>17</sup> Imatge: <https://www.elprogreso.es/media/elprogreso/images/2018/03/27/2018032722383580968.jpg>

<sup>18</sup> Imatge: <http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/6414825.jpg>

<sup>19</sup> Imatge: <https://www.universetoday.com/wp-content/uploads/2011/05/alan-shepard.jpg>

<sup>20</sup> Imatge: <https://i.pinimg.com/originals/ea/ae/6b/ea/6b2b22ea1a1c11385c2c792d645e.jpg>

<sup>21</sup> Imatge: <https://cdn.mos.cms.futurecdn.net/niHaumMKM7FUUTzJ3Zc3kE-320-80.jpg>

Data llançament	País	Nau	Viatgers	Motiu / Objectiu	Resultat
20 de febrer de 1962	EEUU 	<sup>22</sup> Friendship 7 	<sup>23</sup> John Glenn 	Enviar la primera persona nord-americana en recórrer l'òrbita de la Lluna	✓ Glenn va recórrer 130 mil quilòmetres i tornà a la Terra sa i estalvi.
10 de juliol de 1962	EEUU 	<sup>24</sup> Telstar 	No tripulat	Enviar un satèl·lit de comunicacions	✓ Es convertí en el primer satèl·lit de comunicacions actiu de la història.
16 de juny de 1963	URSS 	<sup>25</sup> Vostok 6 	<sup>26</sup> Valentina Tereshkova, una ex-obrera tèxtil 	Enviar la primera dona a l'espai	✓✗ Va fer 49 voltes a la Terra en tres dies. Però durant l'aterratge va resultar ferida i el seu rostre va quedar molt perjudicat
18 de març de 1965	URSS 	Voskhod-2	<sup>27</sup> Alekséi Leónov i Pàvel Beliàiev 	<sup>28</sup> Dur a terme la primera caminada espacial 	✓✗ Leónov va aconseguir realitzar la caminada espacial tot i que el seu vestit espacial es va inflar a l'espai i va haver de desinflar-lo per poder tornar a la nau

<sup>22</sup> Imatge: <https://www.beachamjournal.com/.a/6a01053653b3c7970b01156f19a5e8970c-800wi>

<sup>23</sup> Imatge: [https://media.graytvinc.com/images/810\\*607/john+glenn3.jpg](https://media.graytvinc.com/images/810*607/john+glenn3.jpg)











<sup>24</sup> Imatge: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/665926main\\_telstar\\_full.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/665926main_telstar_full.jpg)

<sup>25</sup> Imatge: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Vostok\\_spacecraft.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Vostok_spacecraft.jpg)

<sup>26</sup> Imatge: <https://laletradelaciencia.es/wp-content/uploads/2015/08/valentina-tereshkovai.jpg>

<sup>27</sup> Imatge: <https://pacoarnau.files.wordpress.com/2010/09/leonov-beliaev.jpg?w=584>

<sup>28</sup> Imatge: <https://cdn4.img.sputniknews.com/images/105256/14/1052561430.jpg>

Data llançament	País	Nau	Viatgers	Motiu / Objectiu	Resultat
27 de gener de 1967	EEUU 	<sup>29</sup> Apolo 1 	<sup>30</sup> Virgil Grissom, Ed White i Roger Chaffee 	Aconseguir un allunatge tripulat sobre la Lluna	<b>X</b> Es va incendiar la nau en el Cap Canaveral, també conegut com el Cap Kennedy, provocant la mort dels tres astronautes.
24 d'abril de 1967	URSS 	<sup>31</sup> Soyuz 1 	<sup>32</sup> Vladimir Komarov 	Acoblar dues naus a l'espai i realitzar una caminada espacial de l'una a l'altra i que després tornessin a la Terra per separat.	<b>X</b> <sup>33</sup> El cosmonauta Komarov mor quan el paracaigudes del coet no s'obre com devia i la càpsula s'estavella en els monts Urals de Rússia. 
21 de desembre de 1968	EEUU 	<sup>34</sup> Apolo 8 	<sup>35</sup> Frank Borman, James Lovell i William Anders 	Enviar persones a orbitar la Lluna per primera vegada	<b>✓</b> Apolo 8 va arribar a la Lluna en 3 dies, la va orbitar 10 cops durant 20 hores i va tornar a la terra el 27 de desembre d'aquell mateix any. L'èxit d'aquesta missió va donar pas a que es complís més tard el desig de John F. Kennedy de portar l'èsser humà a la Lluna abans que s'acabés la dècada amb la missió Apolo 11

<sup>29</sup> Imatge: <https://i.pinimg.com/originals/ab/4a/9b/ab4a9bae26b9a087a26b333754943ea8.jpg>

<sup>30</sup> Imatge: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e1/Apollo1-Crew\\_01.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e1/Apollo1-Crew_01.jpg)






<sup>31</sup> Imatge: [https://space.skyrocket.de/img\\_sat/soyuz\\_7k-ok-p\\_\\_1.jpg](https://space.skyrocket.de/img_sat/soyuz_7k-ok-p__1.jpg)

<sup>32</sup> Imatge: [https://timeecocentric.files.wordpress.com/2013/01/78606287\\_10.jpg?w=260](https://timeecocentric.files.wordpress.com/2013/01/78606287_10.jpg?w=260)

<sup>33</sup> Imatge: [https://i2.wp.com/www.drewexmachina.com/wp-content/uploads/2017/04/Komarov\\_funeral\\_feature.jpg?fit=890%2C500&ssl=1](https://i2.wp.com/www.drewexmachina.com/wp-content/uploads/2017/04/Komarov_funeral_feature.jpg?fit=890%2C500&ssl=1)

<sup>34</sup> Imatge: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6b/Ap8-KSC-68PC-329.jpg/170px-Ap8-KSC-68PC-329.jpg>

<sup>35</sup> Imatge: <https://www.contrareplica.mx/uploads/normal/f182e3df0d980c1411922aef1d514281.jpg>

Data llançament	País	Nau	Viatgers	Motiu / Objectiu	Resultat
20 de juliol de 1969	EEUU 	<sup>36</sup> Apolo 11 	<sup>37</sup> Neil A. Armstrong, Edwin E. Aldrin Jr. i Michael Collins 	Enviar l'èsser humà a la Lluna abans que s'acabés la dècada, tal com va prometre el president John F. Kennedy vuit anys abans	 <sup>38</sup> El comandant Neil Armstrong va ser la primera persona a trepitjar la superfície de la Lluna, seguit del seu company Edwin E. Aldrin. 6 hores després d'haver allunat. Aquesta fita històrica es va retransmetre per tot el món i es convertí en la transmissió més vista de la història fins aleshores. Amb aquest assoliment, es dona per finalitzada la carrera espacial 

A partir d'aquestes dades, es pot veure que en pocs anys s'han fet uns avenços increïbles en un àmbit que mai abans s'havia explotat. Molts científics coincideixen en què aquest període va representar avançar-se un segle quant a la tecnologia aeroespacial del seu temps gràcies a l'esperit competitiu de les dues nacions.











## 1.2. Exploració espacial fins a finals del segle XX

Amb l'arribada de l'home a la Lluna, es dona per finalitzada la carrera espacial i comença una nova era d'exploració en la qual cada cop s'hi afegeixen nous països amb nous reptes, com podem veure a les següents taules:

<sup>36</sup> Imatge: <https://danielmarin.naukas.com/files/2019/07/ap11-KSC-69PC-442HR-510x640.jpg>

<sup>37</sup>[https://cadenaser00.epimg.net/ser/imagenes/2018/06/26/internacional/1530013069\\_678961\\_1530013159\\_noticia\\_normal.jpg](https://cadenaser00.epimg.net/ser/imagenes/2018/06/26/internacional/1530013069_678961_1530013159_noticia_normal.jpg)

<sup>38</sup> Imatge: <https://cdn.aarp.net/content/dam/aarp/travel/Domestic/2019/06/1140-apollo-11-moon-landing-esp.imgcache.rev143c9162fcf396ccade679175fc01c3.jpg>

Data	País	Nau/Sonda	Tripulants	Objectiu	Resultats
13 d'abril de 1970	EEUU 	<sup>39</sup> Apolo 13 	<sup>40</sup> James A. Lovell, Fred W. Haise i John L. Jack Swigert 	Allunar i estudiar la superfície de la Lluna	<b>X</b> Una explosió dels tancs d'oxigen de la nau va obligar a avortar la missió però amb un complicat pla de rescat van aconseguir tornar amb vida a la Terra
17 de juliol de 1975	EEUU i URSS 	<sup>41</sup> Skylab- Salyut 	<sup>42</sup> Thomas Stafford i Alexei Leónov 	Fer un laboratori compartit entre les dues potències a l'espai per primer cop	<b>✓</b> La missió és un èxit. El projecte es converteix en la primera missió espacial internacional en el moment en què la nau nord-americana s'uneix a la russa.
20 de juliol de 1976	EEUU 	<sup>43</sup> Viking 	No tripulada	Analitzar si hi ha vida a Mart o n'hi ha hagut en el passat	<b>✓</b> Va arribar a Mart però no hi va aconseguir detectar cap forma de vida.
20 d'agost de 1977	EEUU 	<sup>44</sup> Voyager 2 	No tripulades	Explorar Júpiter, Saturn, Urà, Neptú i les seves respectives llunes	<b>✓</b> Avui dia segueix viatjant per l'espai, sense rumb, juntament amb la seva nau bessona, Voyager 1 i segueix enviant informació des dels afores del nostre sistema solar.

<sup>39</sup>Imatge:<https://natgeo.imgix.net/shows/thumbnails/apollo13.jpg?auto=compress,format&w=1920&h=960&fit=crop>




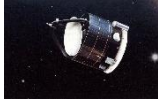

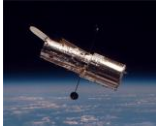



<sup>40</sup>Imatge:[https://www.thoughtco.com/thmb/bsgJ7eAjQhdYR143u\\_NokP9AHNM=/768x0/filters:no\\_upscale\(\):max\\_bytes\(150000\):strip\\_icc\(\)/Apollo\\_14\\_crew-58b84ba05f9b5880809dc1dc.jpg](https://www.thoughtco.com/thmb/bsgJ7eAjQhdYR143u_NokP9AHNM=/768x0/filters:no_upscale():max_bytes(150000):strip_icc()/Apollo_14_crew-58b84ba05f9b5880809dc1dc.jpg)

<sup>41</sup>Imatge:<http://4.bp.blogspot.com/89EEfelvd34/Vax2kO9iYkI/AAAAAAAAAYB8/JA588yOtG44/s1600/Skylabsalyut2.jpg>

<sup>42</sup> Imatge: <https://i.ytimg.com/vi/5W536X-64MU/maxresdefault.jpg>

<sup>43</sup> Imatge: [http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/483308main\\_aa\\_3-9\\_history\\_viking\\_lander\\_1024.jpg](http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/483308main_aa_3-9_history_viking_lander_1024.jpg)

<sup>44</sup> Imatge: [https://1gr.cz/fotky/idnes/13/121/cl5/JB4fafb6\\_nasa.jpg](https://1gr.cz/fotky/idnes/13/121/cl5/JB4fafb6_nasa.jpg)

Data	País	Nau/Sonda	Tripulants	Objectiu	Resultats
19 de febrer de 1986	<sup>45</sup> URSS i més tard, amb la dispersió d'aquesta, de Rússia 	<sup>46</sup> Mir 	No tripulada	Tenir una estació espacial d'investigació habilitada de forma permanent	✓ Va significar la culminació del programa espacial soviètic. Va estar activa durant 13 anys i va servir com a laboratori de proves per a nombrosos experiments científics i va col·laborar amb altres països.
13 de març de 1986	<sup>47</sup> Unió Europea 	<sup>48</sup> Giotto 	No tripulada	Fotografiar i estudiar el cometa Halley passant el més a prop possible del seu nucli	✓ És la primera nau en fer observacions des de tan a prop d'un cometa. Més tard, també va estudiar el cometa Grigg-Skjellerup, al qual es va aproximar encara més
24 d'abril de 1990	EEUU 	<sup>49</sup> Hubble 	No tripulada	Enviar un telescopi a l'espai per observar l'univers sense les interferències de l'atmosfera	✓ Avui en dia segueix actiu i proporcionant noves fotografies d'altíssima qualitat de l'espai a tot el món perquè siguin estudiades
2 de setembre de 1993	EEUU i Rússia  	<sup>50</sup> Freedom i Mir-2 (Estació Espacial Internacional) 	No tripulada	Fusionar les dues estacions espacials	✓ El vicepresident nord-americà Al Gore i el primer ministre rus V. Chernomyrdin signen un acord per fusionar les dues estacions, creant les bases per al sorgiment de l'EEI.

<sup>45</sup> Imatge: <https://cdni.rbth.com/rbthmedia/images/2018.08/original/5b8508d415e9f91fd247bf33.jpg>






<sup>46</sup> Imatge: <https://explorandoespacio.files.wordpress.com/2012/05/mir.jpg>

<sup>47</sup> Imatge: <https://www.francobordo.com/images/productos/bandera-europa-1-332830.jpg>

<sup>48</sup> Imatge: [https://www.cosmos.esa.int/documents/650108/650166/giotto\\_large.jpg/ea52d0d0-8ff5-4106-8e65-a066d891ff12?t=1438005343735](https://www.cosmos.esa.int/documents/650108/650166/giotto_large.jpg/ea52d0d0-8ff5-4106-8e65-a066d891ff12?t=1438005343735)

<sup>49</sup> Imatge: [https://e00-elmundo.uecdn.es/elmundo/imagenes/2009/11/10/1257855952\\_0.gif](https://e00-elmundo.uecdn.es/elmundo/imagenes/2009/11/10/1257855952_0.gif)

<sup>50</sup> Imatge: <https://www.themarysue.com/wp-content/uploads/2013/11/iss.jpg>

Data	País	Nau/Sonda	Tripulants	Objectiu	Resultats
15 d'octubre de 1997	EEUU 	<sup>51</sup> Cassini i Huygens 	No tripulada	Explorar Saturn, els seus anells i les seves llunes	✓ Va iniciar el viatge aprofitant la gravetat de Venus per impulsar-se. Més tard, va passar a prop de Júpiter i va fer fotos però el cos de la missió van ser els 4 anys que es va passar orbitant Saturn i estudiant-lo a ell i el seu sistema. A part, també va deixar anar la sonda robòtica Huygens a la lluna Tità perquè l'explorés.
20 de novembre 1998	Rússia 	<sup>52</sup> Zarya 	No tripulada	<sup>53</sup> Crear l'Estació Espacial Internacional 	✓ Zarya és la primera peça de l'EEI i prové un nucli de control de la orientació, comunicacions i energia elèctrica mentre espera per arribar altres elements d'altres països, com el que enviarà els EEUU dues setmanes després, l'Unity

Aquestes dades ens mostren com el ritme d'exploracions espacials es va anar desaccelerant en les dècades següents a l'arribada a la Lluna, al mateix ritme que la guerra freda va anar perdent pes, principalment degut a les immenses despeses que això generava i als pocs fons disponibles.





<sup>51</sup> Imatge: <https://cdn.britannica.com/17/96617-050-7204B281/probe-Artwork-centre-orbiter-Huygens-Cassini-planet-June-30-2004.jpg>

<sup>52</sup> [http://www.russianspaceweb.com/images/spacecraft/manned/space\\_stations/iss/fgb/sts088-719-059\\_1.jpg](http://www.russianspaceweb.com/images/spacecraft/manned/space_stations/iss/fgb/sts088-719-059_1.jpg)

<sup>53</sup> Imatge: <https://i.ytimg.com/vi/E-D79aAL9dI/maxresdefault.jpg>

### 1.3. Exploració espacial al segle XXI




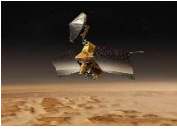

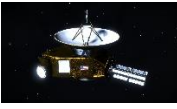

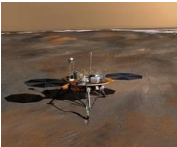

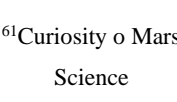
Durant el present segle s'han enviat a l'espai ròvers i sondes per avançar en la ciència, però els reptes que es feien abans per portar persones més enllà de l'òrbita terrestre no s'han dut a terme en cap ocasió: tots els viatges han estat no tripulats a banda de les estades a l'Estació Espacial Internacional.

Data de llançament	País	Nau/Sonda/Rover	Objectiu	Resultats
7 d'abril de 2001	EEUU 	<sup>54</sup> Mars Odyssey 	Dur a terme una anàlisi de mineralogia detallada de la superfície del planeta des de l'òrbita i mesurar la radiació de l'ambient	✓ Ha cartografiat part de la superfície marciana i ha fet mapes de la distribució de diferents minerals i elements químics. També ha registrat la radiació del medi marcianà en una òrbita baixa per determinar el risc de radiació per a qualsevol possible futur explorador humà que vagi a Mart.
4 de gener de 2004	EEUU 	<sup>55</sup> Spirit 	Explorar el terreny del planeta vermell i buscar indicis de vida passada	✓ Entre tots els seus descobriments destaca que va trobar evidències que a Mart fa temps hi va haver aigua líquida, i això ha ajudat els científics a entendre millor el vent marcianà.
25 de gener de 2004	EEUU 	<sup>56</sup> Opportunity 	Explorar el terreny del planeta vermell i buscar indicis de vida passada	✓ Aquest era el rover bessó del Spirit. Va trobar evidències que en alguna àrea de Mart hi va haver aigua durant un llarg període de temps i que allà hi podria haver hagut vida microbiana.

<sup>54</sup> Imatge: <http://www.solarstorms.org/wp-content/uploads/2017/04/mars-odyssey.jpg>

<sup>55</sup> Imatge: [https://solarsystem.nasa.gov/system/content\\_pages/main\\_images/1068\\_rover2-1.jpg](https://solarsystem.nasa.gov/system/content_pages/main_images/1068_rover2-1.jpg)

<sup>56</sup> Imatge: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d8/NASA\\_Mars\\_Rover.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d8/NASA_Mars_Rover.jpg)

Data de llançament	País	Nau/Sonda/Rover	Objectiu	Resultats
2 de març de 2004	Europa 	<sup>57</sup> Rosetta 	Investigar la composició i característiques del cometa 67P	✓ Van trobar-hi aigua en estat sòlid i característiques de la composició del cometa que van ajudar molt a demostrar diferents teories científiques.
12 d'agost de 2005	EEUU 	<sup>58</sup> Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) 	Buscar evidències que hi hagi hagut aigua a la superfície de Mart durant un llarg període de temps	✓ Altres missions de Mart ja havien mostrat abans que hi havia hagut aigua a Mart en èpoques passades, però aquesta missió volia veure si n'hi havia hagut el temps suficient com perquè sorgís la vida, i encara avui no se sap segur, però es creu que és força possible que n'hi hagués hagut algun cop.
19 de gener de 2006	EEUU 	<sup>59</sup> New Horizons 	Explorar Plutó i els asteroides del cinturó de Kuiper	✓ Després de 9 anys de viatge, envia imatges detallades de Plutó i després segueix el seu viatge per explorar el cinturó de Kuiper.
25 de maig de 2008	EEUU 	<sup>60</sup> Phoenix 	Aterrar al pol nord de Mart per dur a terme unes anàlisis del sòl del planeta i estudiar la història de l'aigua de l'àrtic marcià en busca d'una zona habitable	✓ La sonda Phoenix ha fet un gran pas en l'estudi de la història de Mart, conclouent que en algun moment va ser habitable i que podria ser que hagués albergat vida.
26 de novembre de 2011	EEUU 	<sup>61</sup> Curiosity o Mars Science 	Determinar si va existir vida algun cop a Mart, caracteritzar el clima de	✓ Va investigar la composició química de la superfície marciana i de la seva atmosfera, va





<sup>57</sup> Imatge: [https://estaticos.muyinteresante.es/media/cache/760x570\\_thumb/uploads/images/pyr/5550c3886ff4e7342cd76439/rosetta\\_0.jpg](https://estaticos.muyinteresante.es/media/cache/760x570_thumb/uploads/images/pyr/5550c3886ff4e7342cd76439/rosetta_0.jpg)

<sup>58</sup> [https://mars.nasa.gov/images/mro20100917\\_PIA05490\\_modest-br2.jpg](https://mars.nasa.gov/images/mro20100917_PIA05490_modest-br2.jpg)

<sup>59</sup> Imatge: <https://vignette.wikia.nocookie.net/elite-dangerous/images/9/97/New-Horizons-Space-Probe-Elite-Dangerous.png/revision/latest?cb=20180415021051>

<sup>60</sup> Imatge: [https://marsmobile.jpl.nasa.gov/images/20070508\\_\\_phoenixlander-ci.jpg](https://marsmobile.jpl.nasa.gov/images/20070508__phoenixlander-ci.jpg)

<sup>61</sup> Imatge: [https://space.skyrocket.de/img\\_sat/eos-chem-1\\_\\_1.jpg](https://space.skyrocket.de/img_sat/eos-chem-1__1.jpg)

Data de llançament	País	Nau/Sonda/Rover	Objectiu	Resultats
		Laboratory (MSL) 	Mart, determinar la seva geologia i preparar-se per a la exploració humana de Mart	examinar la radiació còsmica i va fer un inventari de les roques que es trobaven al terra de Mart.
5 de maig de 2018	EEUU 	<sup>62</sup> InSight 	Col·locar un robot fixe a la superfície de Mart que penetri el sòl i analitzi la temperatura i els moviments tectònics del subsol per entendre millor com els planetes es formen i evolucionen	 Està activa en aquests moments. Ha detectat alguns moviments tectònics a Mart, ha cartografiat el terreny i ha estudiat les irregularitats en el moviment del planeta per entendre més bé l'estructura i la composició del seu interior i el seu nucli. Està servint per saber més sobre els orígens del planeta.

Com es pot apreciar a les taules, l'exploració espacial ha estat molt més activa els últims anys del que ho va ser les dècades posteriors a la fi de la carrera espacial entre els EUA i la URSS. És sorprenent com, tot i tenir més tecnologia, no es potencia tant aquest àmbit com es podria. Si bé és cert que s'han enviat sondes i naus arreu del nostre sistema solar i que s'han fet diverses exploracions, el nivell que hi havia durant la carrera espacial s'ha perdut. L'última missió tripulada a la Lluna es va dur a terme al 1972; des de llavors cap humà ha tornat a trepitjar mai cap altre cos planetari a part de la Terra. Afortunadament, el futur ens dona esperances amb el sorgiment de projectes que, finalment, estan proposant enviar persones a Mart. Amb sort, aquesta nova fita encoratjarà i inspirarà més gent per seguir avançant en l'exploració del cosmos.

Als avenços tecnològics, s'hi ha sumat l'esperit d'Elon Musk i la seva empresa SpaceX per donar una nova empenta a la conquesta de l'espai per part de l'home. Ara ja no es tracta de viatjar a la Lluna o enviar satèl·lits per a empreses científiques, sinó que va més enllà i pretén la colonització d'un altre planeta, Mart, per donar a la humanitat una sortida

<sup>62</sup> Imatge: [https://mars.nasa.gov/system/feature\\_items/images/5861\\_InSight\\_movie\\_10-4-18.jpg](https://mars.nasa.gov/system/feature_items/images/5861_InSight_movie_10-4-18.jpg)

del planeta Terra que comença a mostrar la seva data de caducitat provocada per l'ús abusiu que se n'ha fet al llarg de la nostra història.

#### 1.4. Agències dedicades a l'exploració espacial

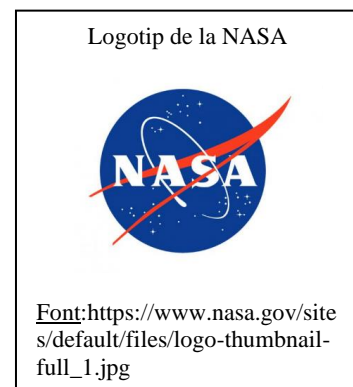
Com ja hem vist, l'exploració de l'espai des de fora de la Terra va començar fa relativament poc, fa uns 60 anys. Les agències que es van crear en aquell moment han seguit funcionant des d'aleshores, enviant naus, sondes i ròvers a l'espai per explorar i entendre millor mica en mica com funciona l'univers.

Avui en dia, l'esperit explorador humà segueix tan actiu com ho ha estat sempre i seguim volent anar cada cop més enllà i explorar planetes i astres que mai ningú ha visitat. Això, però, no és gens fàcil de fer, i per això hi ha unes quantes agències arreu del món que col·laboren per avançar més ràpidament en aquest àmbit. Les més destacables són:

- La NASA (National Aeronautics and Space Administration)
- Roscosmos (Agència Espacial Federal Russa o FKA)
- La ESA (Agència Espacial Europea)
- SpaceX (Space Exploration Technologies Corporation)

##### 1.4.1. NASA

L'Administració Nacional de l'Aeronàutica i de l'Espai, coneguda com NASA, ha estat fins ara el principal motor del programa espacial dels Estats Units d'Amèrica. Fou fundada el 29 de juliol de 1958 i al llarg de la seva història ha protagonitzat algunes de les fites més importants de la història de la humanitat, com l'arribada de l'home a la Lluna el 1969 o l'exploració del planeta Mart en nombroses missions a través de diferents ròvers i sondes al llarg dels últims anys.



Des del punt de vista històric, la NASA ha tingut un paper fonamental en el desenvolupament de l'exploració espacial, la qual ens ha ajudat a comprendre millor la història de l'univers.

Arribada de l'home a la Lluna, 1969



Font: <https://e.radio-oxigeno.io/large/2012/08/27/885867.jpg>

#### 1.4.2. Roscosmos

L'Agència Espacial Federal Russa (FKA), coneguda com a Roscosmos, fou fundada el 25 de febrer de 1992, posteriorment al trencament de la URSS i descendent del programa OKB de l'antiga Unió Soviètica. Aquesta agència espacial ha seguit endavant, tot i la crisi de Rússia que hi va haver a principis dels anys 90, i ha complert amb els seus compromisos amb l'Estació Espacial Internacional i amb altres agències com la NASA o l'ESA. Per tant, es podria dir que avui dia Rússia segueix essent un fort motor de la indústria de l'exploració espacial.

Logotip de Roscosmos



Font: <https://images.fineartamerica.com/images/artworkimages/mediumlarge/2/roscosmos-rocket-or-fairing-logo-nikki.jpg>

#### 1.4.3. ESA

L'Agència Espacial Europea (ESA), fundada el 30 de maig de 1975, és un organisme format per 22 països de la Unió Europea que col·labora amb altres empreses a nivell internacional, com es veu amb la seva contribució a l'Estació Espacial Internacional. L'ESA té la seva seu a París; allà és on es prenen les decisions sobre futurs projectes. Tot i així, l'ESA també disposa de molts altres centres arreu d'Europa, on hi treballen un total de 2.200 persones.

Logotip de l'ESA



Font: [https://www.esa.int/esalogo/images/logotype/img\\_colorlogo\\_darkblue.gif](https://www.esa.int/esalogo/images/logotype/img_colorlogo_darkblue.gif)

#### 1.4.4. SpaceX

L'Agència espacial SpaceX és l'empresa més recent de les explicades aquí. Fundada el 6 de maig de 2002, té la seva seu a Califòrnia i té un factor que la diferencia de les altres: és una empresa privada. Fou creada per Elon Musk invertint el seu patrimoni personal en el



projecte amb l'objectiu de portar algun dia la humanitat a Mart. Per a això ha hagut de fer innovacions en tots els sistemes dels coets per aconseguir crear naus reutilitzables. Fins ara, era impensable aconseguir crear unes naus que poguessin tornar a la Terra per ser utilitzades altre cop, però gràcies a l'esforç i dedicació de tota la gent que treballa a SpaceX, s'ha aconseguit fer aquest avenç que significarà un primer pas molt important per a la colonització de l'espai, ja que serà el que permetrà tornar dels planetes o astres que es visitin més endavant.



A part de la colonització de Mart, SpaceX està treballant en altres projectes, com són Starlink (consisteix a utilitzar prop de 12.000 satèl·lits en una òrbita terrestre baixa per proporcionar una connexió d'alta velocitat a internet per tot el món) o la càpsula SpaceX Dragon (càpsula capaç de portar 7 persones o força quilos de càrrega que s'utilitzarà per aprovisionar l'Estació Espacial Internacional de subministraments).

En definitiva, aquesta empresa està revolucionant el món actual de la tecnologia espacial, sobretot pel fet que permet estalviar molts milions d'euros reutilitzant les naus.

#### 1.4.5. Altres agències de la indústria espacial

A part de les mencionades anteriorment, arreu del món cada cop hi ha més agències de diferents països que s'incorporen a la carrera espacial. Actualment, ja hi ha més de 25

països arreu del món que tenen el propòsit d'avançar tecnològicament per seguir explorant el cosmos. Entre aquestes agències destaquem les següents<sup>63</sup>:

- A França, l'agència CNES (French Space Agency)
- A Alemanya, l'agència DLR (German Aerospace Center)
- Al Japó, l'agència JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)
- A la Xina, l'agència CNSA (China National Space Administration)
- A l'Índia, l'agència ISRO (Indian Space Research Organisation)

Per portar a terme el seu treball, aquestes empreses necessiten uns pressupostos molt elevats, com podem veure a l'Annex VI.

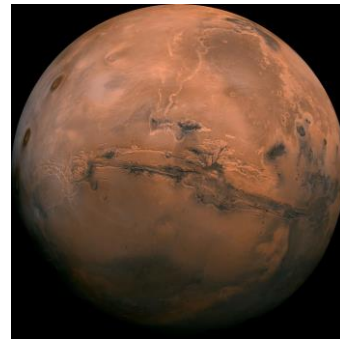
---

<sup>63</sup> Veure els noms de totes les agències i els seus pressupostos a l'Annex VI, pàgina 129.

## 2. El planeta Mart

Mart, el quart planeta del nostre sistema solar, és el segon més petit després de Mercuri. Aquest planeta ha cridat l'atenció de la humanitat des d'èpoques antigues, en part perquè és fàcilment observable des de la Terra. Fins i tot es distingeix el seu to vermellós perquè és un dels objectes més grans del cel vistos des de la Terra (després de la Lluna, el Sol, Júpiter i Venus).

Imatge del planeta Mart

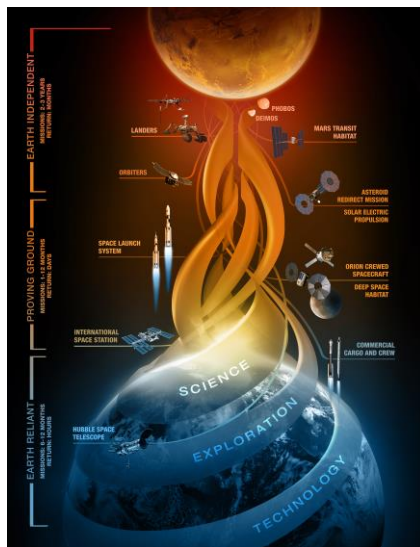


Font: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQHXR\\_L4hWp9S5CSuwjHpr2qj4wVx\\_Leav3u80RqPkAqoRZQMnT](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQHXR_L4hWp9S5CSuwjHpr2qj4wVx_Leav3u80RqPkAqoRZQMnT)

### 2.1. Exploració i missions espacials

Després de la Terra, el planeta més estudiat de la història ha estat Mart. Els primers en

Representació de les missions que han estudiat Mart



Font: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/nasas-journey-to-mars-vertical.jpg>

documentar-ne observacions van ser els egipcis fa més de 4000 anys. Recentment, la ciència ha aconseguit desenvolupar tecnologies que ens permeten estudiar Mart des de molts punts de vista. Fins ara, s'han realitzat un total de 56 missions a Mart, però només 26 d'aquestes han tingut èxit. Tot i així, moltes d'aquestes missions ja han acabat però d'altres segueixen estudiant el planeta, tal i com afirma la pròpia NASA en la seva pàgina dedicada a Mart, dintre els projectes d'exploració del sistema solar (NASA Science, 2019):

- En aquest moment, hi ha sis naus orbitant Mart. Entre elles, n'hi ha tres que són de la NASA: Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), Mars

Odyssey i MAVEN. D'altra banda, l'ESA també hi ha enviat dues missions: ExoMars Trace Gas Orbiter i Mars Express. I, finalment, l'Índia també s'hi ha unit i ha enviat el Mars Orbiter Mission (MOM).

- A més, ara mateix hi ha dues naus robòtiques treballant a la superfície de Mart, que són el Curiosity i l'InSight, els dos de la NASA. Tot i així, al llarg de la

història s'hi han enviat un total de 4 ròvers i es té previst enviar-ne més a partir del 2020.

## 2.2. Mida i distància

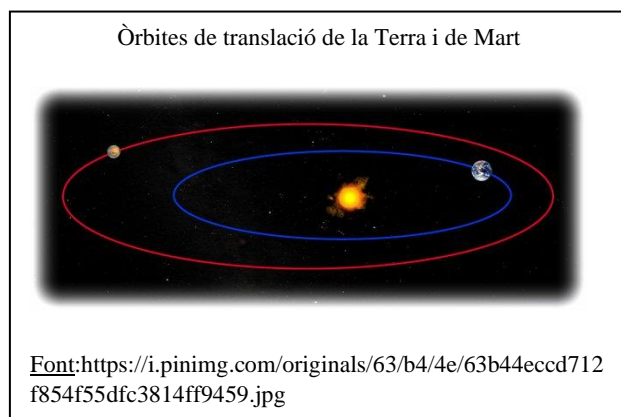
Amb un radi d'uns 3.390 kilòmetres, Mart té un diàmetre una mica més gran que el radi de la Terra, i una massa uns 10 cops més petita però, malgrat això, la seva gravetat és de poc més d'un terç de la de la Terra (3'711 m/s). Això es deu a que a aquesta diferència de mida també se li ha d'afegir que la densitat de Mart és inferior a la de la Terra. Es podria dir que a dintre la Terra hi cabrien 6 Marts.



Tenint en compte que la distància mitjana entre el Sol i Mart és d'uns 230 milions de kilòmetres, Mart es troba a 1'5 unitats astronòmiques del Sol (una unitat astronòmica, UA, és la distància que hi ha entre el Sol i la Terra).

## 2.3. Òrbita i rotació

Mart, com la resta de planetes del Sistema Solar, té una òrbita el·líptica al voltant del Sol, durant la qual rota amb sí mateix cada 24'6 hores, temps que és molt similar a la duració d'un dia terrestre. En el que dura un any marcià, rota amb sí mateixa 670 vegades; per tant, aquest any té 670



dies marciàns, que seria el mateix que 687 dies terrestres.

L'eix de rotació de Mart està inclinat 25 graus, la qual cosa és una semblança més amb la Terra. Igual que la Terra, Mart té diferents estacions, les quals són força semblants a les nostres. Tot i així, aquestes estacions duren molt més, ja que la seva òrbita també és molt

més llarga que la terrestre, fins al punt que l'estació més llarga pot durar 194 dies marcians.

## 2.4. Geologia i estructura

Mart es va formar fa uns 4500 milions d'anys, més o menys al mateix temps que la Terra i, d'igual manera que la resta de planetes rocosos, té un nucli central, un mantell rocós i una escorça sòlida.

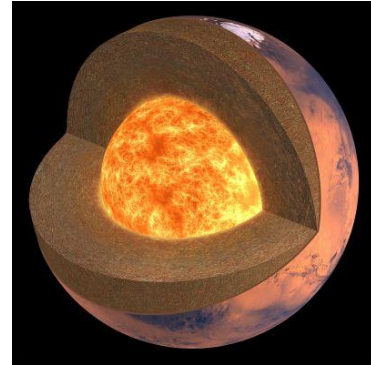
El nucli de Mart té un radi d'entre 1500 i 2100 kilòmetres i està fet de ferro, níquel i sulfur. Envoltant el nucli hi ha un mantell rocós d'entre 1200 i 1900 kilòmetres d'ample. Finalment, a sobre d'aquest, hi ha l'escorça feta de ferro, magnesi, alumini, calci i potassi, amb un gruix d'entre 10 i 50 kilòmetres.

El sòl del planeta és volcànic, presenta falles i altres depressions pronunciades. A Mart és on s'hi troba la muntanya més alta del nostre sistema solar, la Muntanya Olimp, amb 22'5 km d'altura (uns 3 cops més alta que l'Everest) . El fet de no tenir plaques tectòniques fa que en lloc de formar-se serralades de volcans se'n formi només un de molt gran.

El Planeta vermell en realitat és de molts colors. En la superfície es pot veure el color marró, el groc i el taronja. La causa de la vermellor de Mart és la presència d'òxid de ferro a la superfície i la pols d'aquest.

A part de la muntanya més alta, Mart també té el canyó més gran del Sistema Solar, anomenat Valles Marineris, i que té una llargària de 4.800 kilòmetres, una amplària de 320 kilòmetres al punt més ample i una profunditat d'uns 7 kilòmetres, al punt més profund. Això és unes 10 vegades la mida del Gran Canyó del Colorado.

Il·lustració de l'interior de Mart



Font: [https://www.seis-insight.eu/images/Public-Images/S4-Models/gallery\\_mars\\_internal\\_structure\\_6.jpg](https://www.seis-insight.eu/images/Public-Images/S4-Models/gallery_mars_internal_structure_6.jpg)

Imatge de la superfície de Mart



Font: [https://static.scientificamerican.com/sciam/cache/file/477D84DB-E163-4946-BAB3FBDB90900E1F\\_source.jpg?w=690&h=930&F0ABFA3F-D6D8-436E-9797399706C87C28](https://static.scientificamerican.com/sciam/cache/file/477D84DB-E163-4946-BAB3FBDB90900E1F_source.jpg?w=690&h=930&F0ABFA3F-D6D8-436E-9797399706C87C28)

Imatge del canyó Valles Marineris de Mart



Font: <https://3c1703fe8d.site.internapcdn.net/newman/csz/news/800/2016/fromsiliconv.jpg>

## 2.5. Atmosfera

L'atmosfera de Mart és increïblement dèbil, amb un volum de menys d'un 1% de l'atmosfera de la Terra i feta majoritàriament de diòxid de carboni, nitrogen i gasos d'argó. En aquesta atmosfera la quantitat d'oxigen és pràcticament simbòlica, ja que és inferior a l'1%.

La principal causa d'aquesta atmosfera tan dèbil és la falta de camp magnètic, el qual va desaparèixer fa uns 4,2 milions d'anys. Sense la protecció d'aquest, l'atmosfera de Mart es va començar a perdre lentament en l'espai i Mart va passar de tenir un ambient més càlid i humit a tenir-ne un de fred i inhabitable, com el que coneixem avui.

Tot i així, també hi ha altres causes d'aquesta pèrdua d'atmosfera, com la poca gravetat del planeta o les interaccions moleculars amb la llum solar, procés anomenat fotoionització.

En aquest procés de fotoionització, àtoms i molècules de l'atmosfera externa poden absorbir energia dels rajos UV del Sol i trencar-se en altres. Algunes d'aquestes partícules acaben amb energia suficient com per alliberar-se de la gravetat de Mart i sortir de l'atmosfera, fent que es perdi encara més quantitat d'aquesta.

A la nostra vista, el cel seria vermell i bromós a causa de la pols suspesa a l'aire, en lloc del típic cel blau a què estem acostumats.

Aquesta tènue atmosfera no protegeix gaire a Mart de l'impacte d'asteroides, meteorits o cometes, i és la causant dels canvis tan dràstics de la temperatura del planeta.

## 2.6. Temperatura

Les temperatures de Mart oscil·len moltíssim entre el dia i la nit. Pot arribar a més de 20°C durant el dia i baixar fins a -87°C durant la nit, amb una temperatura mitjana de -46°C, o 227 K. Però les temperatures més extremes es troben als pols, on poden arribar a fins -130 ° C.

Comparació de l'atmosfera de Mart i la de la Terra



Font: <https://scx1.b-cdn.net/csz/news/800/2019/5-newinsightin.jpg>

Això es deu a l'atmosfera tan tènue que té, ja que no reté l'escalfor del Sol sinó que la deixa escapar. Aquesta és tan dèbil que si una persona es posés de peu a la superfície de Mart, a l'equador, al migdia, sentiria com si fos primavera als seus peus (uns 24 graus Centígrads) i hivern al seu cap (0 graus Centígrads). Això passaria perquè notaria l'escalfor del terra i de l'aire que està a prop seu, però res més.

## 2.7. Llunes de Mart

Mart té dues llunes petites, Phobos i Deimos, que podrien ser asteroides capturats. Tenen forma de patata perquè no tenen suficient gravetat per fer-se esfèriques.

Aquestes llunes tenen el nom dels cavalls del déu Ares de l'antiga mitologia grega: Fobos (“por”) i Deimos (“terror”).

El fet que aquestes llunes orbitin a tan poca distància del planeta, i que estiguin acompanyades de satèl·lits de molt menor grandària anomenats asteroides troians, fa pensar que les dues llunes algun cop van ser asteroides més grans que van quedar enganxats a la gravetat marciana.

Mart amb les seves llunes



Font: <https://www.astromia.com/fotosolar/fotos/lunafobos.jpg>

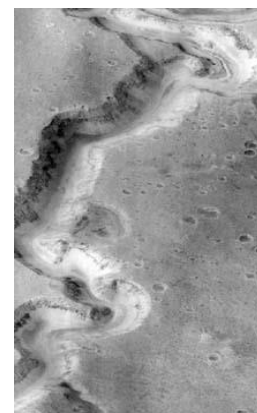
## 2.8. Aigua

Segons observacions recents fetes per sondes i vehicles robots, hi ha evidències que no tan sols hi va haver aigua líquida a Mart algun cop, sinó que aquesta va cobrir gran part de la seva superfície durant més de mil milions d'anys.

A la seva superfície s'han trobat antigues xarxes fluvials, deltes i llacs, així com roques i minerals que només es podien formar en aigua líquida.

Ara mateix, però, no hi ha aigua en estat líquid a Mart, ja que la poca pressió atmosfèrica no ho permetria, només s'ha trobat aigua en estat sòlid sota la superfície dels pols.

Imatge del Nanedi Vallis, a Mart



Font: [https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/gornitz\\_03/nanedi.jpg](https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/gornitz_03/nanedi.jpg)

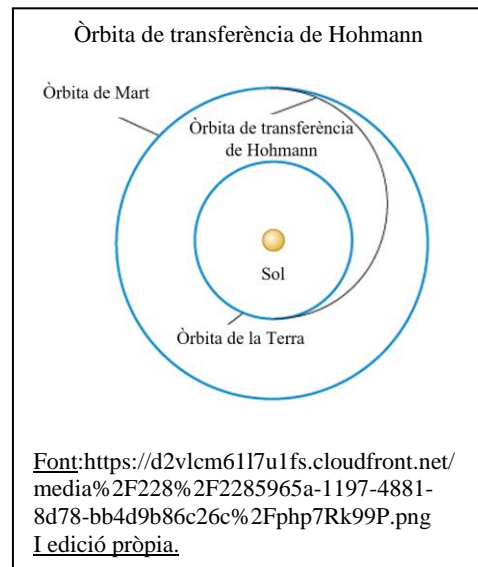
## **2.9. Potencial de vida**

La majoria de científics no esperen trobar cap forma de vida a Mart però estan investigant per saber si hi va haver vida molt temps enrere, quan Mart estava més calent i cobert d'aigua. Tanmateix, alguns més optimistes creuen que sí que s'hi podrien trobar microorganismes, tot i que fins ara no se n'hi ha trobat cap.

### 3. Com arribarà una missió tripulada al planeta vermell?

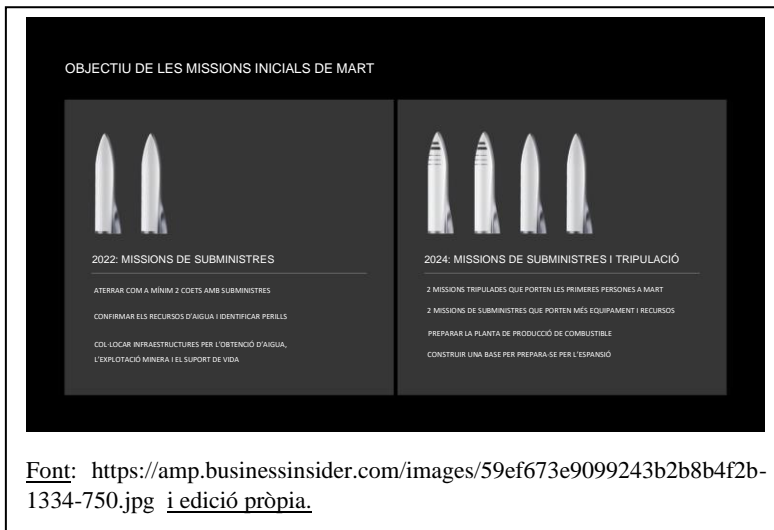
Per dur a terme la fita de portar humans a Mart, pot ser que la part més complicada sigui la del viatge, ja que s'haurà d'aconseguir construir una nau que transporti humans a més de 300 milions de km de distància, uns 800 cops la distància entre la Lluna i la Terra. A part, també caldrà fer que sobrevisquin tot el viatge, que pot durar entre 7 i 8 mesos. Això comporta trobar mètodes de reutilització i reciclatge de residus i de l'aire, i aconseguir unes bones condicions per viure dintre la nau.

La distància mitjana entre la Terra i Mart és d'uns 225 milions de kilòmetres, però a vegades s'apropa fins als 55 milions. Tot i així, per arribar al planeta vermell, no s'hi pot anar en línia recta, ja que es necessitaria una quantitat de combustible i una potència enormes. Per això, si es llença el coet una mica abans, es podrà aprofitar la velocitat d'òrbita de la Terra i s'hi podrà arribar gastant el mínim de combustible possible. Aquest mètode s'anomena Òrbita de Transferència de Hohmann, i és el més eficaç a l'hora d'enviar naus a Mart.



A dia d'avui, ja hi ha agències que treballen per dur a terme aquesta fita. Entre elles, hi ha la NASA, que ha declarat poder portar humans a Mart a la dècada del 2030, però encara no ha donat detalls de la missió. A més, també tenim el projecte Mars One, que pretén enviar 4 astronautes en un viatge de només anada al planeta vermell al 2033 i gravar-hi un *reality show* que es transmetria a la Terra; tot i així, encara no han donat gaire detalls de com realitzar aquest projecte. Finalment, un repte encara més ambiciós és el de SpaceX, que afirma poder-hi portar humans al 2024 i que ha donat detalls de la missió.

### 3.1. Projecte de SpaceX per fer la vida multi-planetària



L'empresa SpaceX, dirigida per Elon Musk, està treballant en una missió per enviar humans a Mart. El pla és fer-ho en dos viatges: el primer serà el 2022, quan s'hi enviaran dos coets BFR amb subministres i màquines per trobar una

font d'aigua i, en general, per començar a preparar-ho tot per quan hi arribin els humans. El segon serà dos anys més tard, el 2024, i consistirà a enviar-hi 4 coets més, dos dels quals portaran subministres i els altres dos aniran tripulats.

Per arribar a això, s'ha necessitat desenvolupar una tecnologia altament sofisticada. Ja fa temps, SpaceX va aconseguir crear un coet reutilitzable amb una gran capacitat de càrrega, d'uns 30.000 Kg: el Falcon Heavy; i ara mateix està construint un altre amb una capacitat de càrrega molt més gran, de 150.000 Kg. Aquest coet no només serà capaç de portar enormes quantitats d'equipament i subministres a Mart,



sinó que també hi podrà portar persones i retornar-les altre cop a la Terra. A més, en ser reutilitzable, serà viable econòmicament; per tant, tot i ser el coet amb més capacitat i més gran de la història, també serà el més econòmic, amb un cost de llançament d'uns 5 milions de dòlars americans.

#### 3.1.1. Coet BFR

L'última innovació de SpaceX és la nau espacial anomenada BFR (Big Falcon Rocket), la qual encara està en procés de construcció i serà en un futur pròxim la nau més gran i

amb més capacitat d'equipatge mai creada per l'home; la nau que molt possiblement ens portarà a Mart.

A part, la que potser és la característica més important d'aquest coet és que serà reutilitzable, és a dir, que ja no es deixarà abandonat a l'espai perquè es desintegri en entrar a l'atmosfera terrestre, sinó que es dividirà en parts per posteriorment reagrupar-se tot a la Terra. D'aquesta manera, no tan sols es reduirà increïblement el cost de llançament, sinó que també es permetrà aterrar a un lloc i després reutilitzar aquest mateix coet per tornar a la Terra.

El coet BFR haurà de cobrir totes les necessitats en una òrbita terrestre més gran. Es vol que tingui una sola nau que compleixi les característiques de les naus Falcon 9, Falcon Heavy i Dragon.

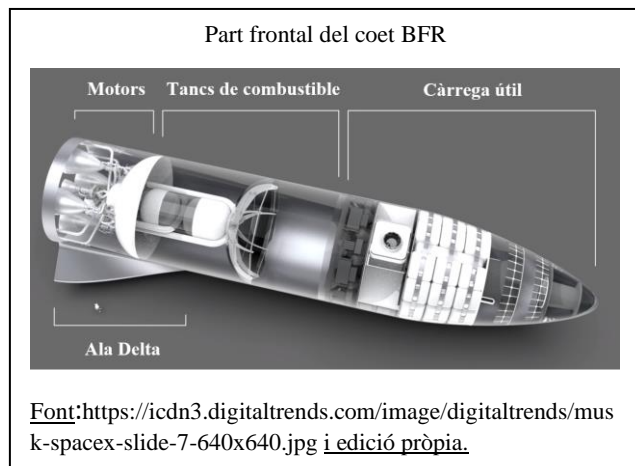


Aquest coet es divideix en dues parts: la que s'encarregarà de propulsar-lo fins a l'espai i la que

portarà a tots els tripulants a Mart. Un cop enviat a l'espai, primer es posarà a orbitar la Terra un temps, fins que vingui un altre coet BFR que s'acobli a aquest i li recarregui tot el motor. Un cop feta

aquesta proesa, el primer coet tindrà combustible suficient per separar-se de l'òrbita terrestre i dirigir-se cap al planeta vermell, continuant portant la quantitat de càrrega útil que es vulgui.

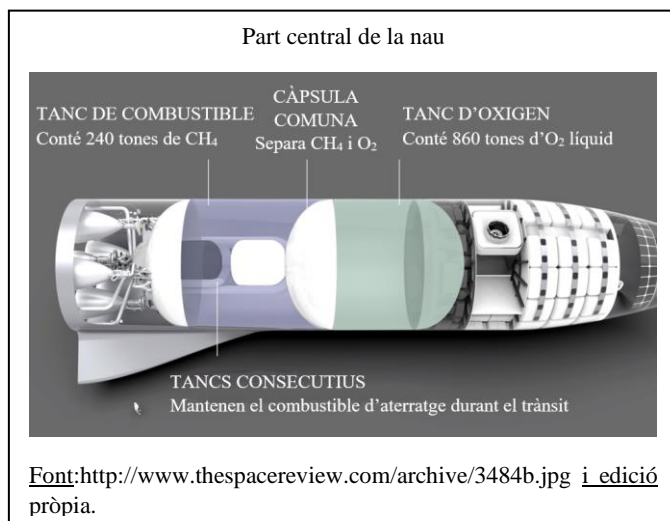
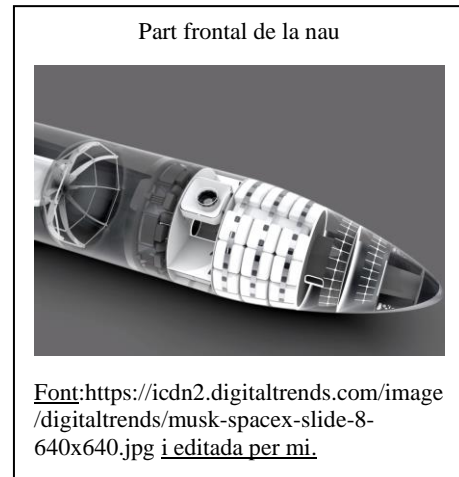
Si ens endinsem una mica en el disseny de la part frontal del coet, podem distingir tres parts ben diferenciades: la part de la càrrega útil, la dels tancs i la dels motors, a part d'una petita ala lateral que ajudarà el coet a maniobrar a l'hora d'aterrar en un planeta o lluna.



Aquesta última serà una peça clau per controlar la direcció, l'angle d'entrada i molts més factors importants a l'hora d'aterrar; ajudarà a improvisar i adaptar-se davant les diferents situacions que es pugui trobar quant a densitat de l'atmosfera o quant a les diferents càrregues que pugui portar.

La part més frontal del coet és la de la càrrega útil. Aquí serà on hi aniran els astronautes i on s'hi portaran els subministres. Amb un volum d'uns 825 m<sup>3</sup> (més gran que una cabina d'un A380), estarà proveït de 40 cabines pels passatgers i àmplies àrees comunes; a part d'un emmagatzematge central, una galera i un refugi contra tempestes solars. Tenint en compte que el viatge durarà uns 7 mesos, és beneficiós tenir cabines dintre el coet. En

aquestes hi podran cabre fins a 5 persones en cadascuna però, per fer-ho més còmode, es té pensat organitzar-ho en dues o tres persones per cabina, per tant, s'acabarien enviant unes 100 persones per coet.



A la part central del vehicle és on hi ha els tancs de combustible del coet. Aquí hi ha tres parts principals: la del tanc d'oxigen, que contindrà 860 tones d'oxigen líquid; la del tanc de combustible, on hi cabran 240 tones de metà, i la càpsula comuna, que comunica aquests dos tancs. A part, també hi ha dos petits tancs consecutius

dintre el tanc de metà, que són els que mantindran el propulsor d'aterratge en el moment en què es faci de nou l'ompliment de motors amb un altre coet que s'hi acoblarà i li traspasarà el combustible.

Finalment, tenim la secció dels motors, formada per 7 motors Raptor que tenen una empenta de 2000 kN cadascun i un diàmetre de 1'3 metres. Aquesta secció encara forma part del cap del coet. Són els motors que s'utilitzaran quan el coet se separi en dos. L'altra

part que se separa estarà proveïda de 31 motors Raptor, que produiran una empenta de sortida de 5400 tones, aixecant la massa total del vehicle, de 4400 tones.

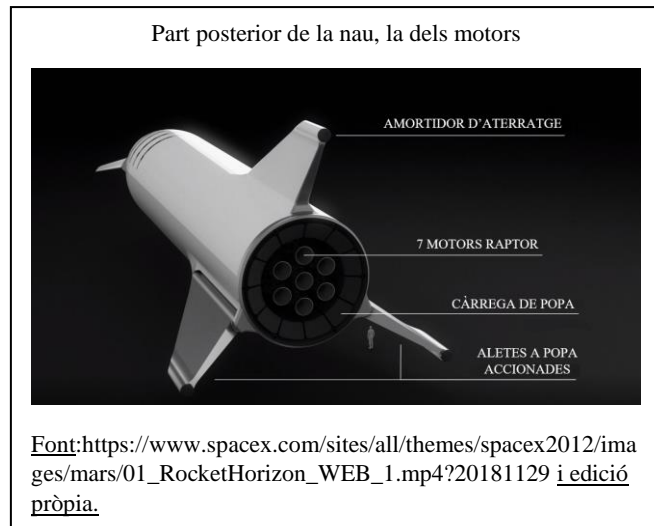
La millor part d'aquest sistema de motors és que està pensat perquè si un d'ells falla es pugui aterrar igualment sense cap problema, gràcies al seu sistema d'adaptació a

les circumstàncies en què es troba. D'aquesta manera, la probabilitat que l'aterratge surti malament es redueix a pràcticament zero.

Per acabar, un cop a Mart, s'haurà de produir altre cop combustible a partir dels recursos d'allà; però això serà relativament fàcil perquè l'atmosfera de Mart té un 96% de CO<sub>2</sub> i molta aigua en estat sòlid. Per tant, tindriem CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O a partir dels quals es podria crear CH<sub>4</sub> i O<sub>2</sub> mitjançant el procés Sabater.<sup>64</sup>

De les dues missions de Mart que es té pensat fer, en la segona s'intentarà construir una planta pels propulsors, una planta d'obtenció d'energia solar, tot el necessari per excavar i potabilitzar l'aigua i treure el CO<sub>2</sub> de l'atmosfera, i crear una màquina productora de CH<sub>4</sub> i O<sub>2</sub> pel combustible de la nau; i, finalment, començar a construir una base per viure-hi.

Finalment, cal dir que el BFR no només s'utilitzarà per a la missió a Mart, sinó que també se li donaran altres usos, com, per exemple, enviar satèl·lits a l'espai, enviar subministres a l'Estació Espacial Internacional, anar a la Lluna i, fins i tot, fer-hi una base lunar.

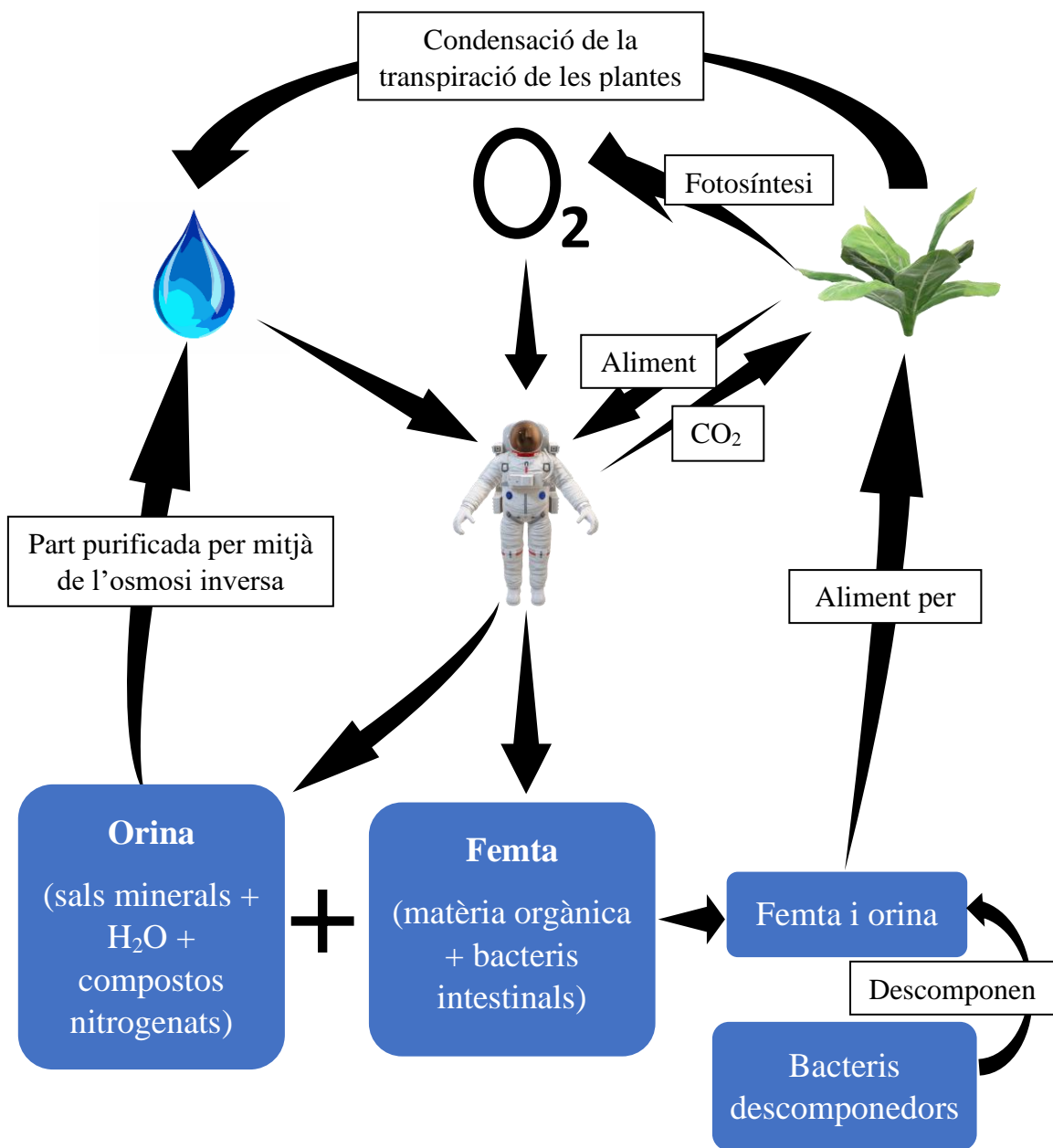


<sup>64</sup> Explicació del procés Sabatier a l'annex 5.

### 3.2. Processos de reciclatge de substàncies dintre la nau

Per a un viatge espacial d'uns quants mesos com el que seria el d'anar a Mart, s'hauria de portar una quantitat de recursos enorme, i això és inviable. L'única opció possible per resoldre aquest problema és la reutilització i el reciclatge de l'oxigen, l'aigua i l'aliment. Haurem de convertir la nau en un ecosistema tancat, i el projecte Melissa de la ESA i la UAB està enfocat a això, a generar un ecosistema tancat dintre una nau.

#### 3.2.1. El cicle del carboni, l'oxigen i l'hidrogen



Font: elaboració pròpia

Un astronauta necessita per sobreviure aliment, oxigen i aigua. A més, produeix CO<sub>2</sub>, excrements i orina.

Els excrements, que estan formats sobretot per matèria orgànica i bacteris intestinals, s'han de posar en una cambra tancada i sense oxigen per tal que es produeixi una descomposició anaeròbica. Més endavant, a la femta parcialment descomposta s'hi afegeix l'orina de l'astronauta, que conté aigua, sals minerals i compostos nitrogenats. Després s'afegeixen organismes descomponedors a la mescla que acaben tot el procés de descomposició.

Tot aquest material servirà d'adob per plantes i de nutrients per a cianobacteris com l'espíulina. Les plantes i les espíulines necessiten aquests materials que, juntament amb el CO<sub>2</sub> que proporciona l'astronauta, aigua i llum, fan possible la fotosíntesi i permet l'obtenció d'oxigen i aliment per a l'astronauta.

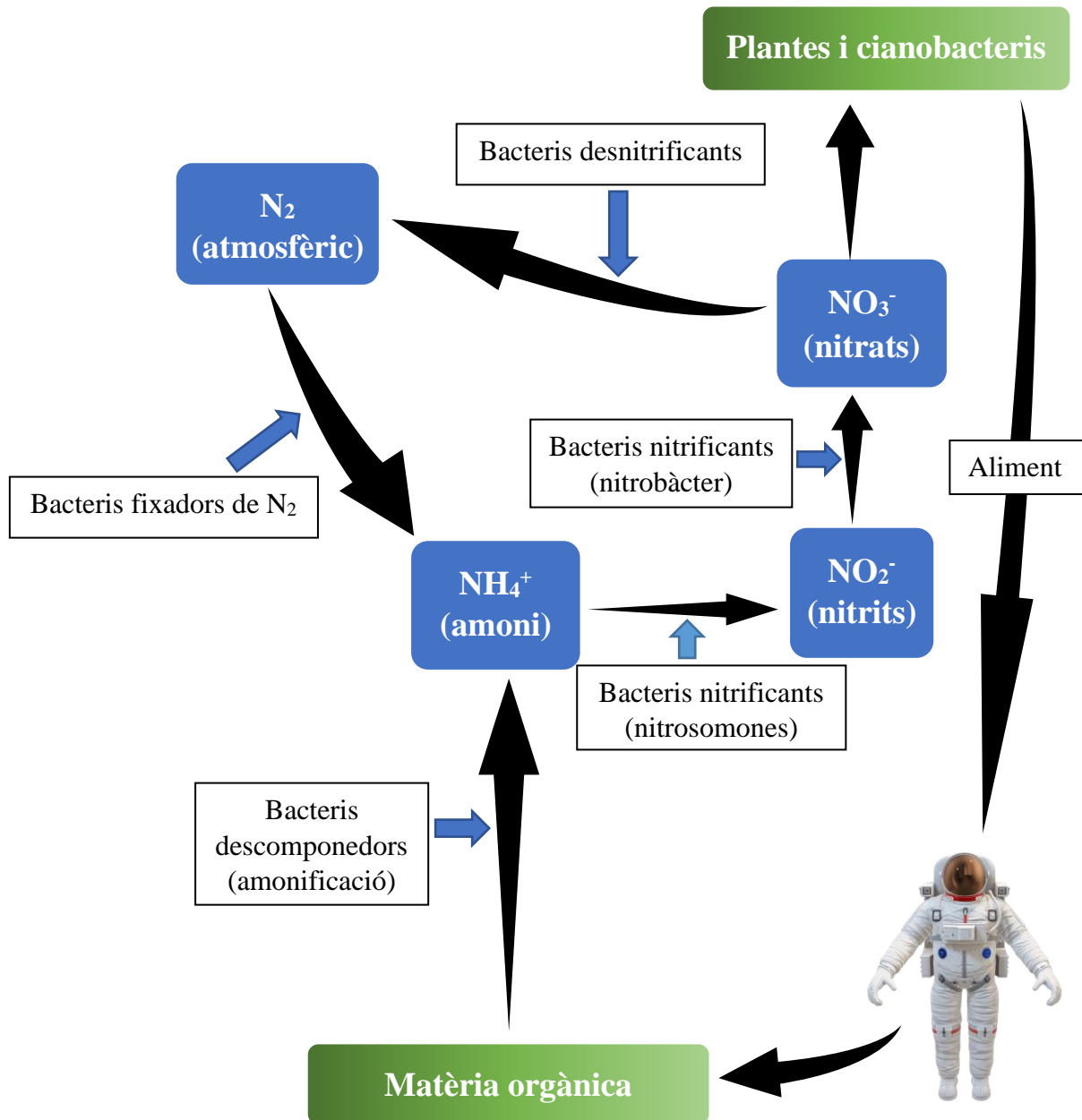
Segons els estudis realitzats dins el projecte Melissa de la ESA a la UAB, l'espíulina té molta capacitat de variar la quantitat d'oxigen produïda, mentre que les plantes són més constants en aquest aspecte. Això és molt útil per controlar la concentració necessària d'oxigen dintre la nau segons les necessitats dels astronautes. A part d'això, aquestes espíulines també són un aliment ric en sals minerals i aigua pels tripulants.

Gràcies a la condensació de la transpiració de les plantes, podem recuperar aigua que, juntament amb una part de la orina, és sotmesa a l'osmosi inversa dintre una màquina per obtenir aigua potable pels tripulants.

### **3.2.2. El cicle del nitrogen**

La matèria orgànica obtinguda (excrements, orina i restes de plantes) és sotmesa a descomposició per uns microorganismes que fan aquesta feina, obtenint així amoni (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a través del procés d'amonificació. Després, aquesta substància es transforma en nitrits (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) gràcies a bacteris nitrificants com els nitrosomonas, els quals es transformaran més tard a nitrats (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) per uns altres bacteris nitrificants, com els nitrobàcters. Aquests nitrats seran els que les plantes i els cianobacteris utilitzaran com a nutrient.

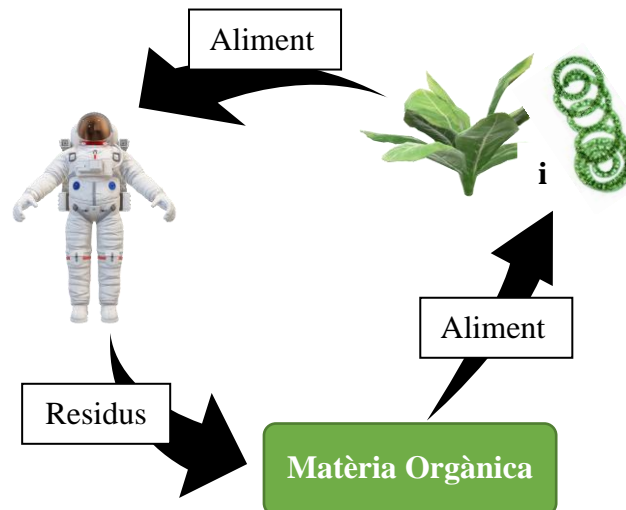
En els ecosistemes terrestres hi ha també els bacteris fixadors de nitrogen, que capten el  $N_2$  atmosfèric i el transformen en amoni. També hi ha els bacteris desnitrificants que converteixen els nitrats en  $N_2$  de l'atmosfera. Això que és molt important a la Terra, en una nau espacial no ho és tant.



Font: elaboració pròpia

### 3.2.3. El cicle del fòsfor i el sofre

La matèria orgànica està formada sobretot per quatre elements químics, que són el carboni, l'oxigen, el nitrogen i l'hidrogen; a continuació, els elements més abundants són el sofre i el fòsfor. El reciclatge d'aquests dos últims es fa a través de la descomposició de les restes de la matèria orgànica produïda majoritàriament per les persones i el posterior aprofitament en forma de sals minerals per part de les plantes i les espirulines.



Font: elaboració pròpia

### 3.3. Quines persones s'hi enviaran?

El planeta vermell és un lloc inhòspit i amb moltíssimes dificultats per a poder-hi establir una base humana. És per això que les primeres persones que s'hi enviïn han de ser unes persones adequades per aquesta situació i disposades a treballar dur i a patir el viure fora del seu planeta natal durant una mica més de 2 anys.

Per dur a terme tal proesa, es necessitaran botànics, biòlegs, enginyers, metges, físics, i molta altra gent de diversos camps amb els coneixements suficients per a poder establir una base estable a Mart on s'hi pugui habitar, encara que sigui en unes condicions no massa còmodes.

Recreació de l'arribada d'humans a Mart



Font: <https://www.prozesa.com/wp-content/uploads/2018/03/spacex-marte-600x359.jpg>

Al principi, durant els primers anys, només hi podran anar certes persones designades per treballar. Tot i així, Elon Musk va anunciar que li agradaria que aquest viatge fos accessible per a un gran nombre de persones, per la qual cosa ha decidit fer el viatge a Mart el màxim econòmic possible. Ell estima que en un futur no molt llunyà es podrà anar a Mart per un preu d'entre 100.000\$ i 500.000\$ per persona, la qual cosa és molt més accessible que el preu inicial de 10 bilions de dòlars.

Foto d'Elon Musk donant una conferència



Font: <https://image.cnbcfm.com/api/v1/image/104449185-GettyImages-610721256.jpg?v=1559941950&w=900&h=506>

Aquest preu pot fer pensar que Mart serà una via d'escapament per a la gent més rica, però el viatge a Mart no serà pas cap paradís. Davant d'aquesta pregunta, Elon Musk va contestar:

“No, la teva probabilitat de morir estant a Mart és molt més alta que a la Terra. Anar a Mart seria com anar a l'Antàrtida: serà difícil, allà el clima és molt inhòspit, tens moltes més possibilitats de morir que a la Terra, i bàsicament aniràs en una llauna metàl·lica pel mig de l'espai. Si aterres bé, de seguida hauràs de posar-te a treballar en fer el campament, quasi no tindràs temps lliure. I quan arribis allà, inclús després de tot això, et trobaràs en un ambient molt hostil, per tant tens una gran possibilitat de morir allà. Pensem que pots tornar a la Terra, però no n'estem segurs. Ara sona això com una via d'escapament per la gent rica.”<sup>65</sup>

Entrenament d'un astronauta sota aigua



Font: [https://www.macleans.ca/wp-content/uploads/2016/03/MAC33\\_SPACE\\_INTERVIEW\\_SAINTEJACQUES\\_CAROUSEL09-1024x576.jpg](https://www.macleans.ca/wp-content/uploads/2016/03/MAC33_SPACE_INTERVIEW_SAINTEJACQUES_CAROUSEL09-1024x576.jpg)

Tot i aquestes declaracions, ell mateix en diverses entrevistes ha anunciat que una de les coses que li agradaria més fer en la seva vida seria anar a morir a Mart, ja que per ell seria un repte, com escalar l'Everest.

A part de tot això, també cal tenir en compte que aquestes persones hauran de passar per un dur entrenament per poder arribar a ser

<sup>65</sup> Entrevista a Elon Musk feta per Axios al 2018

astronautes, en el qual hauran de superar proves molt exigents a nivell psicològic i mèdic ja que la seva feina a l'espai pot suposar un risc per a la seva estabilitat emocional, el seu funcionament psicològic i el seu rendiment cognitiu.

### 3.4. Estudis i simulacions

En missions de llarga durada, com la que seria anar al planeta vermell, hi ha factors que representen un risc elevat per a la salut dels astronautes, especialment en l'esfera psicològica. Per aquest motiu, la preparació d'aquest tipus de viatges implica l'estudi de

Il·lustració d'un astronauta a la superfície de Mart



Font: [https://www.macleans.ca/wp-content/uploads/2016/03/MAC33\\_SPACE\\_INTERVIEW\\_SAINTEJACQUES\\_CAROUSEL09-1024x576.jpg](https://www.macleans.ca/wp-content/uploads/2016/03/MAC33_SPACE_INTERVIEW_SAINTEJACQUES_CAROUSEL09-1024x576.jpg)

multitud de factors psicològics i possibles escenaris que poguessin succeir durant una missió d'aquestes característiques. Quin efecte psicològic pot tenir l'aïllament durant mesos en una nau on l'espai és limitat, no hi ha gravetat, el treball ha de ser precís, les nacionalitats dels tripulants són variades i les comunicacions amb la

Terra demorades en més de 30 minuts a causa de les grans distàncies? Aquestes qüestions hem d'estudiar-les a fons i preparar-nos davant les possibles eventualitats que poguessin succeir. Òbviament no es poden comprovar tots aquests factors en missions reals i per això s'utilitzen les simulacions a la Terra.

Al llarg de la història de l'exploració espacial s'han fet diverses simulacions i experiments per preparar-se per un viatge de llarga durada. Entre ells, n'he seleccionat dos que crec que són de gran importància: l'experiment dels germans bessons de la NASA i l'experiment anomenat Mars500.

L'experiment dels germans bessons que va dur a terme la NASA des del 27 de maig de 2015 fins al dia 1 de maig de 2016 va ser protagonitzat per l'astronauta Scott Kelly que es va passar un any a l'espai mentre el seu germà bessó estava a la Terra per comparar els efectes d'un vol espacial en el cos

Germans Scott i Mark Kelly



Font: [https://s.abcnews.com/images/WNT/160302\\_wn\\_kerley\\_16x9\\_992.jpg](https://s.abcnews.com/images/WNT/160302_wn_kerley_16x9_992.jpg)

humà. Durant tot un any, han anat comparant mostres de sang i orina dels dos. En aquest experiment es va descobrir que els telòmers dels cromosomes ( les puntes dels cromosomes, que protegeixen el nostre material genètic) s'havien allargat amb el vol, però que un cop a Terra s'havien tornat a escurçar. A part, també es van trobar canvis en les manifestacions d'alguns gens relacionats amb el metabolisme de Kelly, la qual cosa ja era d'esperar ja que és molt comú que passi aquí a la Terra també. La resta de coses, com la pèrdua de massa muscular o òssia i altres símptomes típics dels astronautes, van sortir tal com s'esperava, sense novetats.

Equip de l'experiment Mars500



Font: <https://images.immediate.co.uk/production/volatile/sites/25/2019/06/Mars500-ce94b23.jpg?quality=90&resize=620,413>

El segon experiment té el nom de Mars500, i va ser un experiment dut a terme pels russos que consistia a tenir 6 persones tancades dintre d'un mòdul de Moscou durant 520 dies per provar els efectes de l'aïllament que possiblement viurien els futurs viatjants de Mart. Durant tot aquest temps van haver d'estar totalment desconnectats de l'exterior. L'únic que podien fer era donar-los mostres d'orina i sang cada certs dies.

Durant tot aquest temps van haver de fer experiments simulats al matí, netejar i fer altres tasques; durant la tarda, que la tenien lliure, la majoria del temps s'entretenien jugant a videojocs o llegint llibres. Tot i que va ser difícil, tots ells van aguantar fins al final.

## 4. Adversitats que ens trobem en un viatge a Mart per la supervivència humana

### 4.1. Obtenció de l'aigua

Un dels recursos més importants que haurem d'aconseguir a Mart serà l'aigua. Per tant, hauríem de tenir clar quina quantitat d'aquesta portarem, com en podem aconseguir un cop estem a Mart i com es pot reciclar.

Recreació d'un astronauta obtenint aigua a Mart

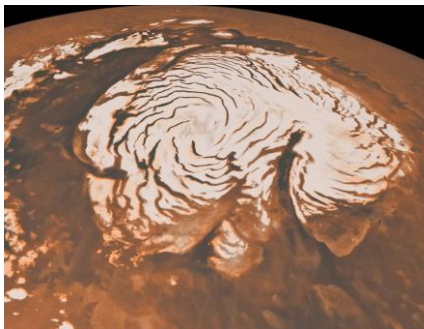


Font: <https://youtu.be/FoI2LDGhaGg?t=26>

#### 4.1.1. On es troba l'aigua a Mart?

El primer de tot, per suposat, serà buscar on es troba aquesta aigua. La NASA ha fet diferents estudis sobre aquest tema i ha vist que la majoria d'aigua del planeta Mart es

Imatge d'un dels pols de Mart



Font: [https://cadenaser05.epimg.net/ser/imagenes/2017/08/22/ciencia/1503395747\\_377009\\_1503395811\\_noticia\\_normal.jpg](https://cadenaser05.epimg.net/ser/imagenes/2017/08/22/ciencia/1503395747_377009_1503395811_noticia_normal.jpg)

troba als pols o a prop d'aquests. Tot i així, recents exploracions han trobat aigua en estat sòlid sota el

seu sòl en altres regions. Tota en estat sòlid, ja sigui en llacs subterranis o a pocs centímetres de la superfície. A part,

també se n'ha trobat a turons i es diu que

també es podria extreure dels minerals hidratats, però això suposaria una despesa d'energia tan gran que seria inviable. El que passa és que degut a la inestabilitat del clima de Mart als seus pols, es té

Foto de calcantita, un mineral hidratat



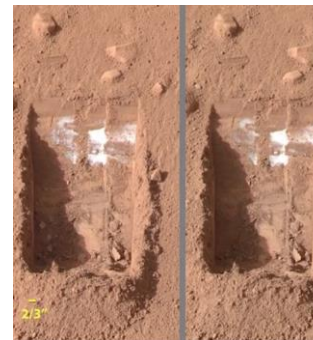
Font: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Chalcanthitefrance.jpg>

Cràter Korolev, ple de gel d'aigua, a prop del pol nord



Font: <https://cdn.cnn.com/cnnnext/dam/assets/181220123554-15-mars-best-moments-exlarge-169.jpg>

Imatge de la missió Phoenix de la NASA



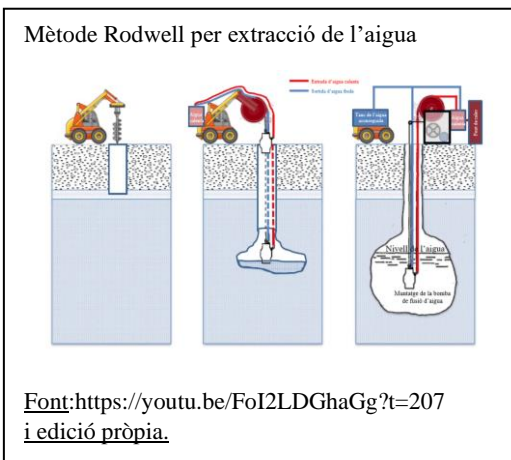
Font: <https://youtu.be/FoI2LDGhaGg?t=58>

pensat establir la colònia a prop del seu equador, tot i que aquí sigui on menys aigua hi ha. Per tant, l'aigua que s'extrauria hauria de ser sobretot la subterrània. Suposant que al lloc on s'aterri hi hagués aquesta aigua, s'hauria de trobar una manera d'obtenir-la.

Es calcula que si s'aconseguís fondre tota l'aigua de Mart es podria cobrir tot el planeta 11 metres. Del total d'aquesta aigua, uns 5 milions de Km<sup>3</sup> pertanyen a l'aigua dels pols i la resta és subterrània.

#### 4.1.2. Extracció de l'aigua

Per a l'extracció de l'aigua, l'exèrcit nord-americà està desenvolupant un mètode que es diu *Rodríguez Well* o *Rodwell*. Consisteix a perforar el terra de roca de la superfície per arribar a un glacià subterrani. Un cop allà, s'hauria de desfer el gel i fer un pou. Llavors, dintre aquest pou, se



directament a l'exterior, se sublimaria i es perdria en l'atmosfera. Per això, a l'hora d'extreure-la, s'emmagatzemaria directament en un tanc d'aigua per tal que no es perdés res.

L'únic problema que hi ha amb aquest mètode és la gran quantitat d'energia que consumiria, però aquest problema se solucionaria fàcilment amb un petit generador elèctric anomenat Generador Termoelèctric per Radioisòtops, que consisteix en



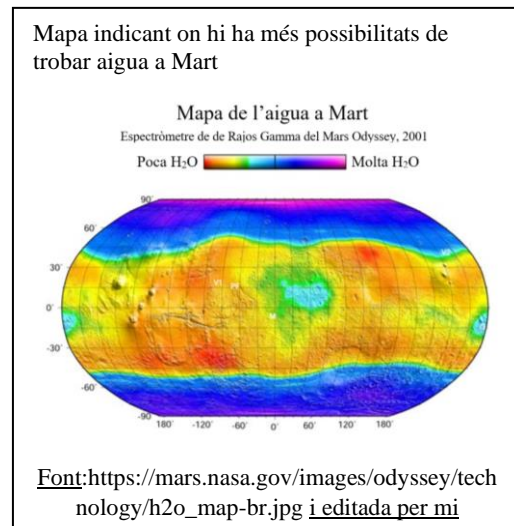
li  
posaria  
aigua  
calenta perquè anés desfent la del seu voltant i  
així ampliar cada cop més la cavitat  
subterrània. El que passa és que si aquesta  
aigua  
sortís



alliberar calor amb la desintegració d'un material radioactiu que es converteix en electricitat directament. Només amb un d'aquests tindriem l'energia suficient per dur a terme aquest procés.

Un cop aconseguida aquesta aigua, es podrà utilitzar de formes diferents, com per exemple, per a la climatització dels habitatges o com a beguda, però el més probable és que la majoria es destini a la producció de combustible per les naus, per crear metà i oxigen líquid, ja que per les altres funcions el més rentable seria reutilitzar la que ja tenim.

Tot i així, res del que s'esmenta serà possible si no es troba l'aigua en el lloc on s'aterri, per això, el més convenient seria enviar diverses missions més no tripulades abans d'enviar-hi humans per trobar un lloc on hi hagi aigua de forma assegurada. Si no es fes així, seria molt més arriscat i difícil dur a terme una missió d'aquest estil.



#### 4.2. Obtenció de l'aliment

Una missió a Mart pot durar al voltant de tres anys tenint en compte els viatges d'anada i tornada i l'estada allà. Com ja he explicat anteriorment, dintre les naus hi haurà uns processos de reciclagem de residus i aliments molt efectius però, tot i així, no són perfectes i, per això s'ha de portar aliment suficient.

La majoria del menjar que s'hi envii serà enviat en bosses, com a càrrega. Gran part estarà pensat per ser menjat al cap d'uns quants mesos, un cop estiguin a Mart. Per un viatge de tant temps es calcula que caldrien uns 11.000 kg d'aliments per persona. Portar tot aquest aliment dintre una nau per diverses persones és inviable, per això es portarà una mica d'aquest menjar dintre la nau (que s'anirà reutilitzant i reciclant durant el viatge) i la resta (el que es necessiti un cop s'hi arribi i per la tornada) es portarà en una altra nau que serà específicament per a les càrregues.

#### 4.2.1. Per què és important portar aliments variats?

Un astronauta ja sap que en un viatge espacial no podrà menjar tot el que es menja a la Terra, ja que en aquests viatges el que es busca és optimitzar al màxim l'espai i els recursos. Per això, si ja tenen un aliment que els mantingui amb vida, aquest no té perquè ser exquisit. Ara bé, quan ja porten uns quants dies menjant el mateix o variant molt poc, al final es cansen d'aquell menjar i ho passen malament. Si això ja passa en uns pocs dies o setmanes, en un viatge de tres anys seria un

Problemes psicològics per dietes poc variades



Font: <https://planyourmeetings.com/wp-content/uploads/2014/06/brain-food.jpg>

complet martiri pels astronautes perquè estarien menjant per sobreviure en lloc de per plaer. De manera que s'ha d'intentar tenir un menú variat, tot i que els aliments estiguin



Font: <https://fielinks.com/sites/default/files/images/comida-espacio-exterior.jpg>

tots conservats en bosses durant setmanes. Això és el que ha fet l'Estació Espacial Internacional, per exemple, implementant un menú de 200 menjars diferents. A part, un altre motiu és que la varietat d'aliments també significa una varietat de nutrients i d'aquesta manera els astronautes tindrien una alimentació més variada i sana.

#### 4.2.2. Cultius hidropònics a l'interior de les naus

Tot i que el menjar que es porti per ser conservat durant mesos també sigui bo, hi ha una manera no gaire difícil d'aconseguir aliments frescos, que és tenir cultius hidropònics a les naus.

Els cultius hidropònics consisteixen a fer créixer plantes en una solució d'aigua amb sals minerals, però sense terra. Aquest mètode és molt possible que es faci servir no només

Cultius hidropònics en un laboratori



Font: <http://www.ecologyway.info/wp-content/uploads/2018/04/the-first-antarctic-greenhouse-harvest-may-lettuce-go-to-mars.jpg>

pel trajecte, sinó també un cop arribin a Mart, ja que és molt pràctic i una bona manera de tenir aliments frescos sempre.

#### 4.2.3. Com cultivar plantes a Mart per aconseguir aliment?

El que potser serà més important a l'hora de produir l'aliment a Mart serà fer un hivernacle pressuritzat i sota terra. Les plantes, quan experimenten la poca pressió atmosfèrica, transpiren molt més del que ho fan normalment i tenen una gran pèrdua d'aigua. Per això, necessiten ser regades molt més i, inclús, podria ser que ni tan sols produïssin aliment i morissin. A sobre, a la superfície de Mart hi arriba una gran quantitat de radiació del Sol i, amb un hivernacle a l'exterior, aquesta radiació no



es frenaria del tot i podria tenir efectes negatius per les plantes. Per això, el millor per protegir-se de la radiació és fer l'hivernacle sota terra.

A part d'això, es creu que les primeres generacions de plantes a Mart haurien de ser amb cultius hidropònics perquè gran part del terra de Mart que s'ha explorat conté metalls pesats que van malament per la salut. Això seria un factor al que se li hauria de sumar la falta de nitrogen i fòsfor d'aquest terra.

#### 4.3. Obtenció d'oxigen

Les persones necessitem aproximadament 0'7 kg d'oxigen al dia per viure. Si anem a Mart, haurem de fabricar oxigen constantment pel viatge i per l'estada allà.

Enviar aire pressuritzat a Mart seria inviable totalment, no només per l'espai que ocuparia, sinó també el seu gran cost, ja que costaria molts milions d'euros. Això ens deixa amb dues opcions: reciclar l'oxigen que ja tenim i crear-ne de nou un cop a Mart. Com ja he explicat a l'apartat dels processos de reciclatge dintre la nau<sup>66</sup>, es pot crear un cicle tancat

---

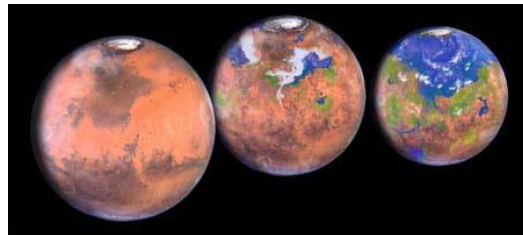
<sup>66</sup> Veure l'apartat 4.2

i, a més, es poden utilitzar uns mètodes que permetran regular i produir l'oxigen dins la nau. Aquest procés seria també el que es podria aplicar un cop estem a Mart. Però tot i així, per tenir més reserves d'oxigen, hi ha uns quants mètodes que es poden utilitzar i que explicaré en els tres apartats següents.

#### 4.3.1. Mètode de creació d'un nou ecosistema a través de la fotosíntesi (ecopoiesi)

Aquest procés biològic consisteix en introduir cianobacteris i plantes al terra de Mart i deixar-les molt de temps perquè facin la fotosíntesi i canviïn el CO<sub>2</sub> de l'atmosfera en oxigen. Aquest procés l'explicaré més a fons a l'apartat 6.1.3.

Representació de l'ecopoiesi a Mart



Font: <http://1.bp.blogspot.com/-j3JW7ta6jMU/T1zvkk0s6XI/AAAAAAAAA14/7m9MGdX0iSI/s1600/proceso+terraformacion+de+marte.jpg>

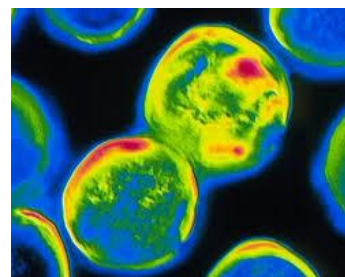
#### 4.3.2. Mètode de l'electròlisi per descompondre el CO<sub>2</sub>

Consisteix en sotmetre el CO<sub>2</sub> a una alta pressió i una alta temperatura, juntament amb un camp elèctric que permeti separar l'oxigen del CO<sub>2</sub> i que els àtoms d'oxigen separats s'ajuntin entre ells formant O<sub>2</sub> atmosfèric. El problema és que requeriria molta quantitat d'energia fer-ho. Aquest procés també l'explicaré més a fons a l'apartat 6.1.3.

#### 4.3.3. Mètode dels *archaeoglobus* per descompondre el perclorat

Aquest mètode s'assembla força al de les plantes i els cianobacteris en el sentit que aquest també transformaria un component de Mart en O<sub>2</sub>. La diferència està en que, enlloc de transformar el CO<sub>2</sub> atmosfèric, transforma el perclorat que hi ha al terra de Mart i ho fa mitjançant els *archaeoglobus*, un tipus d'arqueobacteris<sup>67</sup> que aprofiten aquest perclorat, que és molt perjudicial per la salut

Imatge d'*archaeoglobus*



Font: [https://microbewiki.kenyon.edu/images/4/42/Archaeoglobus\\_200.jpg](https://microbewiki.kenyon.edu/images/4/42/Archaeoglobus_200.jpg)

<sup>67</sup> Els *archaeoglobus* són un tipus d'arqueobacteris, els quals tenen la característica de poder-se adaptar a medis molt extrems i els *archaeoglobus* en concret són capaços de transformar el perclorat en oxigen.

humana, per crear oxigen. Aquest perclorat es creu que conforma un 1% del terra de Mart. D'aquesta manera, els *archaeoglobus* no tan sols ajudaran a crear oxigen, sinó que també faran el terra de Mart més segur per nosaltres i per les plantes que hi podrien créixer.

#### 4.4. Obtenció d'energia

Qualsevol missió a Mart necessita una font d'energia, tant pel Rover, per fer les seves tasques, com per l'astronauta, aconseguir O<sub>2</sub> per respirar o aigua per beure. Però com crearem aquesta energia i quina és la millor manera de fer-ho a Mart?

Per a una missió temporal d'uns 3 anys a Mart, es calcula que un astronauta necessitarà al voltant de 50 kW. Per a una de permanent, en canvi, baixaria a entre els 20 i 30 kW. Si una bombeta necessita 100 W per funcionar, seria com tenir-ne entre 200 i 500 d'enceses en tot moment.

Per obtenir energia a Mart s'ha d'analitzar totes les possibilitats. Per començar, els combustibles fòssils que tan utilitzem aquí no es podrien fer servir allà. La NASA mai ha trobat combustibles fòssils a Mart, i si en trobessin voldria dir que algun cop abans hi va haver vida allà, per tant, ho voldrien estudiar abans. Tot i així, aquests combustibles no es podrien cremar per la falta d'oxigen a l'atmosfera. Les altres fonts d'energia que es podrien pensar són: la geotèrmica, l'eòlica, la solar i la nuclear.

##### 4.4.1. Energia geotèrmica

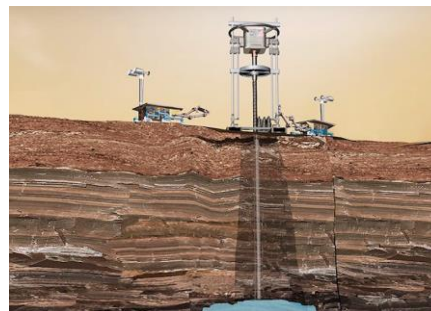
La missió In-Sight de la NASA, que segueix activa actualment, ha descobert que l'interior de Mart no és del tot sòlid, sinó que està fos i, per tant, hi podria haver encara molta activitat geotèrmica en el planeta. Aquesta missió de la NASA ens està donant molta informació sobre el nucli de Mart, però també ens diu que hi ha assentada aigua i llacs

Recreació d'un astronauta amb un ròver a Mart



Font: [https://st2.depositphotos.com/1000754/10532/i/950/depositphotos\\_105320226-stock-photo-the-astronaut-and-a-mars.jpg](https://st2.depositphotos.com/1000754/10532/i/950/depositphotos_105320226-stock-photo-the-astronaut-and-a-mars.jpg)

Il·lustració d'un pou a Mart extraient aigua



Font: <https://youtu.be/FoI2LDGhaGg?t=170>

molt calents sota la superfície. La part negativa és que per aconseguir aquesta energia geotèrmica s'hauria de cavar fins a aquests llacs calents i es creu que podrien estar a quilòmetres sota la superfície, la qual cosa dificultaria molt arribar fins a ells. Tot i així, si se'n trobessin de més pròxims, sí que es podria fer.

#### 4.4.2. Energia eòlica

A Mart hi pot haver vent de 100 Km/h però, degut a la poca pressió i densitat de l'atmosfera, la producció d'energia eòlica és molt complicada. Es podria comparar a un rem que empeny l'aigua i dona impuls perquè aquesta aigua té una certa densitat, però si estiguessis en un globus aerostàtic i intentessis impulsar-te en el vent amb aquest rem, no faries res perquè la densitat del vent és massa petita. El mateix passa amb Mart.

Imatge d'aerogeneradors



Font: [https://ichef.bbci.co.uk/news/936/cpsprodpb/7B98/production/\\_102604613\\_windturbines.jpg](https://ichef.bbci.co.uk/news/936/cpsprodpb/7B98/production/_102604613_windturbines.jpg)

#### 4.4.3. Energia solar

Molt possiblement l'energia solar, juntament amb la nuclear, seran les més utilitzades en les primeres missions a Mart degut a la seva eficiència.

Recreació de panells solars a Mart



Font: <https://youtu.be/ysLHApdznic?t=28>

El manteniment de l'energia solar és molt fàcil, només caldria anar revisant els cablejats de tant en tant i netejar-ho després d'una tempesta de sorra.

El fet que Mart estigui més lluny del Sol que la Terra podria fer pensar que rep menys energia solar, i això és veritat, però

com que alhora té una atmosfera tant dèbil, aquesta hi penetra més fàcilment i arriba a tenir una intensitat similar a la d'aquí la Terra.

El problema que hi ha amb aquesta font d'energia és que durant les nits i les tempestes de sorra no funcionaria i, si només depenguéssim d'aquesta font energia, hi hauria moments en els què ens en podríem quedar sense per una tempesta de sorra.

#### 4.4.4. Energia nuclear

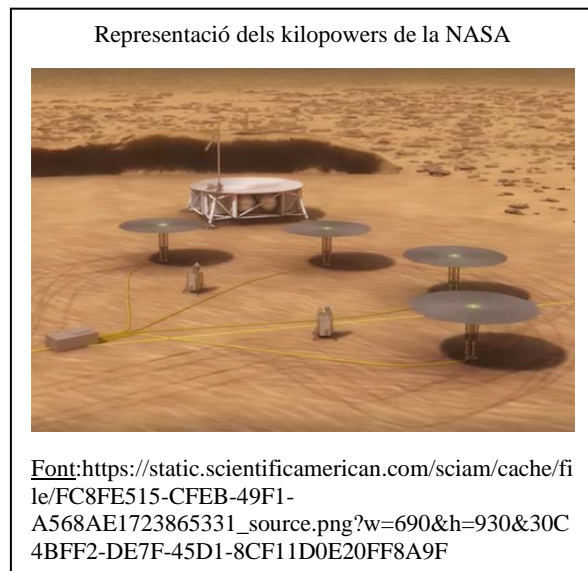
L'energia nuclear és molt eficient, poc espaiosa i pot funcionar sempre sense interrupció.

A part dels petits residus radioactius que podria deixar al cap de molt de temps (cosa que tampoc seria un problema greu), un dels únics problemes que presentaria seria que a l'hora del manteniment es requeririen astronautes molt ben formats que hi entenguessin molt per tal d'evitar catàstrofes.

Ara mateix la NASA ja està treballant en petits reactors nuclears anomenats "kilopowers", que crearan entre 1 i 10 kW d'energia constantment que es podrà utilitzar per tot tipus de tasques a Mart.

En conclusió, el més probable és que en les primeres missions a Mart segurament

s'utilitzaran aquests dos últims mètodes però, quant a l'energia nuclear, no ens haurem de preocupar per la radiació a l'hora de portar el reactor fins allà perquè es portarà en una nau a part no tripulada.



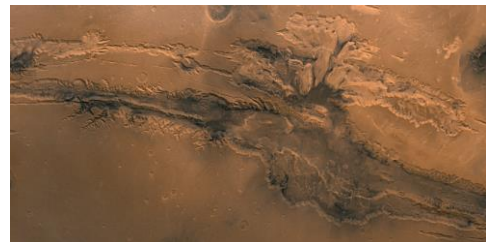
#### 4.5. On i com viurem a Mart?

Crear una base permanent a Mart significa que s'haurà de buscar la manera de construir habitatges eficaços en tots els sentits possibles (protecció contra la radiació, no molt difícils de construir i amb capacitat per viure-hi varies persones) i, a més, s'haurà de triar un lloc que sigui idoni per això, un lloc on no només hi hagi possibilitats de trobar aigua, sinó també on arribi molta quantitat de llum solar i altres recursos.

#### 4.5.1. Quin és el millor lloc per crear una colònia?

Tot i que el planeta Mart no té la diversitat de paisatges i climes que té la Terra, a l'hora de buscar un lloc on aterrar haurem d'estar preparats per adaptar-nos al clima concret d'aquest lloc. Anar a prop de l'equador de Mart, on hi arriba més calor i té més hores de Sol seria molt diferent d'anar a un dels seus pols. El que segur que es busca en aquest lloc és la capacitat de trobar-hi recursos amb facilitat que permetin la sostenibilitat d'una base humana allà. Hi hauria d'haver aigua en forma de gel, un sòl amb materials per crear oxigen com el perclorat i metalls bons per construir-hi estructures, i un terra amb una bona composició i textura per fer-hi créixer plantes. Per trobar el millor punt on assentar una futura colònia a Mart, la NASA va proposar a científics de tot el món que triessin llocs a Mart que podrien ser idonis per futures colònies. D'entre els 45 llocs que van proposar en la primera conferència, se'n va triar un que va ser considerat el millor de tots, el qual es troba a prop del canyó Valles Marineris.

Imatge del canyó Valles Marineris



Font: <https://space-facts.com/wp/wp-content/uploads/valles-marineris.png>

Aquesta posició no només és bona perquè està a prop de l'horitzó i hi arribarà força llum

solar, sinó que també hi ha una enorme plana perfecte per aterrar-hi un coet i per construir-hi un assentament. A més, també es buscava trobar un lloc que permetés fer descobriments científics sobre Mart, com trobar-hi matèria orgànica o inclús vida; i al lloc on han decidit anar es creu que en un passat hi va haver molta aigua líquida, per tant, és on més possibilitats hi hauria de trobar-hi fòssils o matèria orgànica. D'aquesta manera, també es creu que aquella zona pot estar molt humida i, per tant, tindrien una font d'aigua enorme.

#### 4.5.2. Com seran els futurs habitatges a Mart?

Si enviem persones a Mart, sigui per missions temporals o per permanents, s'haurà de fer uns habitatges que els permetin viure protegits de les adversitats de l'exterior. Però com seran aquests habitatges?

Per dissenyar un habitatge de Mart hi ha diverses coses que s'han de tenir en compte: on emmagatzemarem les reserves d'aigua i oxigen, com ens protegirem de la radiació i com estarà equipada per dintre (amb habitacions, llits, un petit hort, un laboratori, etc.).

Per començar, el fet que la pressió atmosfèrica de Mart sigui tan baixa, provocarà un fort



contrast amb la pressió de dintre l'habitatge, com passa, per exemple, amb un globus o a la cabina d'un avió. Per això, s'haurien de fer d'una forma que la pressió de dintre es repartís perfectament per tota la paret, per tal que no es concentrés tota en un punt i es trenqués la paret. La millor forma de fer això és fer-ho en forma de cilindre o una mica esfèric.

Després s'hauria de mirar de tenir una temperatura regulada i agradable a l'interior. Els canvis de temperatura de Mart són enormes i això podria ser un problema, però la solució no és tan complicada. Tenint en compte que tindriem mètodes de producció d'energia, com els mencionats en l'apartat 5.4, podríem fer servir aquesta energia per controlar la temperatura de l'interior al nostre gust. Tot i així, com que el que volem també és estalviar energia, podríem fer les parets aïllants per tal d'impedir que l'escalfor de dintre es perdi.

El següent problema a afrontar seria la radiació. Amb una paret senzilla no n'hi hauria prou per protegir-se de tota la radiació que arriba a Mart. Una manera de protegir els habitatges d'aquesta radiació seria cobrir-los amb una capa gruixuda de terra o sota-terra. La radiació pot passar a través de la majoria de materials molt fàcilment, però si hi ha suficient massa entre la persona i la radiació, teòricament es pots protegir d'aquesta.



Les principals propostes que s'han fet són dues. Una d'elles, proposada per la NASA, consisteix en uns edificis construïts amb impressores 3D que agafen la terra de Mart per construir les parets exteriors i l'estructura interna es porta feta en naus. Aquest edifici seria el més pràctic perquè no només té una forma i una mida bones per les condicions en què estarà, sinó que també seria fàcil i ràpid de construir perquè d'això se n'encarregarien

uns drons amb impressores 3D, o com a mínim aquesta és la idea a qui van donar el premi en un concurs de la NASA. Aquest és el model que té més possibilitats de ser utilitzat en el futur, tot i que ara encara està en una etapa molt prematura.

L'altra proposta més destacada seria viure en túnels subterranis de lava solidificada. Aquests es troben a uns 10 metres de fondària i són força abundants a Mart. Un



d'aquests no només ens protegiria de la radiació, sinó que també ho faria de les tempestes



de sorra i aportaria una temperatura una mica més estable que a l'exterior. Es té previst que dintre dels túnels s'hi portin habitatges inflables que, com no caldrà protegir-se més de la radiació, podran tenir les parets força fines i ser bastant pràctics a l'hora de transportar; més o menys com una barca inflable. Tot i així,

en aquest cas, s'hauria de seguir deixant els panells solars i els horts a l'exterior, perquè els dos necessiten llum solar.

Tot i que l'edifici fet per drons pugui semblar molt atractiu, possiblement els primers anys es viurà dintre d'aquests túnels perquè protegeix molt més de la radiació i els perills de l'exterior. Tot i així, però, al cap d'un temps podria ser que fessin també bases a l'exterior, per tal de tenir-ho més còmode a l'hora d'anar a explorar el planeta.

#### 4.6. Efectes d'aquest medi hostil sobre les persones

En un viatge de tals dimensions com el que seria el de Mart, s'ha de tenir en compte que hi poden haver conseqüències per la salut de les persones que el faran.

Des de fa dècades s'han fet experiments a l'Estació Espacial Internacional i a la Terra per veure quins possibles efectes físics i psicològics podia comportar a un astronauta una missió de llarga durada com la que serà la de Mart, però és molt diferent el que li passa a un astronauta dins l'Estació Espacial Internacional, que està relativament a prop, que fer un viatge a l'espai a més de 50 milions de quilòmetres de la Terra. Tot i que no es pot saber del tot amb certesa quines repercussions pot tenir aquest viatge tan llunyà en el cos i la ment dels astronautes, hi ha estudis que preveuen què és el més probable que passarà.

Il·lustració d'astronauta malalt

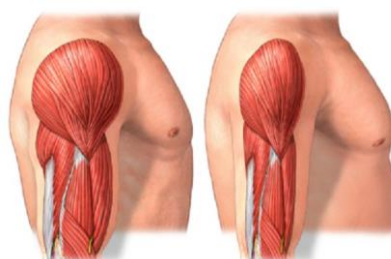


Font: <https://thumbs.dreamstime.com/z/astronauta-en-cama-de-hospital-el-est%C3%A1-enfermo-ilustraci%C3%B3n-del-vector-123854401.jpg>

#### 4.6.1. Efectes físics

Els efectes de la radiació de l'espai que hi hauria en el cos humà durant el trajecte podrien ser més agressius del que es pensava fins ara. Un estudi publicat al diari *El Mundo*<sup>68</sup> ens diu que la radiació en un viatge a Mart equivaldria a fer-se un TAC cada cinc dies; a part, també diu que el ròver Curiosity enviat per la NASA el 2013 a Mart va estar exposat a molta radiació en tot el viatge fins a Mart i un cop allà també. Aquesta radiació no se sap

Imatge de l'atrofia muscular



Font: <https://www.lavidalucida.com/wp-content/uploads/2015/10/19477.jpg>

Imatge de la radiació dels rajos solars



Font: <https://www.hoyestado.com/wp-content/uploads/2017/10/TormentaMagn%C3%A9tica.jpg>

quins efectes pot tenir en l'ADN, cèl·lules i teixits humans, però se sap que pot afectar al sistema nerviós central i alterar l'estructura i funcionament del cervell. A part d'això, la falta de gravetat podria causar nàusees, atrofia muscular i òssia, i disminució temporal de la visió.

També hi haurà una redistribució dels líquids corporals, que farà que s'acumuli més quantitat de

<sup>68</sup> Article "La radiación en un viaje a Marte equivaldría a a hacerse un TAC cada cinco días | Ciencia | elmundo.es," 2013.

sang en el cap i en el pit i disminueixi en les extremitats, la qual cosa accentuarà l'atrofia d'aquestes.

Tot i així, la salut general dels astronautes es pot millorar a base de seguir un rigorós programa d'exercicis i cuidar la seva alimentació.

#### 4.6.2. Efectes psicològics

En un viatge així s'ha de tenir una gran resiliència psicològica, per afrontar les situacions difícils que es presentin durant el viatge i adaptar-se positivament davant les circumstàncies adverses.

Per començar, els astronautes es troben lluny de casa, en un entorn difícil i convivint amb les mateixes persones durant anys, sense veure als seus amics i familiars de la Terra.

A més, la comunicació amb la Terra pot tenir un retard d'uns 40 minuts, la qual cosa significarà que a l'hora de resoldre un problema espontani no hi haurà ningú que els pugui ajudar i, si volen parlar

amb algú de la Terra, no hi haurà manera de tenir una conversa fluida amb ells.

Un altre factor a tenir en compte és la radiació, ja que, com he explicat a l'apartat anterior, pot tenir diversos efectes negatius en el benestar físic, com que provoqui nàusees o que afecti al sistema nerviós central i alteri l'estructura i funcionament del cervell, les quals coses poden repercutir negativament en el psicològic, provocant depressió o angoixa.

En simulacions de llarga durada, com les que he explicat a l'apartat 4.4., s'ha vist que tant de temps tancats en un espai tan limitat i pràcticament sense contacte amb l'exterior pot provocar depressió, insomni, fatiga i estrès.

Un viatge al planeta vermell és tan o més complicat del que sembla, per això, les persones que hi vulguin anar hauran de ser molt fortes físicament i

Representació de la nostàlgia d'un astronauta



Font: [https://d2gg9evh47fn9z.cloudfront.net/800px\\_COLOURBOX21972234.jpg](https://d2gg9evh47fn9z.cloudfront.net/800px_COLOURBOX21972234.jpg)

Representació de problemes psicològics



Font: <https://images.agoramedia.com/everydayhealth/gcms/Coping-With-Anxiety-and-Depression-722x406.jpg?width=722>

psicològicament. Un simple error o una persona estressada podria arribar a ser un perill per tota la missió. Qui decideixi anar en un viatge d'aquests, ha de tenir clar que no serà fàcil, només els més resistents hi podran anar.

## 5. La terra-formació de Mart

La terra-formació d'un planeta és el procés de modificar la temperatura, l'atmosfera, i altres condicions ecològiques (com la creació de mars i oceans) d'aquest planeta per tornar-lo similar a la Terra, i així que pugui ser habitable per humans. Això és el que es pretén fer a Mart, tot i que aquest procés podria tardar segles, ja que es tracta de modificar un planeta sencer.



També cal dir que, actualment, la humanitat encara no té tots els recursos i tecnologies necessaris per dur a terme aquesta fita, però ara ja s'estan ideant mecanismes per començar el procés que convertirà l'inèdit Mart a, pràcticament, una segona Terra.

### 5.1. Com canviar l'atmosfera?

Fa uns 4.500 milions d'anys, Mart es podria haver semblat a la Terra d'avui. Tenia una atmosfera calenta, oceans a la superfície i un camp magnètic. Però fa uns 4.200 milions d'anys, per alguna raó, va perdre aquest camp magnètic i des de llavors tota l'atmosfera va anar decaient. Sense aquest camp magnètic que parava el vent solar, l'atmosfera de Mart s'ha anat perdent mica en mica fins al punt que avui, pràcticament, no en té. Inclús actualment, 4.200 milions d'anys després, segueix perdent 1 kg d'atmosfera per segon.

És cert que no es podrà recuperar mai tot el que s'ha perdut a l'espai, però encara hi ha gas sortint de l'escorça del planeta, per tant, encara hi ha alguna esperança de crear-ne una altra de nova. Si s'aconseguís fer, no només donaria protecció contra la radiació, sinó que també ajudaria a escalfar el planeta.

A més, es creu que amb l'aigua atrapada als pols es podria reconstruir fins a una setena part dels oceans antics, si s'aconsegueix escalfar suficientment el planeta com per fondre-ho.

Per poder viure i respirar a Mart sense vestit espacial, les principals coses que s'han de fer són augmentar la pressió de l'atmosfera i canviar-ne la composició. Per fer això, s'hauria de començar fonent tot el gel de CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O dels pols i de sota la superfície per deixar-ho anar tot a l'atmosfera i augmentar la pressió.

Això es faria amb l'efecte hivernacle, el qual consisteix en retenir l'escalfor que ens arriba del Sol dintre l'atmosfera per augmentar-ne la temperatura general. El que aquí a la Terra s'està convertint en un problema seria una magnífica solució per a Mart.

### 5.1.1. Utilització de l'efecte hivernacle

Fondre els pols de Mart no és fàcil. Per fer-ho hi ha dos mètodes lents i un de ràpid (però també més extrem). Un dels mètodes lents seria mitjançant la utilització de clorofluorocarbonis, els quals es van prohibir aquí a la Terra perquè generaven l'efecte hivernacle, però serien perfectes per a Mart justament per això. Aquests es podrien portar fins a Mart amb coets o bé extreure'ls del terra d'allà.

El segon mètode, també molt lent, seria el d'enviar

centenars o milers de naus amb uns grans miralls a sobre els pols de Mart per crear una espècie de Sol artificial. Però aquest mètode seria pràcticament inviable perquè es tardaria molt en enviar totes aquestes naus i encara més en desfer els pols amb els seus miralls.



Finalment, el mètode ràpid, que és molt més extrem, consisteix en fer explotar unes quantes bombes nuclears una mica per sobre l'atmosfera a la zona dels pols de Mart per tal de crear sols artificials que ajudin a fondre els pols. Aquestes bombes tindrien el doble d'efecte que afegir molta calor a l'atmosfera marciana i també deixaria anar el CO<sub>2</sub> i l'aigua acumulats en forma de gel als pols. Aquests dos components

Clorofluorocarbonis que creen l'efecte hivernacle



Font: [https://img.elcomercio.pe/files/article\\_content\\_ec\\_fotos/uploads/2018/05/19/5b00497a312f7.jpeg](https://img.elcomercio.pe/files/article_content_ec_fotos/uploads/2018/05/19/5b00497a312f7.jpeg)

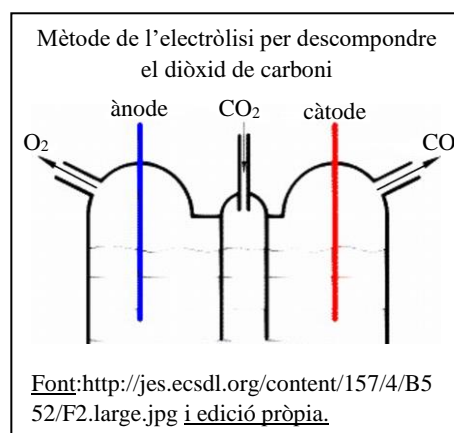
funcionen a l'hora de crear efecte hivernacle, per tant, d'aquesta manera, Mart s'escalfaria suficientment com perquè la gent no es morís de fred al cap d'una bona estona exposat a la superfície. El problema d'aquest procés és que si l'explosió no es controlés bé i entrés dintre l'atmosfera de Mart, els vents de Mart podrien escampar la radiació, tornant el planeta encara més radioactiu del que ja és. Aquesta radioactivitat que té actualment és deguda a la seva falta d'un camp magnètic, però inclús això té una solució.

### 5.1.3. Omplir l'atmosfera d'oxigen

Segurament les plantes farien una gran feina en el procés d'oxigenació de l'atmosfera, com bé he explicat en el punt anterior; però també hi ha una segona opció: utilitzar la electroquímica, concretament el mètode de l'electròlisi. Aquesta consisteix en trencar una molècula en altres molècules o en els seus elements mitjançant les altes temperatures i pressions que proporciona l'electricitat.

La NASA ja hi està treballant, ha creat una petita màquina que serà enviada a Mart el 2020 i que generarà 10 grams d'oxigen per hora utilitzant aquest procés d'electroquímica.

Consistirà en agafar  $\text{CO}_2$  de l'atmosfera i escalfar-lo fins a  $800^\circ\text{C}$ . Després es crearà un camp magnètic que separarà els elements entre positiu i negatiu i d'aquí s'obténdrà  $\text{CO}$  i  $\text{O}$ . Els  $\text{O}$  s'ajuntaran entre ells per formar  $\text{O}_2$ , que després aniran a l'atmosfera. D'aquesta manera s'aconseguirà crear  $\text{O}_2$  a partir de l'atmosfera que ja hi ha actualment, seria un avenç molt gran. El problema d'aquest procés seria que caldria molta energia per dur-ho a terme<sup>69</sup> i que el monòxid de carboni és molt tòxic.



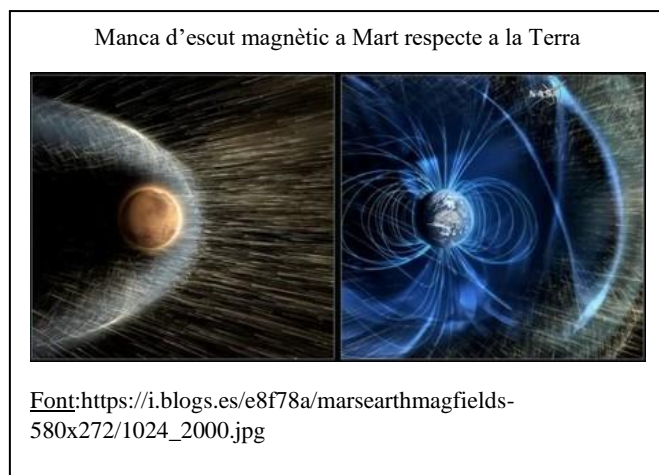
Per tal que aquest procés funcioni correctament, s'hauria de pressuritzar l'atmosfera de Mart fins a 100 cops més del que ho està ara. El que he mencionat de la NASA té la mida d'una capsa de sabates i anirà dintre un ròver que li donarà energia. Però si es vol fer a gran escala i tenir-lo funcionant tota l'estona, potser es requeriria un petit reactor nuclear.

<sup>69</sup> Veure l'apartat 5.4 (obtenció d'energia)

Tot i així, per omplir l'atmosfera d'oxigen el més important acabarà essent les plantes. L'avantatge que tindran aquestes serà que no dependran de quanta energia siguem capaços de consumir. Però, per altra banda, el procés biològic tardaria moltes més generacions i dependria de la constitució del terra de Mart, entre altres coses, com explicaré en l'apartat següent.

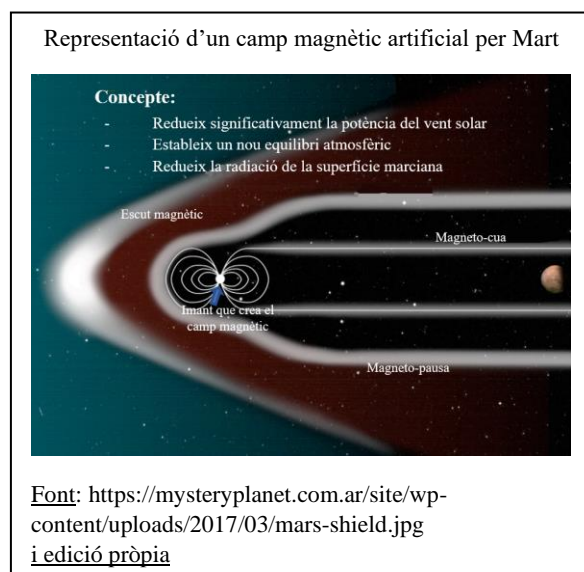
### 5.1.2. Creació d'un camp magnètic artificial

Per simular un camp magnètic, fer un aparell a mida planetària seria massa complicat, per això, la NASA ha suggerit fer un aparell magnètic que s'interposi als rajos solars i els desviï perquè no impactin a Mart. Seria com crear un camp magnètic artificial però que enlloc de cobrir tot Mart estaria



localitzat aproximadament a un milió de kilòmetres d'ell i li fa d'escut. Mart es trobaria a la cua d'aquest camp magnètic. Això seria possible pel simple fet que el vent solar prové només d'una direcció i, per tant, cobrint el costat que toca de Mart ja en faríem prou. Aquest camp seria més resistent inclús que el de la Terra i, per fer-lo, el magnetisme que es necessitaria seria com el d'una màquina de fer ressonàncies magnètiques, tot i que a gran escala i d'una altra forma; per tant, no estem tan lluny de fer-ho possible.

Un petit problema seria el de trobar el punt exacte on col·locar aquest artefacte, ja que aquest artefacte hauria d'orbitar el Sol a la mateixa velocitat que Mart, però la gravetat de Mart influiria en la seva òrbita al Sol. Tot i així, no pot allunyar-se molt de Mart perquè l'ha de cobrir amb el camp magnètic. Per aquest problema hi ha una solució: el punt Lagrangian. Aquest és un punt a l'espai en què en un



sistema de tres cossos com el que seria el Sol, Mart i la nau, la nau es troba entre el Sol i Mart i, aprofitant la gravetat de Mart, el període de temps que tarda en rotar al voltant del Sol és igual que el de Mart. D'aquests punts on passa això n'hi ha 5, però només un d'ells es troba entre Mart i el Sol, que és el que ens interessa.

En conclusió, tot i que amb aquests dos mètodes la temperatura del planeta augmentaria considerablement, tot això passaria segurament a prop de l'equador, que no és on hi ha el gel que volem desfer. De fet, a causa de com funciona la física de les atmosferes, podria ser que es tornés inclús més fred als pols, impedingint que el CO<sub>2</sub> i l'aigua dels pols s'evaporés. Tot i així, el gel sec de CO<sub>2</sub> dels pols es troba a sobre de l'aigua, per tant primer s'hauria de desfer tot el CO<sub>2</sub>, encara perquè l'aigua pogués sortir i es tornessin a formar els oceans. Però tot i que el camp i l'efecte hivernacle fossin suficients com per augmentar la densitat de l'atmosfera i fer tornar els oceans, el procés trigaria molt.

## 5.2. Com fer-hi créixer grans quantitats de plantes?

El fet que la pressió atmosfèrica de Mart sigui tan baixa fa que si un animal o una planta hi anés no podria respirar. Seria quasi com estar a l'espai, molt menys densa que al punt més alt de l'Everest.

Per poder respirar, primer de tot s'hauria d'augmentar aquesta pressió i més endavant substituir el diòxid de carboni per oxigen. El procés de començar un nou ecosistema, també anomenat "ecopoiesi", seria possible dur-lo a terme mitjançant plantes i cianobacteris. Estaríem creant un clima completament nou a Mart on hi haurien bacteris, molsa, algues i plantes.

Un cop aconseguida una atmosfera ben pressuritzada, els dos problemes següents pel creixement de les plantes serien la radiació i el sòl de Mart.



- Radiació:

La radiació mitjana del planeta està en uns 300 mSv, la qual és més de 15 cops la radiació que hi ha avui en dia a Chernobyl. Això és a causa de la falta del camp magnètic que hem dit abans. Tot i així, els científics no saben com poden reaccionar aquestes plantes a la radiació, per tant, segurament les plantin protegides dintre d'hivernacles.



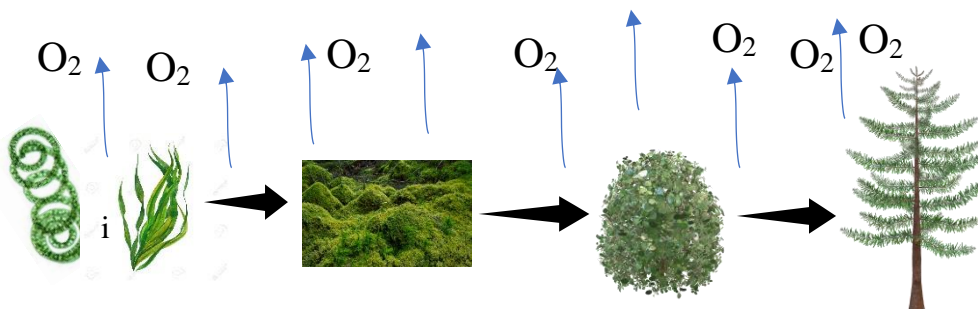
- El sòl de Mart:

El sòl de mart, també anomenat regolita marciana, no té pràcticament gens de nitrogen, el qual és quasi tan important per la vida com l'aigua. El Curiosity va trobar nitrogen a Mart en forma d'àcid nítric, i mitjançant alguns processos químics es podrien aconseguir diferents composicions amb nitrogen que es poguessin implementar al cicle d'aquest, com l'amoni, el nitrit o el nitrat.



Es té pensat començar amb algues i cianobacteris. Aquests produiran O<sub>2</sub> i també descompondran algunes roques del terra de Mart (meteorització). Un cop la terra sigui una mica fina, s'hi faran créixer molses, que també produiran O<sub>2</sub> però que tenen l'objectiu principal de trencar encara més aquesta grava per crear-ne de més fina. A partir d'aquí ja hi podria haver herbes o petits arbustos, la qual cosa seria un gran pas.

➤ Esquema de l'ecopoiesi a Mart:



Font: Elaboració pròpia

Després de moltes generacions de cianobacteris produint molsa i d'aquesta molsa esmicolant el terra i permetent que hi creixin herbes, i després de diverses generacions d'aquestes herbes creixent i donant pas als arbustos, podríem començar a implementar-hi els avets, els quals seran crucials en el desenvolupament de l'oxigen de l'atmosfera.

Aquests avets no només estan acostumats a viure amb baixes pressions atmosfèriques, sinó que també a baixes temperatures. A més, no necessiten pol·linitzadors com les abelles per escampar les seves llavors; tan sols amb el vent s'escampen.

Després d'unes quantes generacions humanes on aquestes plantes anessin creant oxigen, podria ser que s'arribés a un punt en què l'aire seria finalment respirable. Tot i així, no se saben encara dates concretes de quan podria passar això perquè no se sap quant nitrogen hi ha ni com reaccionarien les plantes a la radiació.

Algunes teories diuen que amb modificacions genètiques a les plantes, adaptant-les una mica més i millorant-les per aquell ambient hostil, es podria accelerar tot aquest procés una mica, tot i que inevitablement seguiria tardant molt.

### 5.3. Com tornar blau el planeta vermell?

Aquí a la Terra, quan es desfà un glaçó de gel es torna aigua líquida degut a la pressió atmosfèrica que tenim. El que passa a Mart, en canvi, és que com que aquesta pressió és de menys d'un 1 % la de la Terra, el gel es torna directament gas. Per tant, si volem descongelar l'aigua que hi ha als pols de Mart, abans haurem d'augmentar la pressió atmosfèrica<sup>70</sup>, per tal de no perdre tota aquesta aigua.

Es creu que el que queda de l'aigua de tot el planeta es troba en estat sòlid, ja sigui en els pols, sota la superfície o en alguns turons arreu del planeta. Si s'aconseguís fondre tot

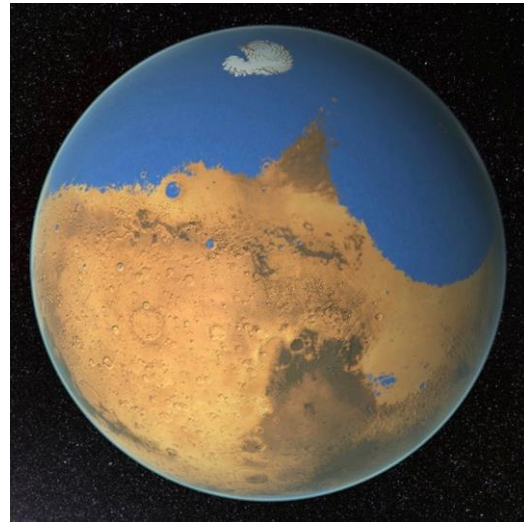


<sup>70</sup> Veure l'apartat 6.1. per saber com augmentar la pressió atmosfèrica.

aquest gel, es podria aconseguir cobrir 11 metres tota la superfície de Mart (sense tenir en compte el relleu), per tant s'hi formarien llacs i inclús mars o oceans<sup>71</sup>.

A més, els científics diuen que hi poden haver llacs subterranis d'aigua congelada a uns 30 metres de profunditat i, si es descobrís algun d'ells, seria un lloc idoni per establir-hi una civilització.

Representació de Mart amb aigua líquida



Font: <https://cosmos-magazine.imgix.net/file/spina/photo/18928/190510-mars-pr.jpg?fit=clip&w=835>

---

<sup>71</sup> Veure l'apartat 5.1 sobre l'obtenció d'aigua a Mart.

## 6. Aportacions de científics universitaris

### 6.1. Universitat de Girona (UdG)

Com que en l'objectiu del meu treball hi ha una part que fa referència a la química dels components de la terra, he cregut convenient tenir la opinió d'un químic de prestigi de la Universitat de Girona, el Dr. Joan Miró. De les idees que em va dir durant l'entrevista, en vull destacar les següents:

1. La humanitat està preparada tecnològicament per colonitzar un planeta, però potser els sacrificis que caldrà fer són molt grans.
2. El que és interessant de Mart és que el que es faci pot servir d'experiència per futures exploracions.
3. Europa s'hauria d'implicar més, potser més valdria sumar-se als que ja han començat, com Estats Units i Rússia, al menys tot això ho tenim guanyat. Millor col·laborar que competir.
4. Hi ha dues diferències significatives des del punt de vista químic entre la Terra i Mart: una és l'atmosfera i l'altra és l'absència d'aigua, no hi ha humitat ambiental.
5. És viable l'existència de vida i sembla que els estudis tendeixen a pensar que hi ha hagut vida microbiana. Hi pot haver vida encara que no sigui com la que coneixem a la Terra.
6. És possible fabricar aigua segons els minerals que es trobin a Mart, si trobem minerals que continguin hidrats d'altres moments de la història de Mart. Es podria intentar extreure aquesta aigua però sempre té un cost energètic elevat.
7. És possible que en algun moment torni a haver una atmosfera a Mart. La Terra també la va perdre i la regenera, per exemple, amb el vulcanisme.
8. Un químic a Mart podria fer diverses feines, com per exemple, generar aigua, atmosfera i oxigen, i sembrar microorganismes.
9. Els assentaments humans a Mart són viables i el Dr. Joan Miró n'està a favor.

Dr. Joan Miró Ametller i Martí Massó Moreno, 16/07/2019, Universitat de Girona



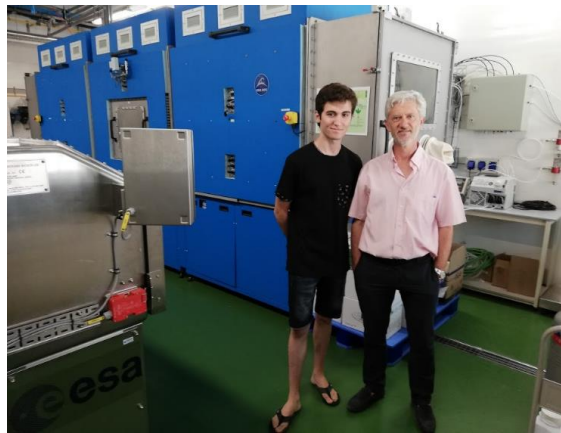
Font: pròpia

## 6.2. Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)

Per conèixer millor els processos de reciclatge de materials necessaris per a la supervivència humana que es durà a terme dins les naus espacials i durant l'estada al planeta vermell, he entrevistat al Dr. Enrique Peiró Cezón de la Universitat Autònoma de Barcelona que també treballa a l'ESA. I de les seves explicacions, presento a continuació un resum amb les idees i investigacions seves més destacades.

1. L'equip del Dr. Peiró està treballant en el projecte Melissa de l'ESA, intentant crear un ecosistema tancat i artificial enfocat al reciclatge dels recursos dins les naus per un viatge espacial.
2. En aquest projecte s'estudia l'adaptació de rates dintre aquest ecosistema artificial.
3. Molt probablement s'utilitzaran espirulines i plantes per l'obtenció de l'aliment i de l'oxigen.
4. El CO<sub>2</sub> produït per les rates és reutilitzat per les plantes i les espirulines, formant un cicle del carboni tancat.
5. El rendiment de producció d'oxigen és d'entre un 60 % i un 70 % pel que fa al reciclatge, i això és suficient per les rates, mentre que el de la producció d'aliment d'aquestes plantes i espirulines només suposa entre un 20 % i un 40 % del total que necessiten aquestes rates.
6. S'investiga la nutrició de les plantes i les espirulines a través del cicle del nitrogen.
7. Les plantes que hi haurà dins les naus estaran en cultius hidropònics, que significa que no utilitzaran terra sinó que estaran en una dissolució d'aigua amb sals minerals, en condicions òptimes pel seu creixement.
8. Les plantes estudiades son molt diverses perquè cadascuna d'elles aporta nutrients diferents a la tripulació.
9. Aquest estudi forma part d'un projecte molt més ampli en el què és necessari la col·laboració dels centres d'investigació de diverses universitats.

Dr. Enrique Peiro Cezón i Martí Massó Moreno,  
24/07/2019, Universitat Autònoma de Barcelona



Font: pròpia

10. La relació amb altres entitats importants al món com la NASA, el Roscosmos de Rússia,... és sovint de col·laboració però també hi ha sovint competència entre ells.
11. Calen molts estudis previs abans de fer un assentament d'humans a Mart amb garanties d'èxit.

### 6.3. University of Central Florida (UCF, USA)

A fi de portar a terme la part pràctica del meu treball i elaborar la terra simulada de Mart per plantar-hi vegetals, m'he posat en contacte, a través del correu electrònic, amb el Dr. Daniel Britt de la Universitat Central de Florida (USA), el qual també ha treballat durant molts anys en projectes de la NASA.

El Dr. Britt m'ha proporcionat la informació sobre la composició per elaborar la terra de Mart mitjançant la seva pàgina web la qual m'indicava ell mateix en la resposta al meu correu electrònic.

Foto del Dr. Daniel Britt:



Font:[http://www.planetary.brown.edu/planetary/geo287/PhobosDeimos/bio/Britt\\_photo.gif](http://www.planetary.brown.edu/planetary/geo287/PhobosDeimos/bio/Britt_photo.gif)

A part de la composició de la terra de Mart, en la informació de la seva pàgina web també hi ha una sèrie d'idees i explicacions dels treballs que s'estan realitzant sobre aquest tema, com les que destaco a continuació:

1. Utilització del terra de Mart pel creixement de les plantes en una possible colònia a Mart.
2. En les mostres obtingudes pels rovers enviats al planeta vermell s'han obtingut diferents composicions del terra de Mart.
3. Amb aquestes composicions s'ha experimentat amb el creixement de les plantes en condicions terrestres i s'ha tingut resultats positius.

## **7. Experiment per provar si es pot fer créixer plantes al sòl de Mart**

### **7.1. Introducció**

El projecte de portar la humanitat a Mart implica molts reptes a superar, com serien els que he explicat abans.

Un dels més importants a superar és l'alimentació de la gent que hi vagi a viure.

La meua part pràctica consisteix en simular el terra de Mart a partir de la seva composició química i veure si és possible que hi creixin plantes que serveixen d'aliment als humans. Cal dir també que he fet l'experiment tenint en compte que allà el que es faria seria plantar-ho en un hivernacle, no pas a l'exterior, ja que les condicions extremes del planeta dificultarien molt el creixement d'aquestes plantes. Per això, jo he fet l'experiment sense simular les baixes temperatures d'allà, ni la radiació i encara menys l'atmosfera. Per tant, el treball es centra en veure l'efecte que té aquesta terra marciana sobre el creixement de les plantes.

### **7.2. Objectius**

Els objectius principals d'aquest experiment són comprovar si al sòl de Mart hi podran créixer plantes i comparar aquest creixement amb altres condicions: la mateixa terra si hi afegim fertilitzants i una terra d'aquí òptima pel creixement de les plantes.

### **7.3. Materials**

#### **7.3.1. Materials per fer la terra**

En total son uns 10 kg repartits de la següent manera:

- Roca volcànica triturada ( contenen silicats i òxid d'alumini) - 6'65 kg
- Òxid de ferro III - 1'1 kg
- Òxid de magnesi - 0'6 kg
- Carbonat de calci - 1'045 kg

### **7.3.2. Materials per cultivar les plantes**

- Llavors de mongetes
- Llavors de faves
- Llavors de blat de moro
- Patates amb grills
- Llavors d'enciams
- 12 testos / 30 testos

### **7.3.3. Materials per l'obtenció de l'òxid de ferro (III)**

- Dues barres de ferro
- Un carregador de bateria de cotxe
- Sal comuna
- Palangana de plàstic
- Aigua

## **7.4. Procediment**

### **7.4.1. Obtenció d'òxid de ferro**

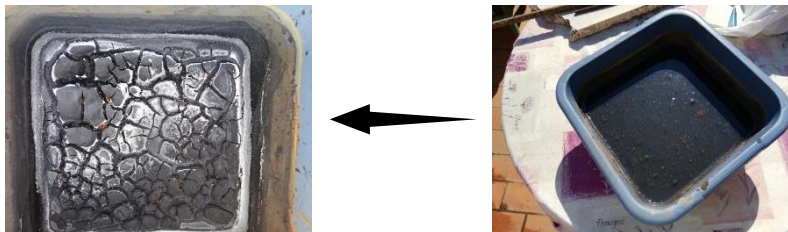
La majoria de components que necessitem per simular la terra de Mart són bastant accessibles, però l'òxid de ferro (III) és molt car si es vol comprar. És per això que per aconseguir-ne he decidit fabricar-lo pel meu compte, mitjançant el mètode de l'electròlisi de l'aigua, com mostraré a continuació.

1. Primer de tot, posem sal a l'aigua de dintre la palangana i barrejar-ho fins que quedi una mescla homogènia. Això farà que l'aigua es torni conductora d'electricitat.

2. A continuació, posem els ferros dintre la palangana mirant que no es toquin entre ells per tal de no provocar un curtcircuit.
3. Ara connectem la pinça de color vermell, l'ànode ( amb càrrega positiva) al ferro que volem convertir en òxid de ferro; i tot seguit, connectem la pinça negra, el càtode ( amb càrrega negativa) al ferro que no es convertirà en òxid de ferro, el que només farà la funció de conductor.
4. Seguidament, connectem l'electricitat per tal que l'aigua se separi en anions d'oxigen que vagin a l'ànode i formin l'òxid de ferro, i cations d'hidrogen que vagin al càtode i s'alliberin a l'exterior en forma de gas.



5. Un cop fet això, deixem que el procés funcioni unes 21 hores.



Font i elaboració: pròpia

6. Passat aquest temps, ja s'haurà format una quantitat d'òxid de ferro considerable i una bona part de l'aigua haurà desaparegut, ja sigui per evaporació o per la transformació d'oxigen i hidrogen en estat gasós per separat. Ara haurem de deixar-ho al Sol fins que s'evapori tota l'aigua que queda.
7. Finalment, extraiem l'òxid de ferro (III) que hem fabricat de la palangana i el triturarem.

### 7.4.2. Mescla dels materials per fer la terra

Un cop tens tots els materials en les quantitats assenyalades abans, abocar-los tots en un recipient i barrejar-ho tot fins que quedi homogènia.

### 7.4.3. Plantació dels vegetals a estudiar

Omplir aproximadament tres quartes parts de cada test, quatre amb la terra de mart simulada, quatre amb aquesta terra barrejada amb una mica de fertilitzant i quatre més amb terra òptima de cultiu.

Tot seguit, sembrar les llavors i les patates i després tapar-ho amb aproximadament dos dits més de la terra que correspongui a cada test.

## 7.5. Resultats

### 7.5.1. Resultats del primer experiment

Després de més de tres setmanes que van passar quan vaig fer la primera versió de l'experiment, aquests van ser els resultats:



Dia 1

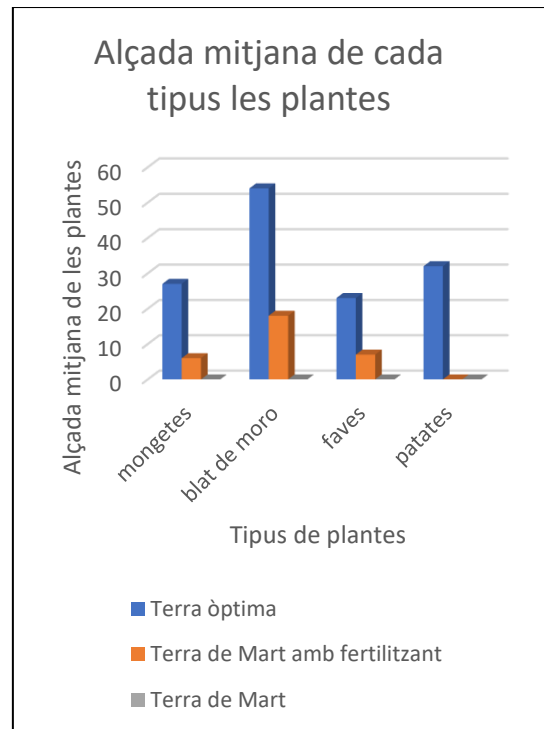
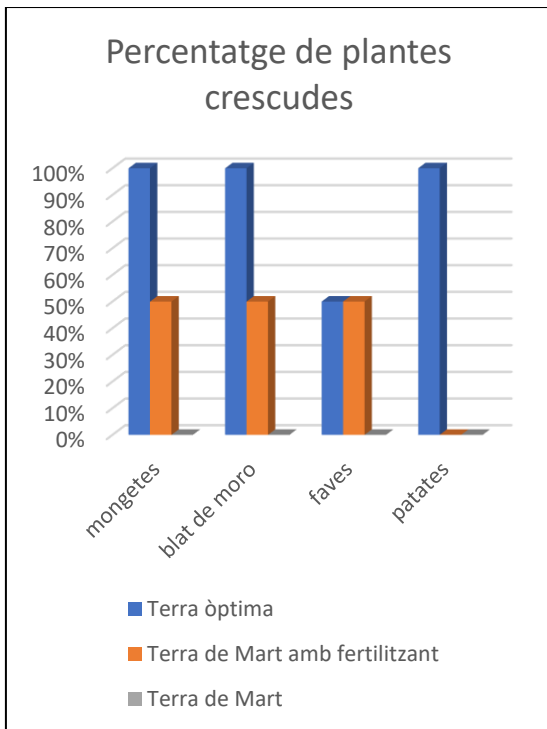


Dia 10



Dia 25

		Nombre de plantes crescudes	Alçada mitjana un cop acabat l'experiment (en centímetres)	Percentatge de plantes crescudes (en tant %)
Terra òptima	mongetes	2	27	100%
	blat de moro	2	54	100%
	faves	1	23	50%
	patates	2	32	100%
Terra de Mart amb fertilitzant	mongetes	1	6	50%
	blat de moro	1	18	50%
	faves	1	7	50%
	patates	0	0	0%
Terra de Mart	mongetes	0	0	0%
	blat de moro	0	0	0%
	faves	0	0	0%
	patates	0	0	0%



### 7.5.2. Resultats del segon experiment



Dia 1



Dia 6



Dia 12

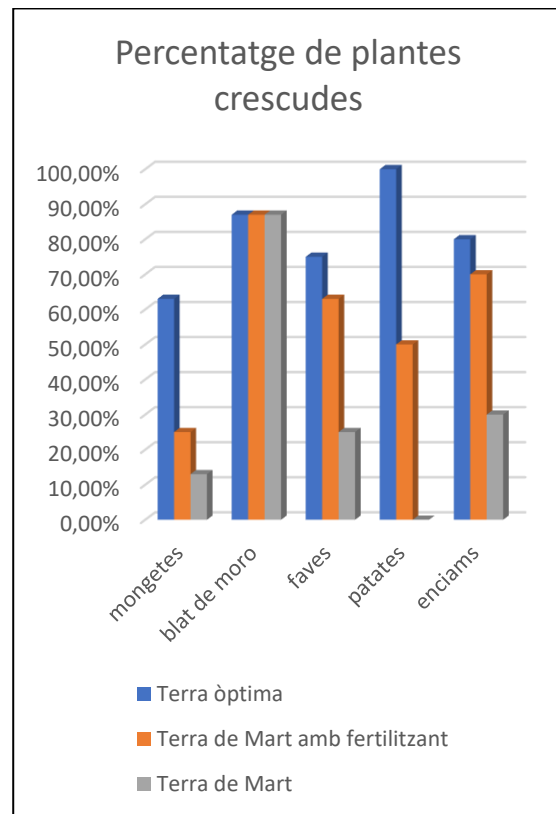
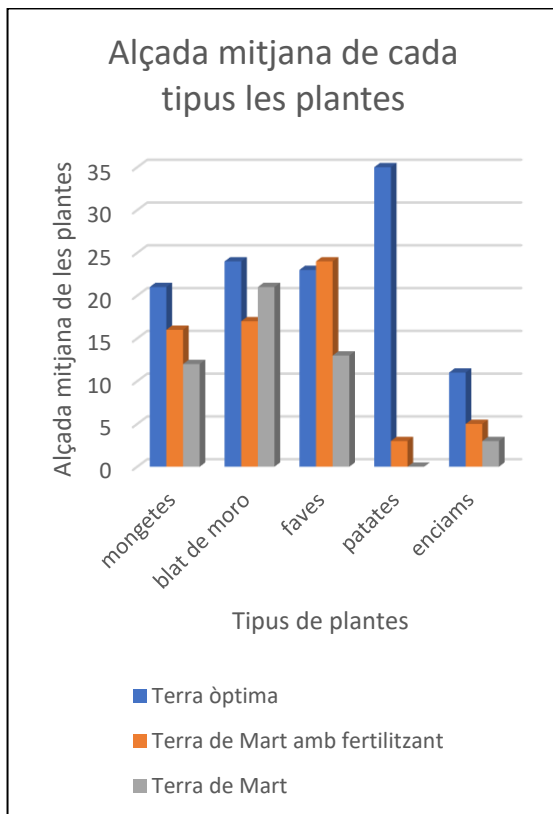


Dia 17



Dia 22

		Nombre de plantes crescudes	Alçada mitjana un cop acabat l'experiment (en centímetres)	Percentatge de plantes crescudes (en tant %)
Terra òptima	mongetes	5	21	63 %
	blat de moro	7	24	87 %
	faves	6	23	75 %
	patates	4	35	100 %
	enciams	≈100	11	80 %
Terra de Mart amb fertilitzant	mongetes	2	16	25 %
	blat de moro	7	17	87 %
	faves	5	24	63 %
	patates	2	3	50 %
	enciams	≈80	5	70 %
Terra de Mart	mongetes	1	12	13 %
	blat de moro	7	21	87 %
	faves	2	13	25 %
	patates	0	0	0 %
	enciams	≈40	3	30 %



## **7.6. Vídeo divulgatiu a YouTube d'aquest treball**

Donat que un dels meus objectius és que aquest treball arribi a qualsevol tipus de públic interessat en la matèria, he creat un vídeo divulgatiu que he publicat a través de la plataforma YouTube ja que és fàcilment accessible i popularment coneguda.

Per accedir a aquest vídeo l'enllaç és:

<https://www.youtube.com/watch?v=3FlvBpDL6ns&feature=youtu.be>

Vull que la meua recerca sigui accessible a tothom que tingui curiositat sobre aquest tema. El meu propòsit és que aquest treball no quedi oblidat i que esdevingui una petita contribució a l'estudi de la colonització de Mart.

## **7.7. Conclusions**

Amb aquest experiment he arribat a la conclusió que al sòl de Mart sí que hi podrien créixer plantes, el que passa és que ho farien molt més lent que amb la terra d'aquí i també hi hauria una probabilitat d'èxit inferior. Tot i així, afegint-hi fertilitzants que poden ser restes orgàniques de les persones mateix, es podria augmentar tant la velocitat com la probabilitat d'èxit que creixin aquestes plantes.

En el primer experiment, no va créixer cap de les plantes de la terra de Mart i en van créixer algunes poques de la terra de Mart amb fertilitzant. Aquest fet, en aquell moment, vaig respondre'l dient que possiblement la granulometria de la terra volcànica que vaig utilitzar era massa gran, ja que es veia a simple vista que amb aquella terra seria molt complicat. Però també, a més, vaig pensar que podia ser per la falta de Nitrogen i Fòsfor en la composició d'aquesta terra. Aquests elements són molt importants per la vida, i la seva falta podria haver estat la causant del què va passar.

La terra de Mart amb fertilitzant, en canvi, tenia el N i el P que li aportava aquest fertilitzant i, a més, aquest fertilitzant també donava una textura més bona pel creixement de les plantes, però no tan bona com la que tenia la terra d'aquí.

Per comprovar si la granulometria havia estat un factor rellevant o no, vaig decidir tornar a fer l'experiment i, aquest cop, afegint-hi moltes més mostres. En aquesta segona versió, vaig utilitzar terra volcànica esmicolada, la qual aniria molt millor per les plantes i els

resultats van ser molt diferents. Aquest cop van créixer moltes plantes de la terra de Mart i encara més d'aquesta terra amb fertilitzant. Això només podia significar que la granulometria de la terra de l'experiment anterior sí que era perjudicial per les plantes i que amb el sòl de Mart sí que hi poden créixer plantes. Ara bé, aquestes plantes, el creixement de les quals anava comparant al llarg de l'experiment amb les que estaven plantades en una terra òptima d'aquí, havien crescut bastant més a poc a poc que les altres i amb menys índex d'èxit. Per això, en la meua opinió, s'hauria d'utilitzar fertilitzant a l'hora de fer créixer plantes a Mart per tal d'accelerar el procés, però això no treu que amb terra normal sense fertilitzant podria créixer igualment.

Amb aquest experiment, juntament amb totes les altres proves fetes per altres organitzacions sobre la viabilitat del creixement de les plantes en el terra de Mart, és un petit pas més per la colonització d'aquest planeta.

## **8. Anàlisi de l'elaboració del treball**

Un cop acabat el treball, puc fer el balanç del que ha suposat fer-lo. En primer lloc, no m'esperava que acabaria dedicant una quantitat d'hores tan gran a aquest treball, però crec que m'ha valgut la pena per tot el coneixement i experiència que m'ha aportat. Per arribar al final, he hagut de recórrer un llarg camí, no sempre fàcil, que descriuré a continuació.

### **8.1. Dificultats en la part teòrica**

En un principi vaig començar malament, vaig buscar informació sobre diferents temes relacionats amb la colonització de Mart, que n'hi havia moltíssima, i vaig començar a agafar aquesta informació de manera desordenada i frenètica, donant molta importància i posant molt d'èmfasi a coses que no en mereixien i fent el contrari amb les que sí. Al veure que d'aquesta forma no anava bé, vaig decidir tornar a començar de zero, per aquest cop fer-ho estructurat i amb sentit.

En aquesta segona versió em vaig organitzar de veritat i vaig deixar enrere el caos que hi havia en la primera, tot i que d'aquella també en vaig aprofitar gran part de la informació que havia trobat. A partir d'aquí és quan el meu treball va néixer. Des d'aquell moment, cada cosa que feia ja estava pensada per anar a un lloc concret, que estigués en context amb tota la resta del treball i que aportés una informació necessària pel conjunt d'aquest.

Hi havia gent que m'havia dit que, tot i triar un tema que els agradés, han acabat fastiguejats amb el seu treball i han avorrit aquell tema, com quan et poses una cançó que t'agrada molt com a despertador i al final l'acabes avorrint. Quan ho vaig sentir em va fer una mica de por perquè a mi aquest tema m'apassionava molt i no volia que això parés de ser així. Però a mesura que anava fent el treball vaig veure que no em cansava pas, sinó que cada cop m'anava interessant més per cada tema que feia ja que, al cap i a la fi, estava investigant sobre un tema que realment m'entusiasmava. Hi havia cops que mentre m'informava sobre un tema, en veia un altre que no tenia res a veure però que m'intrigava i em posava a buscar coses sobre aquell tema que, potser estava llunyanament relacionat amb el meu però que em semblava interessant.

## **8.2. Dificultats en la part pràctica**

Quant a la part pràctica, al principi vaig tenir moltes dificultats. Tot i que sembli difícil amb aquest tema, se'm van acudir diverses idees d'experiments i projectes que podia fer com a treball de camp, però la que m'atreia més era la de simular el sòl de Mart i provar de plantar-hi plantes. Cal dir que cada pas que he hagut de fer per dur a terme aquest experiment ha estat un autèntic drama per a mi.

Per començar, a l'hora d'aconseguir els materials per simular aquesta terra vaig estar buscant durant hores sense trobar coses que concordessin les unes amb les altres. Això era degut que a Mart s'hi han enviat diverses missions que han pres mostres de terra diferents i per això totes **les composicions** que trobava eren diferents; però finalment, en un article que vaig trobar sobre un experiment on havien simulat aquesta terra i hi havia fet créixer plantes, vaig veure el nom de la persona que l'havia fet, **el Dr. Daniel Britt**, investigador de la Universitat de Florida i que havia treballat en diversos projectes de la NASA (tots enfocats a la colonització de Mart) i vaig decidir provar de contactar amb ell. Li vaig enviar un correu i, afortunadament, em va respondre i donar un enllaç a la web on hi havia tots els estudis sobre les diferents composicions de la terra de Mart que amb el seu equip havien fet. D'entre totes aquestes, hi havia dues composicions en què havien aconseguit fer créixer plantes, i vaig decidir agafar-ne una per dur a terme el meu experiment.

La següent dificultat va venir a l'hora de crear aquesta terra, principalment perquè hi havia **materials que em va costar força d'aconseguir**. Vaig demanar a la Facultat de Ciències de la Universitat de Girona si me'ls podien proporcionar però, amb dificultats, em van donar una quantitat molt menor de la que jo necessitava, per la qual cosa vaig decidir-me per comprar-los a través d'internet. Com que l'òxid de ferro era molt car, vaig fabricar-lo jo mateix, tal com es pot veure en l'apartat del treball corresponent. Tot i així, vaig tardar més del que em pensava en reunir tots els materials i això va retardar una mica l'experiment.

Quan ja semblava que s'havia acabat la crisi, em vaig trobar amb un altre problema, i era que **les pedres volcàniques** que havia utilitzat per simular dos dels components de la fórmula **tenien una granulometria massa gran**, que significa que els grans de pedra volcànica eren molt grans i no deixaven a les llavors germinar correctament.

Van passar les setmanes i, en veure que les plantes de la terra de Mart no creixien, vaig decidir repetir un altre cop tot l'experiment, tot i que aquest cop no disposava de gaire temps. Aquest cop, al igual que vaig fer amb la part escrita al principi, vaig decidir corregir els errors que vaig cometre en l'experiment anterior i no només agafar terra volcànica esmicolada, sinó que també vaig ampliar l'experiment i li vaig afegir una planta: l'enciam.

Al principi d'aquest segon experiment estava una mica preocupat perquè no em tornés a passar com en el primer, però mica en mica van anar germinant les plantes i creixent bastant, algunes inclús uns quants pams d'altura.

Un cop crescudes les plantes, vaig donar per acabat l'experiment i vaig prosseguir a editar el vídeo en què havia gravat tot el procés. D'aquesta manera va ser com finalment vaig acabar el meu treball.

## Conclusions

En general, he après moltes coses amb aquest treball que crec que en algun moment de la meua vida em podran ser útils o que, com a mínim, m'han donat una mica més cultura sobre la direcció en la qual va la humanitat.

Respecte als resultats obtinguts al llarg del treball, he de dir que estic satisfet perquè he aconseguit simular la terra de Mart i fer-hi créixer plantes, amb la qual cosa demostro que, tal com s'està fent a nivell internacional en centres d'investigació d'alta tecnologia, és possible plantar vegetals a Mart utilitzant el seu sòl i dins d'un hivernacle. A més, amb tota la informació que he trobat, he arribat a la conclusió que és possible colonitzar Mart. Per tant, puc confirmar una de les meves hipòtesis inicials dient que **és possible fer créixer plantes a la terra de Mart simulada.**

També me n'he adonat que anar a Mart no serà cap passeig, hi haurà moltíssims reptes en molts àmbits diferents que s'hauran de resoldre i per dur a terme una missió així s'hauran de prendre molts riscos que et poden portar a la mort.

Parlant amb amics he vist que molts d'ells creuen que Mart serà una via d'escapament per la gent més rica de la Terra que decideixi deixar el planeta un cop el canvi climàtic hagi arribat a uns nivells molt alts, però no pensen que Mart no serà com és ara la Terra per nosaltres. Nosaltres hem evolucionat en aquest planeta, adaptant-nos a les condicions que hi ha aquí i no estem fets per viure a Mart. D'entre els milers de problemes que suposaria anar-hi, d'entrada no hi ha aire respirable, ni la gravetat que hi ha aquí, ni el medi que hi ha aquí en general, ni tan sols hi ha rius i mars perquè l'aigua es troba tota en estat sòlid i seria complicat trobar-la i convertir-la en potable. Et trobes a milions de kilòmetres de casa, amb un grup molt limitat de gent i sense poder sortir a l'exterior sense protecció, perquè a part de no poder respirar també hi ha una radiació que et pot matar. Per això, Mart no serà cap sortida per la gent més rica perquè la gent rica estarà millor a la Terra, sinó que serà tan sols un repte que prendran alguns i que servirà per construir una segona casa, una alternativa a la humanitat, tot i que en un futur pròxim no arribarà a ser la nostra confortable llar. Amb tot això, podem confirmar que **a curt termini, Mart no serà una “segona residència” per a la humanitat.**

Mart seria bàsicament una assegurança de vida per a la humanitat, per si de cas a la Terra hi hagués una catàstrofe enorme que posés la humanitat en perill d'extinció i d'aquesta

manera tenir un lloc on refugiar-nos. Però Mart no seria cap balneari ni cap lloc d'oci sinó un lloc purament estratègic i per avançar en la ciència. Per tant, **a llarg termini, Mart podria assegurar la supervivència de la humanitat.**

Potser estem a un pas d'entrar en el capítol més emocionant de la història de la humanitat, on tot el que hem vist sempre en les pel·lícules de ciència ficció es farà realitat. Tot i així, crec que no ens hem de confiar en què tenim una segona casa a Mart per si la Terra acaba tan malament que no hi podem ni viure. La Terra és i sempre serà el nostre planeta, estem fets per viure aquí i l'hem de cuidar ara que està en un dels seus pitjors moments per culpa nostra. El més important ara mateix és conscienciar a la gent i donar molts recursos per solucionar els problemes que estem provocant. Mart potser amb el temps s'anirà tornant cada cop menys hostil, però mai podrà substituir el que és el nostre veritable planeta. **Cal cuidar la Terra, “segones parts mai són tan bones”.**

Tenint en compte totes les dades que he obtingut en aquest estudi a través d'internet, les entrevistes a gent que treballa en aquest tema, com el Dr. Peiró, de la UAB o com el Dr. Britt, de la Universitat de Florida, i amb el treball experimental que he dut a terme, he arribat a la conclusió que **la colonització de Mart és possible** malgrat les enormes dificultats que això comporta. I això és possible perquè tots els problemes que s'han trobat tenen una solució viable, per exemple: aconseguir aigua i fer créixer vegetals al sòl de Mart aprofitant l'aigua en estat sòlid que es troba a Mart o reciclant la que portaríem des de la Terra i cultivant les plantes dins d'hivernacles. Tot i així, encara queden moltes coses a perfeccionar i resoldre però, en general, sí que estem preparats i no hem de tenir por a seguir endavant.

La colonització de Mart és un pas més en l'exploració còsmica i això ens prepararà per assolir reptes més ambiciosos en l'exploració d'altres planetes, satèl·lits i galàxies en un futur molt llunyà. La ciència ficció acabarà essent una realitat.

Actualment, estem preparats per aventurar-nos a explorar el cosmos, tot i que no sigui una feina fàcil, però amb l'esforç de la gent que hi està treballant podrem fer, en un futur no gaire llunyà, un pas més cap a un nou horitzó que ens portarà a les estrelles.

## Referències

### Bibliogràfiques

Azcárraga, Á. (20 de juliol de 2019). Suplement dedicat al 50 aniversari de l'arribada de l'home a la Lluna. *ABC*, págs. 3-37. Recuperado el 20 de juliol de 2019

Rodríguez, A. (14 de juliol de 2019). La despensa de Marte. (J. Godó, Ed.) *Magazine*, 26-33. Recuperado el 15 de juliol de 2019

### Webgràfiques

Abadie, M. E. (11 / abril / 2019). *NASA's Twins Study Results Published in Science Journal*. Consultat el 22 / juliol / 2019, a nasa.gov:

<https://www.nasa.gov/feature/nasa-s-twins-study-results-published-in-science>

Álvarez, M. A. (11 / febrer / 2019). *Revista de Historia*. Consultat el 19 / juny / 2019, a <https://revistadehistoria.es/breve-historia-de-la-carrera-espacial-1945-2019/>

Auguri, T. (23 / abril / 2017). *La estela de Gagarin*. Consultat el 13 / juliol / 2019, a [laesteladegagarin.blogspot.com](http://laesteladegagarin.blogspot.com):

<https://laesteladegagarin.blogspot.com/2017/04/hace-50-anos-soyuz-1-una-mision-que-no.html>

Azcárraga, Á. (20 / juliol / 2019). Suplement dedicat al 50 aniversari de l'arribada de l'home a la Lluna. *ABC*, p. 3-37. Consultat el 20 / juliol / 2019

BBC News. (28 / Maig / 1959). *On this day 1950-2005*. Consultat el 1 / juliol / 2019, a [http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/may/28/newsid\\_3725000/3725961.stm](http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/may/28/newsid_3725000/3725961.stm)

BBC News. (16 / juny / 2009). *Cronologia de la exploración espacial*. Consultat el 4 / juliol / 2019, a [https://www.bbc.com/mundo/ciencia\\_tecnologia/2009/07/090714\\_luna\\_timeline\\_mes](https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2009/07/090714_luna_timeline_mes)

Bell, J. (1 / febrer / 2007). *Agua en Marte*. Consultat el 16 / juliol / 2019, a [investigacionyciencia.es](http://investigacionyciencia.es):

<https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/la-hija-de-lucy-435/agua-en-marte-6078>

Benitez, J. J. (març / 1965). Consultat el 9 / juliol / 2019, a planetabenitez.com:

<https://www.planetabenitez.com/ovnis3/1965rusia.htm>

Bercovitz, K. (13 / juny / 2014). *Fight event fatigue with a boost from superfoods*.

Consultat el 18 / agost / 2019, a planyourmeetings.com:

<https://planyourmeetings.com/fight-event-fatigue-with-a-boost-from-superfoods/>

Black, M. (5 / desembre / 2017). *Powering a Colony on Mars*. Consultat el 17 / agost / 2018, a <http://large.stanford.edu>:

<http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/black1/>

Brown, M. (3 / juliol / 2019). *SpaceX Has a Bold Timeline for Getting to Mars and Starting a Colony*. Consultat el 18 / juliol / 2019, a inverse:

<https://www.inverse.com/article/51291-spacex-here-s-the-timeline-for-getting-to-mars-and-starting-a-colony>

Brown, M. (3 / juliol / 2019). *SpaceX Has a Bold Timeline for Getting to Mars and Starting a Colony*. Consultat el 22 / juliol / 2019, a inverse.com:

<https://www.inverse.com/article/51291-spacex-here-s-the-timeline-for-getting-to-mars-and-starting-a-colony>

Campillo, S. (31 / gener / 2018). *hipertextual*. Consultat el 22 / juny / 2019, a

<https://hipertextual.com/2018/01/explorer-1>

Canal Historia. (20 / febrer / 1986). *LA URSS LANZA LA MIR*. Consultat el 14 / juliol / 2019, a canalhistoria.es:

<https://canalhistoria.es/hoy-en-la-historia/la-urss-lanza-la-mir/>

Cañas, J. A. (4 / gener / 2018). *El coste psicológico de una misión a Marte*. Consultat el 18 / agost / 2019, a elpais.com:

[https://elpais.com/elpais/2017/12/12/ciencia/1513095792\\_656796.html](https://elpais.com/elpais/2017/12/12/ciencia/1513095792_656796.html)

Carvera, J. (26 / gener / 2017). *Apolo 1: los 15 segundos que cambiaron la carrera espacial*. Consultat el 10 / juliol / 2019, a eldiario.es:

[https://www.eldiario.es/cultura/ciencia/Apolo-segundos-cambiaron-carrera-espacial\\_0\\_605440461.html](https://www.eldiario.es/cultura/ciencia/Apolo-segundos-cambiaron-carrera-espacial_0_605440461.html)

- Cienciaplus. (6 / març / 2017). *La NASA propone un campo magnético para que Marte recupere sus mares*. Consultat el 17 / agost / 2019, a europapress.es:  
<https://www.europapress.es/ciencia/misiones-espaciales/noticia-nasa-propone-campo-magnetico-marte-recupere-mares-20170303133027.html>
- Concha, F. (9 / març / 2016). *Los estragos que genera el viaje espacial sobre el cuerpo humano*. Consultat el 21 / juliol / 2019, a primerfoton.cl:  
<http://primerfoton.cl/2016/03/09/los-estragos-que-genera-el-viaje-espacial-sobre-el-cuerpo-humano/>
- Dino, J. (29 / març / 2008). *Cassini-Huygens*. Consultat el 14 / juliol / 2019, a nasa.gov:  
<https://www.nasa.gov/centers/ames/spanish/research/exploringtheuniverse/exploringtheuniverse-cassini.html>
- Dr. Lori Glaze, K. E. (6 / juny / 2019). *Solar system exploration*. Consultat el 17 / juliol / 2019, a solarsystem.nasa: <https://solarsystem.nasa.gov/planets/mars/in-depth/>
- Drake, N. (28 / setembre / 2015). *La NASA encuentra “definitivamente” agua líquida en Marte*. Consultat el 10 / agost / 2019, a nationalgeographic.es:  
<https://www.nationalgeographic.es/espacio/la-nasa-encuentra-definitivamente-agua-liquida-en-marte>
- Duarte, F. (21 / juliol / 2019). *BBC News*. Consultat el 22 / juliol / 2019, a <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48991623>
- EFE. (30 / març / 2017). *Marte perdió su atmósfera por el viento solar y la radiación*. Consultat el 24 / juliol / 2019, a informador.mx:  
<https://www.informador.mx/Tecnologia/Marte-perdio-su-atmosfera-por-el-viento-solar-y-la-radiacion-20170330-0009.html>
- El País. (20 / juliol / 2019). *MISIÓN APOLO 11 | 50 aniversario de la llegada a la Luna*. Consultat el 22 / juliol / 2019, a youtube.com:  
[https://www.youtube.com/results?search\\_query=mision+apolo+11+el+pais](https://www.youtube.com/results?search_query=mision+apolo+11+el+pais)
- ESA Science. (1 / juliol / 2019). *Comparing the atmospheres of Mars and Earth*. Consultat el 17 / juliol / 2019, a exploration.esa.int:  
<https://exploration.esa.int/web/mars/-/60153-comparing-the-atmospheres-of-mars-and-earth>

- Espacio. (27 / maig / 2009). *Able y Miss Baker: el primer vuelo espacial con primates cumple 50 años*. Consultat el 2 / juliol / 2019, a <https://www.elmundo.es/elmundo/2009/05/26/ciencia/1243329400.html>
- europapress. (04 / 10 / 2018). *cienciaplus/misiones espaciales*. Consultat el juliol / 2019, a <https://www.europapress.es/ciencia/misiones-espaciales/noticia-61-anos-lanzamiento-sputnik-primer-satelite-artificial-20181004123305.html>
- European Space Agency. (sense data). *Datos de la ESA*. Consultat el 10 / juliol / 2019, a [http://m.esa.int/esl/ESA\\_in\\_your\\_country/Spain/Datos\\_de\\_la\\_ESA](http://m.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/Datos_de_la_ESA)
- Ezell, E. C. (27 / octubre / 1967). *On Mars: Exploration of the Red Planet. 1958-1978*. Consultat el 15 / juliol / 2019, a [history.nasa.gov](https://history.nasa.gov/history.nasa.gov:): <https://history.nasa.gov/SP-4212/ch4.html>
- Foing, b. (21 / desembre / 2018). *Apolo 8: primer viaje humano a nuestro octavo continente, la Luna*. Consultat el 12 / juliol / 2019, a [abc.es](https://www.abc.es/ciencia/abci-apollo-8-primer-viaje-humano-nuestro-octavo-continente-luna-201812211628_noticia.html): [https://www.abc.es/ciencia/abci-apollo-8-primer-viaje-humano-nuestro-octavo-continente-luna-201812211628\\_noticia.html](https://www.abc.es/ciencia/abci-apollo-8-primer-viaje-humano-nuestro-octavo-continente-luna-201812211628_noticia.html)
- FRABETTI, C. (17 / agost / 2019). *El agua de Marte*. Consultat el 18 / agost / 2019, a [elpais.com](https://elpais.com/elpais/2019/08/14/ciencia/1565781648_015548.html): [https://elpais.com/elpais/2019/08/14/ciencia/1565781648\\_015548.html](https://elpais.com/elpais/2019/08/14/ciencia/1565781648_015548.html)
- Freudenrich, C. (4 / maig / 2001). *How Project Mercury Worked*. Consultat el 6 / juliol / 2019, a [HowStuffWorks.com](https://science.howstuffworks.com/project-mercury3.htm): <https://science.howstuffworks.com/project-mercury3.htm>
- García, E. R. (24 / febrer / 2018). *El oxígeno de los astronautas de la Estación Espacial, ¿de dónde proviene?* Consultat el 19 / juliol / 2019, a [elespanol.com](https://www.elespanol.com/omicron/tecnologia/20180224/oxigeno-astronautas-estacion-espacial-proviene/287472119_0.html): [https://www.elespanol.com/omicron/tecnologia/20180224/oxigeno-astronautas-estacion-espacial-proviene/287472119\\_0.html](https://www.elespanol.com/omicron/tecnologia/20180224/oxigeno-astronautas-estacion-espacial-proviene/287472119_0.html)
- Gibbens, S. (29 / novembre / 2017). *Las lombrices son capaces de reproducirse en tierra marciana simulada*. Consultat el 27 / agost / 2019, a [nationalgeographic.es](https://www.nationalgeographic.es/espacio/2017/11/las-lombrices-son-capaces-de-reproducirse-en-tierra-marciana-simulada): <https://www.nationalgeographic.es/espacio/2017/11/las-lombrices-son-capaces-de-reproducirse-en-tierra-marciana-simulada>

- Greshko, M. (12 / gener / 2018). *Descubiertas enormes reservas de agua en Marte*. Consultat el 10 / agost / 2019, a nationalgeographic.es:  
<https://www.nationalgeographic.es/espacio/2018/01/descubiertas-enormes-reservas-de-agua-en-marte>
- Hagen, J. P. (22 / Juliol / 2019). *NASA Space Science Data Coordinated Archive*. Consultat el 24 / Juliol / 2019, a <https://www.elsoldecuernavaca.com.mx/doble-via/ciencia/resucita-plan-ares-proyecto-latinoamericano-para-llegar-a-marte-3284898.html>
- History.com Editors. (29 / juliol / 2019). *NASA created*. Consultat el 13 / juliol / 2019, a history.com: <https://www.history.com/this-day-in-history/nasa-created>
- Loff, S. (14 / març / 2014). *Astronaut John H. Glenn Jr. With Mercury "Friendship 7" Spacecraft*. Consultat el 11 / juliol / 2019, a NASA.gov:  
<https://www.nasa.gov/content/astronaut-john-h-glenn-jr-with-mercury-friendship-7-spacecraft>
- Loff, S. (15 / maig / 2019). *Apollo 11 Mission Overview*. Consultat el 14 / juliol / 2019, a nasa.gov: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/apollo/missions/apollo11.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/missions/apollo11.html)
- López, A. (03 / Novembre / 2013). *Ya está el listo que todo lo sabe*. Consultat el 02 / Juliol / 2019, a Blogs 20Minutos:  
<https://blogs.20minutos.es/yaestaellistoquetodolosabe/tag/sputnik-2/>
- Mack, E. (19 / novembre / 2018). *At 20, the International Space Station remains a stellar success story*. Consultat el 17 / juliol / 2019, a cnet.com:  
<https://www.cnet.com/news/at-20-the-international-space-station-remains-a-stellar-success-story/>
- Marín, D. (25 / octubre / 2010). *50 años de la catástrofe de Nedelin*. Consultat el 3 / juliol / 2019, a danielmarin.eureka.com:  
<https://danielmarin.naukas.com/2010/10/25/50-anos-de-la-catastrofe-de-nedelin/>
- Marín, D. (19 / agost / 2010). *50 años de Strelka y Belka*. Consultat el 2 / juliol / 2019, a danielmarin.eureka.com: <https://danielmarin.naukas.com/2010/08/19/50-anos-de-strelka-y-belka/>

- Marín, D. (16 / juliol / 2019). *Eureka*. Consultat el 20 / juliol / 2019, a danielmarin.naukas.com: <https://danielmarin.naukas.com/2019/07/16/apolo-11-rumbo-a-la-luna-medio-siglo-del-apolo-11-parte-4/>
- Mateo, P. S. (18 / juny / 2019). *Cómo se perdió la atmósfera de Marte*. Consultat el 20 / juliol / 2019, a okdiario.com: <https://okdiario.com/ciencia/como-perdio-atmosfera-marte-2533358>
- Milhaud. (14 / març / 2011). *Los 13 grandes hitos de la carrera espacial*. Consultat el 21 / juny / 2019, a <https://recuerdosdepandora.com/ciencia/astronomia/los-13-grandes-hitos-de-la-carrera-espacial/>
- Mosher, D. (14 / octubre / 2018). *Elon Musk says SpaceX is on track to launch people to Mars within 6 years — here's the full timeline of his plans to colonize the red planet*. Consultat el 13 / juliol / 2019, a businessinsider.es: <https://www.businessinsider.es/elon-musk-spacex-mars-plan-timeline-2018-10?r=US&IR=T>
- NASA Content Administrator. (30 / gener / 2018). *July, 12, 1962: The Day Information Went Global*. Consultat el 9 / juliol / 2019, a NASA History: <https://www.nasa.gov/topics/technology/features/telstar.html>
- NASA Mars. (28 / maig / 2019). *NASA's Mars Exploration Prograam*. Consultat el 6 / juliol / 2019, a Science: <https://mars.nasa.gov/odyssey/mission/science/>
- NASA MARS Odyssey. (15 / febrer / 2019). *Odyssey Orbiter Mission Overview*. Consultat el 14 / juliol / 2019, a mars.nasa.gov: <https://mars.nasa.gov/odyssey/mission/overview/>
- NASA Planetary Science Division. (6 / juny / 2019). *Mars In Depth*. Consultat el 15 / juliol / 2019, a solarsystem.nasa.gov: <https://solarsystem.nasa.gov/planets/mars/in-depth/>
- NASA Science. (18 / juny / 2019). *NASA Solar System Exploration*. Consultat el 4 / juliol / 2019, a In Depht | Giotto: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/giotto/in-depth/>

- NASA's Jet Propulsion Laboratory. (18 / juny / 2019). *Giotto*. Consultat el 13 / juliol / 2019, a solarsystem.nasa.gov: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/giotto/in-depth/>
- Nelson, J. (2019). *Mission to Mars Viking 1*. Consultat el 9 / juliol / 2019, a nasa.gov: <https://www.jpl.nasa.gov/missions/viking-1/>
- Oberhaus, D. (17 / junio / 2015). *6 hombres pasaron encerrados 520 días para saber si es posible vivir en Marte*. Consultat el 22 / juliol / 2019, a vice.co: <https://www.vice.com/es/article/ypbmvj/6-hombres-pasaron-encerrados-520-das-para-saber-si-es-posible-vivir-en-marte>
- Odisea. (22 / setembre / 2018). *Viajes espaciales, hacia lo desconocido, documental en Español en HD*. Consultat el 20 / Juny / 2019, a youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=n28ssv5zHRU>
- Pascual. (10 / setembre / 2018). *Esascosas*. Consultat el 7 / juliol / 2019, a Este mundo, a veces insólito: <http://www.esascosas.com/yuri-gagarin-vostok-1/>
- Peña, M. (13 / març / 2019). *Todas las misiones a Marte pasadas, presentes y futuras*. Consultat el 16 / juliol / 2019, a es.digitaltrends.com: <https://es.digitaltrends.com/tendencias/misiones-planeta-marte/>
- Portree, D. S. (26 / març / 2012). *Skylab-Salyut Space Laboratory (1972)*. Consultat el 11 / juliol / 2019, a wired.com: <https://www.wired.com/2012/03/skylab-salyut-space-laboratory-1972/>
- Quèquicom*. (17 / març / 2015). Consultat el 19 / juliol / 2019, a ccma: <https://www.ccma.cat/tv3/alcarta/quequicom/qqc-i-els-bacteris/video/5484909/>
- Ramos, P. (8 / octubre / 2018). *Se vende tierra de marte a 20 dólares el kilo*. Consultat el 13 / abril / 2019, a noticias.eltiempo.es: <https://noticias.eltiempo.es/venta-suelo-marte-tierra-marciano/>
- Red Estelar. (2010). *Red Estelar*. Consultat el juny / 2019, a La carrera espacial: <http://red-estelar.webcindario.com/La-carrera-espacial.html>
- Redacción Gestión. (22 / octubre / 2018). *Elon Musk: Biografía del ingeniero, físico y empresario sudafricano, uno de los hombres más ricos del planeta*. Consultat el 27 / juliol / 2019, a gestion.pe: <https://gestion.pe/mundo/internacional/elon->

musk-biografia-historia-paypal-spacex-millonario-fortuna-edad-pais-telsa-motors-solar-city-bio-perfil-nnda-nnda-243104-noticia/

Redd, N. T. (15 / desembre / 2017). *Hubble Space Telescope: Pictures, Facts & History*. Consultat el 13 / juliol / 2019, a space.com:

<https://www.space.com/15892-hubble-space-telescope.html>

Rodríguez, R. (02 / octubre / 2018). *¿Quieres tener suelo de Marte en tu casa? Ahora puedes conseguirlo por 20 dólares*. Consultat el 13 / abril / 2019, a elconfidencial.com: [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2018-10-02/comprar-suelo-marte-experimento-universidad-florida-central\\_1624063/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2018-10-02/comprar-suelo-marte-experimento-universidad-florida-central_1624063/)

Rodríguez, A. (14 / juliol / 2019). La despensa de Marte. (J. Godó, Ed.) *Magazine*, 26-33. Consultat el 15 / juliol / 2019

Saavedra, C. M. (19 / març / 2013). *Misiones espaciales del siglo XXI*. Consultat el 1 / juny / 2019, a <https://prezi.com/cwd5jlaqczlf/misiones-espaciales-del-siglo-xxi/>

Saber es práctico. (26 / 06 / 2016). *Saber es práctico*. Consultat el juny / 2019, a <https://www.saberespractico.com/curiosidades/marte-en-10-datos-y-su-comparativa-con-la-tierra/>

Sanz, E. (23 / març / 2019). *Cuatro cosas que el robot Curiosity ha descubierto sobre Marte*. Consultat el 11 / agost / 2019, a muyinteresante.es:

<https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/cuatro-cosas-que-el-robot-curiosity-ha-descubierto-sobre-marte-681375788936>

sciences.ucf. (25 / juny / 2019). *Planetary Simulant Database*. (2019, Editor, agost, Productor, & 27) Recollit de sciences.ucf.edu:

<https://sciences.ucf.edu/class/planetary-simulant-database/>

SciShow Space. (4 / març / 2018). *Could We Give Mars a Magnetic Field?* Consultat el 18 / agost / 2019, a youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=o7K07-ZFVj8>

SpaceX. (17 / setembre / 2018). *Making life multiplanetary*. Consultat el 23 / juliol / 2019, a spacex.com: <https://www.spacex.com/mars>

SpaceX. (17 / setembre / 2018). *Making life multiplanetary*. Consultat el 23 / juliol / 2019, a spacex: <https://www.spacex.com/mars>

teinteresa. (22 / juny / 2012). *En Marte se podrá vivir y cultivar los propios alimentos*.

Consultat el 25 / juliol / 2019, a teinteresa.es:

[http://www.teinteresa.es/ciencia/Marte-vivir-cultivar-propios-alimentos\\_0\\_723528306.html](http://www.teinteresa.es/ciencia/Marte-vivir-cultivar-propios-alimentos_0_723528306.html)

TheFamousPeople-Editors. (18 / febrer / 2019). *Elon Musk Biography*. Consultat el 12 / abril / 2019, a thefamouspeople.com:

<https://www.thefamouspeople.com/profiles/elon-musk-5562.php>

twing-usa. (24 / febrer / 2018). *¿Qué necesitan las plantas para crecer?* Recollit de twing-usa.com.

University of Central Florida, UCF. (2 / abril / 2019). *Planetary Simulant Database*.

Consultat el 15 / abril / 2019, a sciences.ucf.edu:

<https://sciences.ucf.edu/class/planetary-simulant-database/>

Uriarte, J. M. (27 / octubre / 2018). *10 características de Marte*. Consultat el 17 / juliol / 2019, a caracteristicas.co: <https://www.caracteristicas.co/marte/>

Voloshin, O. (27 / setembre / 2018). *«Mars-500» project Simulation of a manned flight to Mars*. Consultat el 25 / juliol / 2019, a mars500.imbp.ru:

<http://mars500.imbp.ru/en/about.html>

Watanabe, S. (10 / novembre / 2008). *Mars Phoenix Lander Finishes Successful Work on Red Planet*. Consultat el 10 / juliol / 2019, a

[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/phoenix/news/phoenix-20081110.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/phoenix/news/phoenix-20081110.html)

Wired. (18 / abril / 2019). *NASA's Twin Space Experiment Explained | WIRED*.

Consultat el 23 / juliol / 2019, a youtube.com:

<https://www.youtube.com/watch?v=EFYRDSiSXzc>

Wolf, M. (21 / març / 2018). *Terraforming Mars: Protecting the Martian Atmosphere | The Case for Mars 13*. Recollit de youtube.com:

[youtube.com/watch?v=NL1mEDzzMa4&list=PLTm2nxwGUdv1KfuEunUxEz0EaAeoKhuMB&index=4&t=0s](https://www.youtube.com/watch?v=NL1mEDzzMa4&list=PLTm2nxwGUdv1KfuEunUxEz0EaAeoKhuMB&index=4&t=0s)

Wolf, M. (22 / abril / 2018). *Can Plants Survive on Mars? The Case for Mars 15*.

Consultat el 27 / agost / 2019, a youtube.com:

<https://www.youtube.com/watch?v=9CAvgsZ2yQk&list=PLTm2nxwGUdv1KfuEunUxEz0EaAeoKhuMB&index=6&t=0s>

Wolf, M. (17 / maig / 2018). *Future Home on Mars? The Case for Mars 21*. Consultat el 17 / agost / 2019, a youtube.com:

[https://www.youtube.com/watch?v=r\\_qEKOKcuPU](https://www.youtube.com/watch?v=r_qEKOKcuPU)

Wolf, M. (21 / juny / 2018). *How will NASA provide Food for Future Missions to Mars? The Case for Mars 26*. Consultat el 17 / agost / 2019, a youtube.com:

<https://www.youtube.com/watch?v=L6gfGePVQzg>

Wolf, M. (7 / juny / 2018). *Learn how astronauts will make Oxygen on Mars! The Case for Mars 24*. Consultat el 17 / agost / 2019, a youtube.com:

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_9amdbi14Qw](https://www.youtube.com/watch?v=_9amdbi14Qw)

Wolf, M. (9 / març / 2018). *Terraforming Mars: Building an Atmosphere | The Case for Mars 12*. Consultat el 17 / agost / 2019, a youtube.com:

[https://www.youtube.com/watch?v=f-5NXKA\\_TKc](https://www.youtube.com/watch?v=f-5NXKA_TKc)

Wolf, M. (12 / abril / 2018). *Turning the Red Planet Blue | The Case for Mars 14*.

Consultat el 27 / agost / 2019, a youtube.com:

[https://www.youtube.com/watch?v=c6\\_tnnBW5ns](https://www.youtube.com/watch?v=c6_tnnBW5ns)

Wolf, M. (9 / maig / 2018). *Where will we live on Mars? The Case for Mars 20*.

Consultat el 20 / agost / 2019, a youtube.com:

[https://www.youtube.com/watch?v=JFmqPoA\\_CN0](https://www.youtube.com/watch?v=JFmqPoA_CN0)

Yanes, J. (12 / abril / 2017). *Houston, tenemos una solución: la historia de Apolo 13*.

Consultat el 12 / juliol / 2019, a bbvaopenmind.com:

<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/fisica/houston-tenemos-una-solucion-la-historia-del-apollo-13/>

Uriarte, J. M. (27 / octubre / 2018). *10 características de Marte*. Consultat el 17 / juliol / 2019, a caracteristicas.co: <https://www.caracteristicas.co/marte/>

Voloshin, O. (27 / setembre / 2018). «*Mars-500*» *project Simulation of a manned flight to Mars*. Consultat el 25 / juliol / 2019, a mars500.imbp.ru:

<http://mars500.imbp.ru/en/about.html>

- Watanabe, S. (10 / novembre / 2008). *Mars Phoenix Lander Finishes Successful Work on Red Planet*. Consultat el 10 / juliol / 2019, a [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/phoenix/news/phoenix-20081110.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/phoenix/news/phoenix-20081110.html)
- Wired. (18 / abril / 2019). *NASA's Twin Space Experiment Explained | WIRED*. Consultat el 23 / juliol / 2019, a [youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=EFYRDSiSXzc](https://www.youtube.com/watch?v=EFYRDSiSXzc)
- Wolf, M. (21 / març / 2018). *Terraforming Mars: Protecting the Martian Atmosphere | The Case for Mars 13*. Recollit de [youtube.com: youtube.com/watch?v=NL1mEDzzMa4&list=PLTm2nxwGUdv1KfuEunUxEz0EaAeoKhuMB&index=4&t=0s](https://www.youtube.com/watch?v=NL1mEDzzMa4&list=PLTm2nxwGUdv1KfuEunUxEz0EaAeoKhuMB&index=4&t=0s)
- Wolf, M. (22 / abril / 2018). *Can Plants Survive on Mars? The Case for Mars 15*. Consultat el 27 / agost / 2019, a [youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=9CAvgsZ2yQk&list=PLTm2nxwGUdv1KfuEunUxEz0EaAeoKhuMB&index=6&t=0s](https://www.youtube.com/watch?v=9CAvgsZ2yQk&list=PLTm2nxwGUdv1KfuEunUxEz0EaAeoKhuMB&index=6&t=0s)
- Wolf, M. (17 / maig / 2018). *Future Home on Mars? The Case for Mars 21*. Consultat el 17 / agost / 2019, a [youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=r\\_qEKOKcuPU](https://www.youtube.com/watch?v=r_qEKOKcuPU)
- Wolf, M. (21 / juny / 2018). *How will NASA provide Food for Future Missions to Mars? The Case for Mars 26*. Consultat el 17 / agost / 2019, a [youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=L6gfGePVQzg](https://www.youtube.com/watch?v=L6gfGePVQzg)
- Wolf, M. (7 / juny / 2018). *Learn how astronauts will make Oxygen on Mars! The Case for Mars 24*. Consultat el 17 / agost / 2019, a [youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=\\_9amdbi14Qw](https://www.youtube.com/watch?v=_9amdbi14Qw)
- Wolf, M. (9 / març / 2018). *Terraforming Mars: Building an Atmosphere | The Case for Mars 12*. Consultat el 17 / agost / 2019, a [youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=f-5NXKA\\_TKc](https://www.youtube.com/watch?v=f-5NXKA_TKc)
- Wolf, M. (12 / abril / 2018). *Turning the Red Planet Blue | The Case for Mars 14*. Consultat el 27 / agost / 2019, a [youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=c6\\_tnnBW5ns](https://www.youtube.com/watch?v=c6_tnnBW5ns)

Wolf, M. (9 / maig / 2018). *Where will we live on Mars? The Case for Mars 20*.

Consultat el 20 / agost / 2019, a youtube.com:

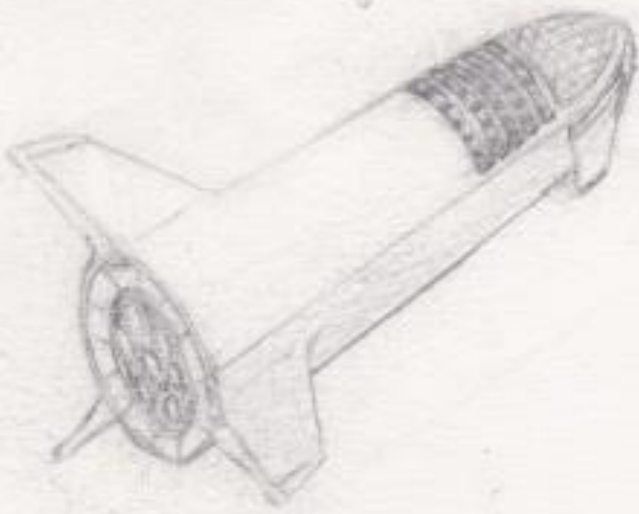
[https://www.youtube.com/watch?v=JFmqPoA\\_CNo](https://www.youtube.com/watch?v=JFmqPoA_CNo)

Yanes, J. (12 / abril / 2017). *Houston, tenemos una solución: la historia de Apolo 13*.

Consultat el 12 / juliol / 2019, a bbvaopenmind.com:

<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/fisica/houston-tenemos-una-solucion-la-historia-del-apollo-13/>

# Annexos



Martí

## Annex I: Correspondència amb el Dr. Daniel Britt de Florida (15/04/2019)

El Dr. Daniel Britt és un investigador de la Universitat de Florida que ha treballat en diversos projectes de la NASA, tots enfocats a la colonització de Mart.

Foto del Dr. Daniel Britt



Font: [http://www.planetary.brown.edu/planetary/geo287/PhobosDeimos/bio/Britt\\_photo.gif](http://www.planetary.brown.edu/planetary/geo287/PhobosDeimos/bio/Britt_photo.gif)

Conversa a través del correu electrònic entre el Dr. Daniel Britt i Martí Massó

Ground of mars

Safata d'entrada x



**M3 Masso** <massomarti@gmail.com>

dg., 14 d'abr. 20:39



per a dbritt@ucf.edu

Dear Dr. Britt,

I'm a spanish student who is doing a research work about how could humans survive on mars. To do it, i wanted to simulate the ground of mars and try to plant some vegetables on it, as you and your team have done. However, I've been searching information for hours and I still don't find the right composition to do it. That's why I would be so grateful if you could tell me how to make this simulation in a laboratory.

Thank you,  
Martí Massó



**Daniel Britt** <dbritt@ucf.edu>

dl., 15 d'abr. 3:49



per a mi

anglès > català Tradueix el missatge Desactiva per a: anglès x

Hi Martí:

Take a look at our simulants webpage. It list the composition of a number of Martian simulants and papers on the mineralogy of type areas on Mars.

<https://sciences.ucf.edu/class/planetary-simulant-database/>


Regards,

Dan

Dr. Dan Britt, Pegasus Professor  
Director, Center for Lunar and Asteroid Surface Science  
Department of Physics  
University of Central Florida  
4111 Libra Drive, PSB 430  
Orlando, FL 32816-2385  
Voice 407-823-2600  
fax 407-823-5112  
cell 407-489-5645  
[dbritt@ucf.edu](mailto:dbritt@ucf.edu)

Font: correus electrònics del Dr. Daniel Britt i de Martí Massó

Pàgina web de la Universitat Central de Florida (UCF) de les diferents simulacions del sòl de diferents astres i cossos celestes del sistema solar



**Planetary Simulant Database**

The UCF Planetary Simulant Database maintains up-to-date information on currently available and historic planetary simulants. If you would like a simulant added to the database, or can provide missing information, please email Kevin Cannon (kcannon@ucf.edu). Note that we do not keep physical samples of simulants in the database, but we distribute our own simulants through the [CLASS Exolith Lab](#). In partnership with the [ESA Sample Analogue Curation Facility](#), we also offer complimentary consulting on all simulant-related matters.

The listing of simulants below was last updated on June 25, 2019.

Simulants are categorized by the planetary body and their general type. Those **marked in green** are known to be currently available online. Those **marked in yellow** are either under development or recently produced, and may be available in small quantities from the developers.

We also maintain a [downloadable spreadsheet \(.xlsx\)](#) with a listing of the simulants and their bulk chemistry where available.

**Simulant categories**

- General purpose:** A simulant designed to match multiple properties (chemical, mineralogical, geotechnical) of the reference material. We do not count ground-up terrestrial rocks as general purpose simulants unless they are augmented to be more realistic, or if the developers make the case that the mineralogy is a good match to the reference material.
- Geotechnical/Physical:** A simulant designed mostly to replicate geotechnical/physical properties, with little effort to achieve accurate mineralogy or chemistry.
- Spectral:** A simulant designed primarily to match the reflectance or emission spectra of a reference material.
- Magnetic:** A simulant designed to replicate the magnetic properties of a reference material.
- Unknown:** Not enough information available to classify the simulant.

**Lunar Dust & Volatile-Rich Simulants**


- [DL1-D20 Lunar Dust Simulant](#)
- [DLDS-1 Lunar Dust Simulant](#)
- [CML-1 Carnegie Mellon University](#)
- [DUJST-V Silicate Dust Simulant](#)
- [EROST-V Lunar Volatile-Rich Simulant](#)

**Martian Simulants**

- [CS-X Mars Simulant](#)
- [JHZ-1 Jezero Delta Simulant](#)
- [JMSS-1 Jirone Mars Soil Simulant](#)
- [JSC Mars-1/1A Johnson Space Center](#)
- [KMS-1 Korean Mars Simulant](#)

Font: <https://sciences.ucf.edu/class/planetary-simulant-database/>

Pàgina web de la Universitat Central de Florida (UCF) de la simulació del sòl de Mart, dins de l'apartat de les simulacions del sòl de diferents astres i cossos celestes del sistema solar



**Planetary Simulant Database: MMS-1/2 The Martian Garden**

[← Return to simulant listing](#)

**Mineralogy**

No data available. Analyses indicate that these simulants contain significant amounts of hydrated clays and other alteration minerals, unlike the original [MMS](#).

**Bulk Chemistry**

In the composition tables provided by The Martian Garden, we assume that by "silicates" they mean "SiO<sub>2</sub>". We reproduce the tables as-is below.

Component	MMS-1	MMS-2
Silicates	49.40	44
Aluminum Oxide	17.1	13
Iron III Oxide	10.87	18
Magnesium Oxide	6.08	7
Calcium carbonate	10.45	—
Calcium oxide	—	8
Sulfate	—	6
Perchlorate	—	<1
Other	6.1	4

**Physical Properties**

No data available

Font: [https://sciences.ucf.edu/class/simulant\\_martiangarden/](https://sciences.ucf.edu/class/simulant_martiangarden/)

**Pàgina web de la Universitat Central de Florida (UCF) de la simulació del sòl de Mart, dins de l'apartat de les simulacions del sòl de diferents astres i cossos celestes del sistema solar**

**Simulant Name:** MMS-1/2 Mojave Mars Simulant, Enhanced Mars Simulant

**Current Status:** Commercially available

**Developed By:** The Martian Garden

**Available From:** <https://www.themartiangarden.com>

**Publications:** N/A

The Martian Garden is an education company that sells two Mars simulants, MMS-1 and MMS-2. They claim these are the same as the [Mojave Mars Simulant](#) produced by JPL. The Martian Garden company had no contact with the developers of the original MMS, but is mining material from the same general region. However, it appears that instead of sourcing the unaltered basalt that makes up MMS, the company is actually mining a highly altered cinder material that is much more red and contains abundant alteration minerals.

MMS-2, the Enhanced Mars Simulant, is spiked with "Iron III Oxide, Magnesium Oxide, Sulfates and Silicates" to make up for discrepancies in bulk chemistry between Mars and MMS-1. It is not clear whether the chemistry reported by the Martian Garden assumes that the source basalt is the same as MMS, and if so it is likely in error because of the change in source material.

### Images

Photographs of the MMS-1 (left) and MMS-2 (right) simulants:



**Font:** [https://sciences.ucf.edu/class/simulant\\_martiangarden/](https://sciences.ucf.edu/class/simulant_martiangarden/)

## Annex II: Entrevista al Dr. Joan Miró UdG (16/07/2019)

El 17 de juliol del 2019, vaig anar a la Universitat de Girona per realitzar una entrevista al doctor Joan Miró, que ara està jubilat però segueix anant a la universitat per treballar voluntàriament. Aquesta entrevista que us presento a continuació la vaig gravar i la vaig transcriure posteriorment.

Dr. Joan Miró Ametller i Martí Massó Moreno,  
16/07/2019, Universitat de Girona



Font: pròpia

**Martí Massó:** Bona tarda. Em presento: jo soc un alumne de l'institut Santiago

Sobrequés i ara he fet primer de Batxillerat i estic fent un treball de recerca sobre la supervivència humana a Mart. Estic estudiant el planeta, les missions que s'hi han fet, la història de l'exploració espacial... I com a part pràctica he simulat el terra, el sòl, de Mart i hi plantaré unes plantes per veure si és possible que creixin plantes en aquest terra. I, en fi, venia a fer-li unes preguntes sobre aquest tema.

**Dr. Joan Miró:** Bé, jo soc en Joan Miró, professor de la universitat de Girona i, com que em van avisar que vindries amb aquest tema, he preparat alguns papers per si t'anaven bé.

**Martí Massó:** Ah! Perfecte, gràcies!

**Dr. Joan Miró:** Té, el que he preparat és que La Vanguardia va publicar, no sé si ho vas veure, en el "Magazine", un article sobre estudis que estan fent a la Universitat Autònoma de Barcelona sobre com alimentar i, d'alguna manera reciclar, els residus i l'aire dels astronautes que van a Mart. T'ho vaig guardar i, per si calia, aquí tens les adreces de la gent que està treballant en aquests temes.

**Martí Massó:** Val, gràcies!

**Dr. Joan Miró:** Jo no hi he parlat eh, però si et decidissis a parlar amb ells m'ho dius perquè els escriuria prèviament.

**Martí Massó:** Moltes gràcies!

**Dr. Joan Miró:** I l'altra cosa que he preparat, abans que em facis les preguntes, és que he mirat la informació que hi havia sobre la composició del terra de Mart i t'he imprès... potser això ja ho tenies...*(Em lliura informació en paper)*.

**Martí Massó:** Moltes gràcies! Bé, és que com que hi ha diferents tipus de terra a Mart, jo vaig contactar amb un professor d'una universitat dels Estats Units que estudia el tema i em va passar un estudi on ja hi tenien tots els diferents tipus de terres que s'havien detectat i estudiat amb les diferents composicions però això també m'ho miraré.

**Dr. Joan Miró:** Bé, de fet deu ser el que hi ha aquí perquè hi ha els resultats de les diferents observacions.

**Martí Massó:** Val, perfecte!

**Dr. Joan Miró:** Bé, no sé si sabré tant! Digues, digues.

**Martí Massó:** Bé, per començar, farem algunes preguntes més generals: quina és la seva opinió sobre la colonització de planetes? Creu que és una cosa útil per la humanitat?

**Dr. Joan Miró:** A veure, jo ho considero atractiu. Útil no n'estic segur perquè no és només adaptar el planeta a la vida humana sinó que hi ha moltes més circumstàncies, és a dir, jo hi he somiat si vols amb la terra-formació, i fins i tot havia pensat quin procediment es podia seguir, a base de primer portar-hi bacteris, que els bacteris (però això és un procés de segles) canviessin l'atmosfera del planeta, etc. Però clar, hi ha moltes altres coses. Entre elles hi ha la insolació solar; que Mart està bastant més lluny del Sol que la Terra i, per tant, la radiació que ens arribaria seria molt diferent. Encara que el terra-forméssim, després la vida no seria com a la Terra. I, a més, en broma, és: "Ja estem fent malbé un planeta, no en fem malbé d'altres". De fet això ho opina també un dels que estan en aquest article.

**Martí Massó:** Ha ha ha , també, també.

**Dr. Joan Miró:** Doncs, per posar un exemple, l'altra alternativa seria Venus, però Venus té un dia que és més llarg que l'any. O sigui que gira tan lentament que el dia dura més dies terrestres que l'any de Venus, de manera que la quantitat de calor que rep al llarg d'aquest dia és enorme i les temperatures a Venus són insuportables. Doncs, encara que el terra-forméssim, aquesta circumstància no la podríem canviar. Bé, això crec, vés a saber què pot passar!

Per tant, què opino? Doncs em fa gràcia però dels planetes del Sistema Solar dubto que tingués resultats positius.

**Martí Massó:** Però clar, després hi ha el tema de que seria una opció a tenir en compte per si la humanitat hagués d'abandonar el planeta a causa de que corre perill d'extingir-se aquí. Creu que la Terra té possibilitats de salvar-se, davant la situació en la què es troba ara?

**Dr. Joan Miró:** Home, suposo que caldrà rectificar el que estem fent, però sí. O sigui tenim un període de temps al davant. Ara, el què no sé és fins a quin punt, amb un període de temps relativament curt, totes les zones del planeta seran habitables com ara ho són,

més o menys. Potser ens veurem obligats a viure ( o es veuran obligats els que vinguin) a viure en regions limitades: ni massa amunt en latitud, ni massa avall, ni massa a prop de l'equador, ni massa a prop dels pols.

**Martí Massó:** Creu que la humanitat, tecnològicament, està preparada per fer aquest pas, per colonitzar un planeta?

**Dr. Joan Miró:** Sí, ho crec. A veure, cap dels planetes del Sistema Solar té les condicions per viure-hi. No sé si algun satèl·lit de Júpiter, per exemple, potser hi podríem anar, però potser també li passaria el mateix: estan massa lluny del Sol.

Ara ja estem dissenyant com viure, per exemple, a la Lluna o a Mart, però no serà una vida còmode. Per tant, tecnològicament ho podem fer, però potser els sacrificis que caldrà fer seran molt grans. No és el mateix que anar d'Europa a Amèrica al segle XV, quan la descobreixen. Al capdavall, les condicions ambientals d'Amèrica eren semblants a les d'Europa; o les d'Àfrica o les d'Amèrica del sud, però en canvi les de Mart, són molt més diferents. Però hi crec, o sigui, crec que al menys d'un inici d'estada podria estar en condicions.

**Martí Massó:** Pensa que és important centrar-se en aquest projecte de Mart o hi ha altres estudis dintre el nostre sistema solar que puguin tenir més importància des del punt de vista científic?

**Dr. Joan Miró:** Tot és interessant. Jo suposo que el plantejament s'ha de fer en base a les condicions en les què es podrà treballar. Per exemple, pot ser molt interessant el comportament de Tità, que és un satèl·lit de Saturn. O el d'Europa, que és de Júpiter. Pot ser molt interessant l'estudi de les condicions, però també hem de pensar quan tardem en arribar-hi. El viatge a Mart pot ser un viatge d'uns quants dies (potser algun mes), però clar el viatge fins a Júpiter o més enllà ja pot tardar molts mesos, i les comunicacions ser molt complicades. Comunicar-nos amb la Lluna és qüestió de una mica més d'un segon, però comunicar-nos amb Mart ja són uns quants minuts, i més enllà, encara més... Per

tant, el que és interessant de Mart és que el que es faci pot servir d'experiència per futures exploracions. Per tant, és interessant tot però anem, diguem-li, per etapes.

**Martí Massó:** I vist que els Estats Units i Rússia han estat els capdavanters de la tecnologia espacial, creu que Europa s'hauria d'implicar més en aquest àmbit o hi ha altres prioritats més importants?

**Dr. Joan Miró:** No, Europa s'hi hauria d'implicar més i, de fet, hi estan treballant, és a dir, en algunes coses estan col·laborant amb els americans, com explica aquest article que t'he passat. És clar, estan fent estudis diguem-ne complementaris al que significarà la tecnologia del viatge. Però viure i desfer-se dels residus serà igual d'important faci qui faci l'estudi. Doncs clar, un projecte propi Europa no ho ha intentat, de fet. La Xina ho està intentant però els principals protagonistes són Rússia i els EEUU. Per tant, potser més valdria sumar-se als que ja han començat, al menys tot això ho tenim guanyat.

**Martí Massó:** Creu que avançaria més la tecnologia si col·laboressin totes les potències mundials juntes o si competissin entre elles?

**Dr. Joan Miró:** Millor col·laborar. La competència sempre és productiva però té un inconvenient de quin és l'àmbit d'aplicació, és a dir, si l'àmbit d'aplicació és relativament pròxim, competir pot ser beneficiós, sobretot si la gent ha de triar una cosa o una altra; però si el projecte és global, de tota la humanitat, la col·laboració és millor. I ja ens inventem com competir dintre la col·laboració.

**Martí Massó:** Ara endinsant-nos en Mart, coneix alguna diferència significativa des del punt de vista químic entre la Terra i Mart?

**Dr. Joan Miró:** Bàsicament jo crec que n'hi ha dues: una és l'atmosfera, que a Mart és molt tènue i bàsicament deuen ser gasos de l'estil del diòxid de carboni i, per tant, si hi

ha oxigen deu ser simbòlic gairebé, i l'absència d'aigua. Absència d'aigua al menys en superfície, potser hi ha aigua enterrada però ja és de més difícil accés i no hi ha humitat, diguem-ne ambiental.

La resta no, són molt semblants, és a dir, en aquest treball, pel que veig, està comparant roques de la Terra amb roques de Mart, moltes són roques de tipus volcànic i algunes estan oxidades o que fins i tot han estat en contacte amb aigua en algun moment però ara en aquest moment hi ha aquestes dues diferències i la tercera que serien les temperatures. Les temperatures a Mart són molt més extremades. Quan el Sol il·lumini, la temperatura anirà pujant. Quan el Sol està amagat, com que hi ha molt poca atmosfera, segurament la temperatura deu baixar molt, amb situacions tan extremes com la del Vall Mariner que, mentre en un costat està il·luminat l'altre està fosc i diuen que els vents que es generen (tot i que l'atmosfera és tènue) són terribles. Encara que l'atmosfera sigui tènue, bé que provoca tempestes de pols.

**Martí Massó:** Vaig sentir també que podia ser que estant a Mart tinguessis calor a l'altura dels peus i fred a l'altura del cap, no sé si és veritat això.

**Dr. Joan Miró:** Sí, pot ser perquè clar, el que reparteix l'escalfor és l'aire i si no hi ha aire o és molt tènue, el que estigui en contacte amb el terreny s'escalfarà perquè el terreny estarà calent però la temperatura no s'anirà repartint com ens passa a nosaltres. És a dir, una mica com a la platja, on la sorra pot estar molt calenta i les mans suportar-ho, però no estàs tan fred, perquè l'aire ho reparteix una mica.

**Martí Massó:** Amb els components que hi ha a Mart, creu que és viable l'existència de vida, o que n'hi hagi hagut en temps passats?

**Dr. Joan Miró:** Que n'hi hagi hagut sembla que els estudis fins i tot tendeixen a pensar que sí, vida potser microbiana.

La vida és molt especial, és a dir, és capaç d'adaptar-se a les condicions més extremes. Diguem-ne que la cosa important serà preguntar com ha començat. Com ha començat, si

pot haver començat; pot no haver tingut les condicions per desenvolupar-se i pot haver quedat, per tant, reduïda a zones molt tancades, de difícil accés, pot ser que s'hagi acabat completament i que per tant només hi trobem els residus microbians. Però que n'hi pot haver hagut encara que no com la que coneixem a la Terra, ho crec.

**Martí Massó:** Creu que si nosaltres intentéssim terra-formar Mart, la vida que es creés s'adaptaria al planeta?

**Dr. Joan Miró:** Bé, de fet hauríem adaptat el planeta a nosaltres primer, però sí; fins i tot hi ha alguna novel·la de ciència ficció que explica que els humans que han poblat Mart acaben revolant-se contra els terrestres que els dominen, com les colònies d'Amèrica es van revoltar contra les metròpolis en el seu moment. La història sembla que es vagi repetint.

Un cop terra-format, probablement l'efecte de la calor del Sol serà el més important, perquè la durada del dia terrestre i el marcià és per l'estil, per tant, això no influiria gaire. Ara imagina't, però, que vius en un planeta on el dia dura 12 hores terrestres. Això vol dir que cada 12 hores se't farà de nit i, o bé vius de manera que dorms una nit de cada dues o la vida s'adapta d'una altra manera, dormint, per exemple, cada 12 hores.

**Martí Massó:** Si no m'equivoco, hi ha indicis d'existència d'aigua sòlida en els pols de Mart i podria ser que n'hi hagués en altres parts del planeta, segurament sota terra, però si per alguna raó l'assentament humà que s'hi fes no tingués aigua a prop, creu que hi seguirien havent possibilitats de supervivència? Hi ha alguna manera fàcil de fabricar aigua a partir d'altres components?

**Dr. Joan Miró:** Hi ha una manera de fabricar aigua a partir d'altres components, però totes són complicades. Com ho farien? La major part de situacions preveuen regenerar l'aigua, reciclar-la.

**Martí Massó:** Exacte, com s'hauria fet durant tot el viatge a Mart, no?

**Dr. Joan Miró:** Sí, si no n'hi hagués, reciclar-la perquè és possible fabricar aigua depèn dels minerals que trobin, si troben minerals que continguin hidrats d'altres moments de la història de Mart. Es podria intentar extreure aquesta aigua però sempre té un cost energètic elevat.

**Martí Massó:** O sigui que seria complicat.

**Dr. Joan Miró:** Sí, diguem-ne que sí.

**Martí Massó:** Amb la composició que he elaborat a partir d'informació que he obtingut, això que li mostro aquí, creu que el creixement de les plantes d'aquí és viable?

**Dr. Joan Miró:** Això ho has provat?

**Martí Massó:** Ara he creat la terra i aquesta tarda, segurament, hi planti les plantes.

**Dr. Joan Miró:** O sigui, a partir de combinar aquests compostos?

**Martí Massó:** Sí.

**Dr. Joan Miró:** Jo el que volia fer, i per això t'havia preparat aquest escrit, jo el que hauria fet és buscar les roques equivalents a terrestres.

**Martí Massó:** Ho he fet amb alguns d'ells com, per exemple, silicats i òxid d'alumini, he agafat roca volcànica.

**Dr. Joan Miró:** Val perfecte. I a continuació per simular-ho què fas?, això ho tens tancat?

**Martí Massó:** Faria com si fos un hivernacle i ho tindria en condicions normals d'aquí, en temperatura ambient; l'atmosfera no la simulo perquè seria molt i molt complicat, i la radiació ja ni parlar-ne.

**Dr. Joan Miró:** I l'absència d'aigua?

**Martí Massó:** No. Si faig com si fos en un hivernacle, la cosa seria anar-ho regant i tractar-ho normal. I després també hi faria una altra versió on, a més, hi afegiria fems d'animals, fertilitzants, per veure si amb els nutrients extra ajuda a que creixi. I a part d'això, també faria una tercera versió on agafaria terra òptima d'aquí per comparar-ho amb la d'allà.

**Dr. Joan Miró:** Molt bé, un experiment punt blanc diguem. No sé què dir-te. Quan tinguis els resultats, explica'm-ho. La gran diferència serà la temperatura i l'atmosfera; i l'aigua, al capdavall la recicles i d'alguna manera també li proporciones aigua. I la idea d'utilitzar roques per aportar algun dels components és bona perquè les roques porten més coses. I a la superfície de Martí, pel que he vist, el que hi ha és molta pols. Això com ho tindràs, ho tindràs granulat?

**Martí Massó:** La terra volcànica en pedretes molt petites, però reduir-ho a pols és molt complicat, estan molt dures.

**Dr. Joan Miró:** Clar, perquè... com creix una planta aquí a la Terra?, perquè hi ha fang?, perquè hi ha argila?, per què la terra és tova, d'alguna manera?

**Martí Massó:** Necessita sals minerals, aigua, una mica d'airejament...

**Dr. Joan Miró:** Però arrelar amb grànuls, pot ser? La terra volcànica és fèrtil perquè és terra nova que ha sortit de l'interior de la Terra, els territoris on hi ha vulcanisme són fèrtils.

**Martí Massó:** Bé, ja li aniré enviant els resultats. I, canviant de tema, creu que tot i el fet de no tenir camp magnètic i amb la poca gravetat que té és possible que en algun moment torni a haver una atmosfera a Mart?

**Dr. Joan Miró:** Sí. Per què l'ha perduda? La Terra també va perdre atmosfera però com que la regenera, per exemple, amb el vulcanisme. A Mart també em sembla que hi ha moviments sísmics però vulcanisme ja no n'hi deu haver, això fa que la regeneració de gasos sigui complicada i si tots els gasos han de sortir de la terra en formació això deu ser molt llarg i, és clar, de la part de dalt els gasos més lleugers els perdrà contínuament perquè els gasos més lleugers són d'hidrogen, l'heli, l'oxigen ja és més pesant... O sigui, la Terra s'hauria quedat sense aigua perquè hauria perdut l'hidrogen relativament de pressa, però com que la temperatura va ser prou alta i prou baixa alhora com per formar aigua, la pèrdua de molècules d'aigua per què s'escapin de la gravetat terrestre ja és més difícil. L'hidrogen s'hauria escapat però convertit en aigua, no. O sigui, si són capaços de crear l'atmosfera probablement els hi durarà prou.

**Martí Massó:** I quant a feines a Mart, de persones que anessin a treballar allà, un químic, per exemple, que podria tenir com a feina?

**Dr. Joan Miró:** Generar aigua, atmosfera i oxigen, que van lligats perquè l'aigua també té un compost que és l'oxigen. Potser el generen d'una altra forma. Ja posats a fer córrer la imaginació, tu et situes a Mart, fas una sembra de microorganismes que puguin viure en aquelles condicions de temperatura que oscil·la molt, perquè hi ha temperatures molt baixes, una determinada insolació solar. Això ho deixes perquè vagi contaminant d'aigua el planeta i a la vegada vas una mica més enllà a buscar cometes compostos de gel, els desvies (estic fent córrer la imaginació) i els llences cap a Mart, els fas caure a Mart, de manera que en aquesta zona tindries una aportació d'aigua abundant.

**Martí Massó:** Clar, perquè anar-la transportant des d'aquí costaria molt.

**Dr. Joan Miró:** Si no, et costaria molt més generar-la. Això que dic dels microorganismes ja va passar a la Terra. Els primers microorganismes eren anaerobis, per tant, creaven energia en absència d'oxigen i el residu que generaven era oxigen, o sigui, el que excretaven i, per tant, contaminava l'entorn, era oxigen. Aquest oxigen els mata. Microorganismes anaerobis encara n'hi ha però han de viure en espais reduïts, l'oxigen és un tòxic per a ells, era el resultat de la seva contaminació. La contaminació els va exterminar però alhora va permetre que visquessin altres organismes que vivien amb l'oxigen. L'oxigen oxida, l'oxigen crema, però crema lentament, i tenim un sistema enzimàtic que impedeix que entrem en combustió. De la mateixa manera que un foc necessita aportació d'oxigen, nosaltres cremem amb oxigen, ara, ho fem a baixa temperatura.

**Martí Massó:** I per acabar, quina és la seva opinió sobre la viabilitat d'assentaments humans permanents a Mart?

**Dr. Joan Miró:** Jo crec que sí, per dir-ho breument. A mi em sembla que amb les explicacions que em donat abans, ja d'alguna forma anàvem cap aquí. O sigui, si l'opinió vol dir "en soc favorable o contrari?", favorable; si és "pot ser?", crec que pot ser. I els escriptors de ciència ficció ja s'ho havien imaginat molts anys enrere.

**Martí Massó:** Sí, jo també ho crec. Molt bé, doncs aquí s'acaba l'entrevista. Ja l'informaré. Moltes gràcies.

**Dr. Joan Miró:** Gràcies a tu.

### **Annex III: Entrevista al Dr. Enrique Peiró, investigador de la ESA a la UAB**

El Dr. Enrique Peiró és director tècnic d'una planta dintre l'Escola d'Enginyeria de la Universitat Autònoma de Barcelona dedicada al projecte Melissa (Micro-Ecological Life Support System Alternative) de l'Agència Espacial Europea (ESA).

Dr. Enrique Peiro Cezón i Martí Massó Moreno, 24/07/2019,  
Universitat Autònoma de Barcelona



Font: pròpia

**Martí Massó:** Hola, bon dia, soc en Martí Massó, un alumne de 1r de

batxillerat de l'Institut Santiago Sobrequés de Girona, i estic fent un treball de recerca sobre la possible colonització de Mart. I com a part pràctica, estic estudiant el creixement de diferents plantes en un terra de Mart simulat. Em sembla que els estudis que esteu fent en aquest centre poden ser d'interès pel meu treball.

**Dr. Enrique Peiró:** Bé, jo soc Enrique Peiró. Ara entrarem en el laboratori i t'ensenyaré quin és l'estudi que estem fent.

**Martí Massó:** El projecte Melissa està dintre la ESA, no?

**Dr. Enrique Peiró:** Sí, i dintre d'aquest projecte nosaltres estudiem la reutilització dels recursos en un circuit més o menys tancat, amb l'objectiu de ser utilitzat per viatges espacials de llarga durada.

Aquí, el que estem fent és un intent de reproduir un ecosistema natural com el que hi ha en el cas d'un estany.

Aquest ecosistema de l'estany és pràcticament tancat, i hi ha diferents nivells tròfics i on la reutilització de la matèria és molt important, no és del 100%, però sí que és molt eficient. Doncs, el que estem fent nosaltres al laboratori és intentar reproduir aquests processos de forma artificial. Es tracta de reproduir artificialment un ecosistema natural i, per això, utilitzem uns bio-reactors. Alguns d'aquests bio-reactors són equivalents al que hi ha al fons de l'estany, sense llum ni oxigen,

on es fa la degradació de la matèria carbonada. Bàsicament, en el nostre cas són, sobretot, les arrels de les plantes, que no es mengen; juntament amb femta, orina, etc. Tot això es descomposa en CO<sub>2</sub> i altres gasos. Després, alguns components necessiten altres bacteris que es troben en altres capes, que completen la degradació de la matèria orgànica i dels compostos nitrogenats en amoni. Aquest amoni les plantes no l'utilitzen directament sinó que l'utilitzen transformant-lo, prèviament, en forma de nitrat.

Una altra substància que es necessita és l'oxigen, i aquest pot ser produït per les plantes o els cianobacteris, i nosaltres l'obtenim per les dues bandes.

**Martí Massó:** Clar. A l'article publicat a la Vanguardia que fa referència al vostre treball, es parlava de l'espíulina, no?

**Dr. Enrique Peiró:** Sí, l'espíulina és un cianobacteri. Nosaltres utilitzem com a font d'oxigen els cianobacteris i les plantes. La diferència és que les plantes són més productives a l'hora de fer oxigen, però alhora són menys flexibles quan demanes un canvi de la producció d'oxigen. Si la tripulació està dormint i demanda menys quantitat d'oxigen, poses les espíulines a la foscor i disminueix ràpidament la producció d'oxigen, i després si la nostra tripulació, que són rates, es desperta, tu poses més llum a l'espíulina i es comença a produir més oxigen. Això, en les plantes, és més difícil, llavors hem mantingut tots dos, perquè la funció fotosintètica la fan les dos.



Així, nosaltres obtenim la degradació del carboni, continuada amb altres bacteries; nitrificació i fotosíntesis i d'aquesta manera tanquem el cicle. Això és un ecosistema molt simplificat, però si aconseguim un rendiment del 60 % ja és molt. Cal pensar que per anar a Mart és molt important reduir la quantitat d'oxigen, aliment,... i també reduir els residus obtinguts, reaprofitant-los. En una estació fixa, ja sigui a la lluna o a Mart, es podria seguir el mateix sistema.

Què hi tenim a la planta? En una sala tenim aïlladors de rates, perquè en el nostre cas no podem tenir un astronauta, ja que és molt car i complicat. A més per integrar els reactors es fa *step by step*. Pel primer, es necessita oxigen; pel segon, no i el tercer són les rates en lloc d'una persona o un animal. Això és més econòmic i més fàcil. A cada aïllador hi ha un mínim de dues rates i un màxim de 12. Aprofiten l'oxigen produït per les plantes i els cianobacteris. Per altra banda, els excrements produïts no els utilitzem. Només fem l'intercanvi de gasos que és l'important en el nostre treball. Oxigen per les rates i diòxid de carboni per les plantes i els cianobacteris.

Aquí tenim la cambra de plantes que és un cultiu hidropònic i en un altra sala tenim 2 reactors. Abans, al 2012 teníem un tercer que servia per a la degradació de residus, ara ja no, ja que això ho treballen altres universitats.

En el primer reactor, d'un volum de 12 litres, hi ha boles de poliestirè a dins, i els bacteris hi creixen al seu voltant transformant l'amoníac a nitrat. Són dues espècies de bacteris diferents. Per una banda, hi ha les nitrosomonas que fan el pas de amoni a nitrit i, per altra banda, hi ha el nitrobàcter que passa el nitrit a nitrat. És un cultiu axènic. Això vol dir que només hi ha els dos bacteris que hi hem posat, la resta és estèril. L'altre reactor és un altre cultiu axènic però en aquest cas d'espíulina.

Ara mateix aquests reactors estan treballant per separat. Són cultius continus que reben l'aliment per sobre mentre que per sota s'obtenen els productes que serviran per alimentar un altre reactor. Es poden connectar alguns productes en fase líquida i altres en fase gas.

El tema es complica a mesura que hi anem afegint reactors. Si poséssim residus hi hauria producció de diòxid de carboni, però caldria eliminar els contaminants. Al final tot ha de formar un cicle.

**Martí Massó:** Al final es podrà reciclar la majoria dels productes?

**Dr. Enrique Peiró:** La idea és arribar a un rendiment del 60 o 70 % de reciclatge. Però una cosa és reciclar i l'altra produir aliment suficient. La idea és produir oxigen necessari per una persona i que també es produeixi el 20 o 40 % de l'aliment total, ja que les plantes no proveeixen tant aliment com d'oxigen. Per fer-ho, calen dues cambres de plantació més.

Ara mateix no hi ha plantes en la cambra, només hi ha les safates, preparades per fer-hi un cultiu hidropònic que vol dir que no hi ha terra sinó que s'hi posa un altre material que és la llana de roca que és inert i que s'esterilitza a l'autoclau. De tota manera el sistema no és estrictament estèril.

**Martí Massó:** Les sals minerals que hi ha en els cultius són les que ens trobaríem al terra de Mart?

**Dr. Enrique Peiró:** No, per nosaltres l'objectiu d'aquesta planta és el viatge a Mart. No és fer servir el material de Mart.

**Martí Massó:** Teniu pensat algun pla per quan s'arribi a Mart?

**Dr. Enrique Peiró:** No, ja que el projecte és de suport de vida en una missió de llarga durada. També és cert que es parla de tres anys en el projecte de Mart. Un d'anada, un de tornada i un d'estada allà. Però nosaltres no treballem amb material de Mart. Pot ser en altres llocs si que s'estudia amb materials de Mart.

**Martí Massó:** Així, no només les sals minerals sinó també la temperatura, la humitat,... són les òptimes?

**Dr. Enrique Peiró:** Les òptimes aquí. Aquest és el nostre objectiu. No ho és posar-ho a altres condicions no òptimes.

L'objectiu és fer el cicle tancat en unes condicions escollides per nosaltres. El que si s'està estudiant en altres llocs és l'efecte de les radiacions en els bacteris.

En el cas de l'enciam, hi posem el substrat, 205 peces de llana de roca amb llavors incubades prèviament 9 dies fora. Es posen les llavors germinades dins la càmera. La solució de sals que es regula per unes aixetes inunda la part inferior del substrat i es recull en un col·lector general. Es controla el PH i la temperatura. L'any que ve posarem més sensors per controlar nitrats i oxigen. Cal esmentar també que dins aquest sistema hi



posem diòxid de carboni a 1000 ppm. L'aire que respirem nosaltres està a 400 ppm. A més diòxid de carboni, més producció. Les rates quan les connectem a les espirulines tenen un nivell de 10.000 ppm de diòxid de carboni.

**Martí Massó:** Aquesta concentració tan elevada no les perjudica, donat que estan molt per sobre del normal?

**Dr. Enrique Peiró:** Encara no és un problema. Es pot pensar que és una ciutat contaminada. A més, els astronautes respiren normalment uns nivells de diòxid de carboni molt elevats.

**Martí Massó:** Els cultius hidropònics es poden fer amb totes les plantes?

**Dr. Enrique Peiró:** Es pot fer amb moltes, però amb algunes no. Nosaltres treballem amb l'enciam, el blat i la remolatxa.

**Martí Massó:** En què us heu basat per triar-les?

**Dr. Enrique Peiró:** L'enciam acumula molta aigua, el blat conté molta fibra i la remolatxa té molt sucre. Són plantes molt diferents amb arrels i fulles molt diferents també. Així estudiem més diversitat de plantes.

El que produeix més oxigen és el blat, després la remolatxa i finalment l'enciam. La més fàcil de cultivar és l'enciam que és la planta per la que hem començat. Així doncs, la decisió d'haver triat aquestes tres plantes és que tenim tres exemples molt diferents.

L'any vinent farem més canvis a la cambra, donat que el proper contracte, al 2021, hem de dedicar molts esforços a les plantes.

**Martí Massó:** A l'article publicat per vosaltres es parlava de dieta bàsicament vegetariana. També es parlava de l'opció d'obtenir carn a partir de cucs o bé fabricar carn artificial.

**Dr. Enrique Peiró:** Nosaltres no treballem això, però són idees per utilitzar en viatges per l'espai. El que sí hi ha és estudis per obtenir cucs a la Xina.

**Martí Massó:** Col·laboreu vosaltres amb la Xina o amb altres països?

**Dr. Enrique Peiró:** Dins l'agència espacial europea (ESA) hi ha diversos països col·laborant entre ells. Hi ha bona relació amb els japonesos, la NASA i també Rússia.

Els xinesos han visitat aquesta planta i estan molt interessats en col·laborar. La NASA té més restriccions.

**Martí Massó:** Perquè hi ha guants incorporats a cada cambra?

**Dr. Enrique Peiró:** Els guants es fan servir per treballar dins la cambra sense necessitat de contacte amb l'exterior. La barrera més important per nosaltres no és una contaminació microbiològica, ja que les rates ja porten els seus propis microorganismes. De tota manera, no volem afegir riscos, introduint accidentalment microorganismes patògens a les rates, perquè les rates han crescut en un medi lliure de microorganismes patògens.



El més important de tot és el control de les substàncies produïdes. La fase gas ha d'estar a dins i cada molècula de gas que surt a fora ens afecta els resultats de l'experiment. Hem de controlar perfectament que el diòxid de carboni de les rates va a les espirulines i que l'oxigen de les espirulines va a les rates. Si hi ha fuites, els resultats no valen res.

Només tolerem fuites d'un màxim de 20 % del volum inicial de gas de l'inici de l'experiment. Sembla molt, però per la durada de l'experiment és poc.

Aquest aïllador és d'acer i té un grau d'estanquitat màxima a nivell mundial.

A la cambra de plantes, el tancament no és tan bo, i per això d'aquí a dos anys farem canvis.

**Martí Massó:** Com ho feu per alimentar les rates perquè, fent-ho, les fuites són inevitables?

**Dr. Enrique Peiró:** Els experiments duren un mes o un mes i mig. Es posa tot des de l'inici, menjar, aigua, bosses per recollir residus. Però si s'ha de posar altres coses, que a vegades passa utilitzem un *air log*, que és una estança que es troba abans de la cambra principal. Poses les coses, tanques, i després obres l'estança de les rates. Això comporta

un petit contacte amb l'aire de l'exterior. Si volem ser més estrictes hi ha un *air log* més petit.

Si s'obre l'*air log* dues vegades en un mes, l'impacte és petit. Les rates tenen menjar i una ampolla d'aigua i agafen tot el que volen.

**Martí Massó:** Aquest estudi que forma part de l'ESA també hi deuen participar altres universitats i cadascuna deu seguir línies d'investigació diferents, no?

**Dr. Enrique Peiró:** Sí

**Martí Massó:** Fins on cobreix aquest estudi? Tot consisteix a sobreviure dins la nau?

**Dr. Enrique Peiró:** Sí, el projecte global Melisa és un ecosistema de suport de la vida en l'espai. El consorci són empreses i universitats d'Europa. Hi ha gent que fa experiments de vol per veure si a l'espai els resultats canvien i si les radiacions afecten als bacteris. A Bèlgica hi ha una empresa que treballa això i, en canvi, treballen molt poc la nitrificació, per exemple. En canvi, en un altre centre, a Anvers es treballa molt la nitrificació. A Nàpols treballen molt amb les plantes.

**Martí Massó:** I per projectes de Mart, l'ESA, la NASA i altres col·laboren o competeixen?

**Dr. Enrique Peiró:** Col·laboren, però també hi ha competència. Per exemple, hi ha un projecte per fer una estació espacial en un lloc entre la Terra i la Lluna, on la gravetat és exactament zero ja que s'equilibren les gravetats dels dos cossos. Parlen de fer una nova estació espacial i enviar missions curtes, d'una setmana o dues i que seria una preparació per anar després a Mart. És un lloc sense protecció a radiacions. És molt complicat i, a més, lluny.

En aquesta nova estació alguns components els faran els japonesos, altres l'ESA, altres la NASA... S'està decidint qui aporta què i qui es fa responsable de què. Aquí sí que hi ha una mica de competició.

**Martí Massó:** Si està entre la Terra i la Lluna, aquesta estació pot ser útil per aportar recursos pels viatges a Mart?

**Dr. Enrique Peiró:** Aquest tema no el conec. No tinc informació.

**Martí Massó:** Pel que fa a recursos i diners, són suficients per les investigacions que feu?

**Dr. Enrique Peiró:** Ara mateix sí. Tenim suficient per la gent que hi treballa i l'espai que disposem. Si tinguéssim més espai, amb una nova planta podríem anar més ràpid. Per altra banda, fins que no s'obtenen resultats d'integració d'espírules amb rates no es pot fer l'altre pas amb les plantes. Els experiments amb bacteris duren 5 mesos i això condiciona el ritme de treball.

**Martí Massó:** Quantes persones sou en el vostre equip?

**Dr. Enrique Peiró:** Som unes 10 persones: el cap que es dedica a aquest projecte i a altres, dos tècnics de funcionament de la planta, un responsable de la qualitat, una administrativa, dos tècnics de manteniment, dos tècnics de laboratori i un enginyer. També hi ha dues persones, que hi podem afegir, que treballen fent la seva tesi doctoral.

**Martí Massó:** Quants anys fa que es duen a terme aquestes investigacions?

**Dr. Enrique Peiró:** Des del 1995 es feia a la facultat de ciències i al 2006 es va començar a fer a l'escola d'enginyeria. Abans de tot això, però, funcionava en un altre laboratori

dins l'ESA des del 1990. Més endavant van oferir la possibilitat de fer-ho en un altre lloc, ja que a ells els faltava espai. El meu cap se'n va assabentar i ho va portar a la UAB.

**Martí Massó:** El repartiment de les tasques de l'ESA està en tots els països que hi col·laboren?

**Dr. Enrique Peiró:** Si, la seu central és a Paris. El centre de treball més important és a Holanda, i hi ha centres repartits a diferents llocs. Nosaltres ens relacionem poc amb els d'Espanya, ja que el suport a la vida té la seva seu a Holanda i a Espanya es treballa més en altres àmbits com els satèl·lits, que són investigacions independents.

**Martí Massó:** Com és que el Canadà està dins l'ESA si no està a Europa?

**Dr. Enrique Peiró:** No se la raó pel que Canadà està a l'ESA. Suposo que ha trobat més col·laboració aquí que amb els Estats Units. Pel nostre projecte, els que aporten més diners són Espanya, Bèlgica, Itàlia, Noruega i França. Els diners invertits tenen un retorn amb empreses col·laboradores com CENER, que està molt a prop d'aquesta facultat.

**Martí Massó:** Hi ha moltes universitats que fan estudis centrats en Mart dins d'Europa o dins d'Espanya?

**Dr. Enrique Peiró:** Vols dir de suport de la vida en l'espai?

**Martí Massó:** De supervivència a fora de la Terra.

**Dr. Enrique Peiró:** No ho sé. No tinc dades. Hi ha gent que tindrà aquestes dades, conec algunes persones en concret que hi treballen en altres llocs i països, però no sé més.

**Martí Massó:** És possible que algú que treballi a l'ESA es passi a la NASA o a alguna altra agència espacial?

**Dr. Enrique Peiró:** No sé si ha passat. El problema que hi ha és el de confidencialitat.

**Martí Massó:** He llegit que en alguns treballs de la NASA, per exemple en els coets, ho tenen com a secret nacional d'armes avançades i no deixen que ningú de fora del país hi treballi. També ho fa SpaceX.

**Dr. Enrique Peiró:** No ho descarto. El problema és el de confidencialitat. Nosaltres, en les reunions de projecte ens ha vingut una persona de la NASA i ha treballat alguna vegada amb nosaltres, però això no és habitual.

**Martí Massó:** En el vostre article de *La Vanguardia*, es deia que es preveia que al 2030 poguessin haver-hi assentaments humans a Mart, però el vostre cap, el Dr. Francesc Gòdia, deia que al 2050 era més realista. Finalment, l'Elon Musk deia que volia provar-ho el 2024.

**Dr. Enrique Peiró:** Enviar gent és una cosa i fer assentaments és una altra. Crec, com el meu cap, que el 2050 és més realista, no tant pel problema tècnic, sinó també per les inversions que aportin els diferents països i per les relacions polítiques entre ells.

**Martí Massó :** Per ara pels resultats obtinguts, a quines conclusions heu arribat?

**Dr. Enrique Peiró:** Tenim una planta pilot que treballa amb demostracions de resultats previs obtinguts al laboratori.

**Martí Massó:** Bàsicament és demostrar una hipòtesi, no?

**Dr. Enrique Peiró:** Si, demostrar una hipòtesi i fer càlculs de rendiment. Deu anys enrere s'havia fet el mateix que fem ara en petits reactors. El que estem fent ara és demostrar que a escala més gran i, per tant, més real, amb qualitat, amb mesures precises, tot això es compleix. El que sí és nou i nostre és la integració de tot. I aquesta integració donarà resultats en el sentit de si és factible o no. Saber si s'ha de canviar alguna cosa o no.

Dins els resultats, hem integrat les espirulines amb les rates directament, sense res al mig i funciona. Més endavant, integrarem més elements i obtindrem més resultats. Són molts resultats necessaris per obtenir el global. En cada *step* es donen respostes a preguntes concretes. En el cas de les espirulines, aquestes proporcionen oxigen a les rates a un 23 per cent de concentració, superior al que hi ha a l'exterior. A les rates això ja els va bé. En el compartiment de nitrificació, depenent de la càrrega de nitrogen, varia la concentració d'oxigen. Què fem?. Posem una membrana que separa l'oxigen i el nitrogen, llavors, les rates reben oxigen enriquit i al compartiment de nitrificació rep nitrogen enriquit gràcies a la separació per aquesta membrana. Cada modificació com aquesta afegeix més peces al puzle per resoldre tot el sistema.

**Martí Massó:** Així, s'ha d'aconseguir que tot el sistema funcioni correctament, no?

**Dr. Enrique Peiró:** Exactament, i si hi ha imprevistos com, per exemple, la contaminació del suport de les plantes, s'ha de trobar una solució.

**Martí Massó:** Quina importància tenen les espirulines o els cianobacteris en la producció d'oxigen?

**Dr. Enrique Peiró:** És la producció d'oxigen necessari per l'astronauta. Les plantes fan el mateix, però l'espirulina és més flexible a l'hora d'aportar oxigen, i, a més, és comestible. Fins i tot, en herbolaris pots trobar càpsules d'espirulina. N'hi ha en càpsules i en pols, té moltes sals minerals i nutrients.

**Martí Massó:** Creu que la terra de Mart podria ser adequada pel creixement de les plantes?

**Dr. Enrique Peiró:** No ho hem estudiat. El problema és que conté productes tòxics i el fet d'afegir-hi altres coses no els eliminen. S'hi ha trobat arseni i això és un problema.

**Martí Massó:** Per acabar, és una bona inversió la investigació a Mart, pensant a llarg termini, en assentaments humans en aquest planeta?

**Dr. Enrique Peiró:** És complicat de contestar. Explorar és una necessitat de l'ésser humà. Serveix per ampliar horitzons, més que per resoldre coses. Però colonitzar un altre planeta ho veig molt difícil i lluny en el temps.

El que també veig és que la filosofia de tenir un ecosistema artificial permet estudiar què fer si un ecosistema natural es degrada, com podem mantenir la producció d'oxigen, com reciclar residus,... Això és bo no només per anar a l'espai, sinó també a la Terra.

Un exemple seria el disseny d'ecosistemes artificials en ciutats que siguin molt eficients en la reutilització dels nutrients, i per tant que requereixin poques aportacions de l'exterior.

De fet, del que es tracta és de cuidar el que tenim, cuidar el que està degradat i així millorem el que tenim a la Terra. La filosofia del projecte no només és a fora sinó també el que tenim aquí.

**Martí Massó:** Molt bé, doncs això és tot. Moltes gràcies per tot.

## **Annex IV: Qui és Elon Musk?**

Nascut a Sud-Àfrica, el 28 de Juny de 1971, Elon Reeve Musk era fill d'un enginyer sud-africà i una model canadenca. Aficionat als ordinadors, la ciència-ficció i els jocs de rol, a partir dels 10 anys d'edat va començar a programar i vendre jocs informàtics. Durant la seva adolescència va viure una profunda depressió relacionada amb el greu assetjament escolar que patia, i es va aficionar a Nietzsche i Schopenhauer. Als 17 anys va marxar a estudiar Administració i Direcció d'Empreses i Física a la Universitat de Pensilvània (Canadà).

Inspirat per innovadors com Nikola Tesla, va decidir centrar-se en tres àrees: l'internet, l'energia renovable i l'espai.

Amb el seu germà Kimbal, van aconseguir molt d'èxit amb la creació del software Zip2, que utilitzaven diaris importants, com The New York Times o el Chicago Tribune, i que posteriorment van vendre a l'empresa Compaq.

Al 1999, Elon Musk va crear un servei financer en línia anomenat X.com, que ara es coneix amb el nom de PayPal, i que més tard va vendre a la companyia eBay.

Amb els diners que havia guanyat, el 2002 va crear la seva tercera empresa: Space Exploration Technologies (SpaceX). En un termini de set anys, la companyia va dissenyar la línia de llançament espacial Falcon i la línia de naus espacials polivalents "Dragon", i feia història amb la seva innovació amb finançament privat.

SpaceX va rebre contractes de la NASA per crear una nau de llançament per lliurar càrrega a l'Estació espacial internacional. Tot i així, l'objectiu principal que té l'empresa és el de colonitzar Mart i, per tant, convertir l'espècie humana en una espècie interplanetària.

Tesla Motors es va fundar amb la missió de dissenyar i construir cotxes elèctrics. Musk va invertir a la companyia i es va convertir en el seu president el 2004, un any després de la seva creació, assumint un paper actiu en el disseny del "Roadster", que va guanyar el premi "Global Green". Durant la recessió en què es va veure afectada la companyia, es va convertir en el director general i arquitecte de productes de la companyia, fins ara.

Després de dissenyar el concepte inicial de 'SolarCity', Musk continua sent el seu major accionista. Avui, és el segon proveïdor d'energia solar als Estats Units, centrat en la lluita contra l'escalfament global.

El 2013, Musk va fer públics uns plans revolucionaris per a una tecnologia de viatges d'alta velocitat que, en teoria, podria substituir els viatges d'avió com una opció més ràpida i barata. La seva empresa SpaceX està treballant actualment per posar en pràctica els seus plans, amb el disseny pensat per funcionar completament amb energia solar.

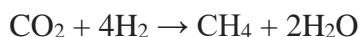
Ha previst un sistema de transport d'alta velocitat conegut com Hyperloop. Incorpora tubs de pressió reduïda en què les càpsules pressuritzades circulen sobre rodaments d'aire accionats per motors d'inducció lineal i compressors d'aire.

A principis de 2017, va realitzar a Nevada la primera prova d'èxit d'Hyperloop, un tipus de tren molt més ràpid que qualsevol altre tren fins al moment i que té aprovació verbal per utilitzar-lo en construir un sistema de transport molt més ràpid que qualsevol tren i que alguns avions de Nova York a Washington DC.

Al setembre d'aquell mateix any va anunciar l'objectiu més ambiciós de SpaceX: realitzar missions tripulades a Mart en els pròxims anys per colonitzar-lo. Actualment, hi està treballant i ha comunicat que té previst enviar la primera missió tripulada a Mart l'any 2024.

## **Annex V: Procés Sabatier per aconseguir combustible de coets a Mart**

El procés Sabatier, descobert pel químic francès Paul Sabatier el 1897, consisteix en una reacció d'hidrogen amb diòxid de carboni a temperatures i pressions elevades per produir metà i aigua. La fórmula és la següent:



Aquesta reacció suposo un pas clau a l'hora de dur a terme una missió tripulada al planeta vermell. Aprofitant la gran quantitat de CO<sub>2</sub> que hi ha a l'atmosfera i combinant-lo amb l'hidrogen, es podria aconseguir el metà que es necessita pel combustible de la nau. A partir d'aquí, amb el mètode de l'electròlisi de l'aigua, explicat en el punt 8.4.1., es podria descompondre l'aigua per obtenir H<sub>2</sub> i O<sub>2</sub>:








D'aquesta manera ja podríem aconseguir combustible pels coets a partir dels recursos que trobem a Mart i, per tant, tenir la possibilitat de tornar a la Terra després de la missió.

**Annex VI: Taula d'agències espacials globals i els seus pressupostos**

País/Regió	Agència	Pressupost en milions de \$	Any
 Estats Units	National Aeronautics and Space Administration	21,500	2019
 Xina	China National Space Administration	8,400	2017
 Gran part d'Europa	European Space Agency	6,406	2019
 Alemanya	German Aerospace Center	4,274	2017
 Rússia	Russian Federal Space Agency	3,272	2015
 França	French Space Agency	2,700	2017
 Índia	Indian Space Research Organisation	1,800	2019-20
 Itàlia	Italian Space Agency	1,800	2016
 Japó	Japan Aerospace Exploration Agency	1,699	2017
 Corea del Sud	Korea Aerospace Research Institute	583	2016
 Regne Unit	UK Space Agency	500	2017
 Algèria	Algerian Space Agency	360	2015

País/Regió	Agència	Pressupost en milions de \$	Any
 Canadà	Canadian Space Agency	246	2018
 Bèlgica	Interfederal Space Agency of Belgium	224	2018
 Espanya	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial	211	2018
 Suïssa	Swiss Space Office	177	2019
 Iran	Iranian Space Agency and Iranian Space Research Center	139	2014-15
 Països Baixos	Netherlands Space Office	110	
 Suècia	Swedish National Space Agency	100	2011
 Noruega	Norwegian Space Agency	97	2014
 Ucraïna	State Space Agency of Ukraine	80	
 Àustria	Austrian Space Agency	75	2018
 Israel	Israel Space Agency	48	
 Brasil	Brazilian Space Agency	47	2018
 Argentina	Comisión Nacional de Actividades Espaciales	45	2019

País/Regió	Agència	Pressupost en milions de \$	Any
 Pakistan	Space and Upper Atmosphere Research Commission	45	2018-19
 Filipines	Philippine Space Agency	38	2019
 Nigèria	National Space Research and Development Agency	32.3	2019
 Sud-Àfrica	South African National Space Agency	11.8	2014-15
 Mèxic	Mexican Space Agency	8.34	
 Austràlia	Australian Space Agency	6.9	2019
<b>Món</b>	<b>Totes les agències espacials (Total dels pressupostos esmentats)</b>	<b>Al voltant de 55,000</b>	<b>72</b>

<sup>72</sup> Taula extreta de: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_government\\_space\\_agencies#cite\\_note-101](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_government_space_agencies#cite_note-101) i edició pròpia.

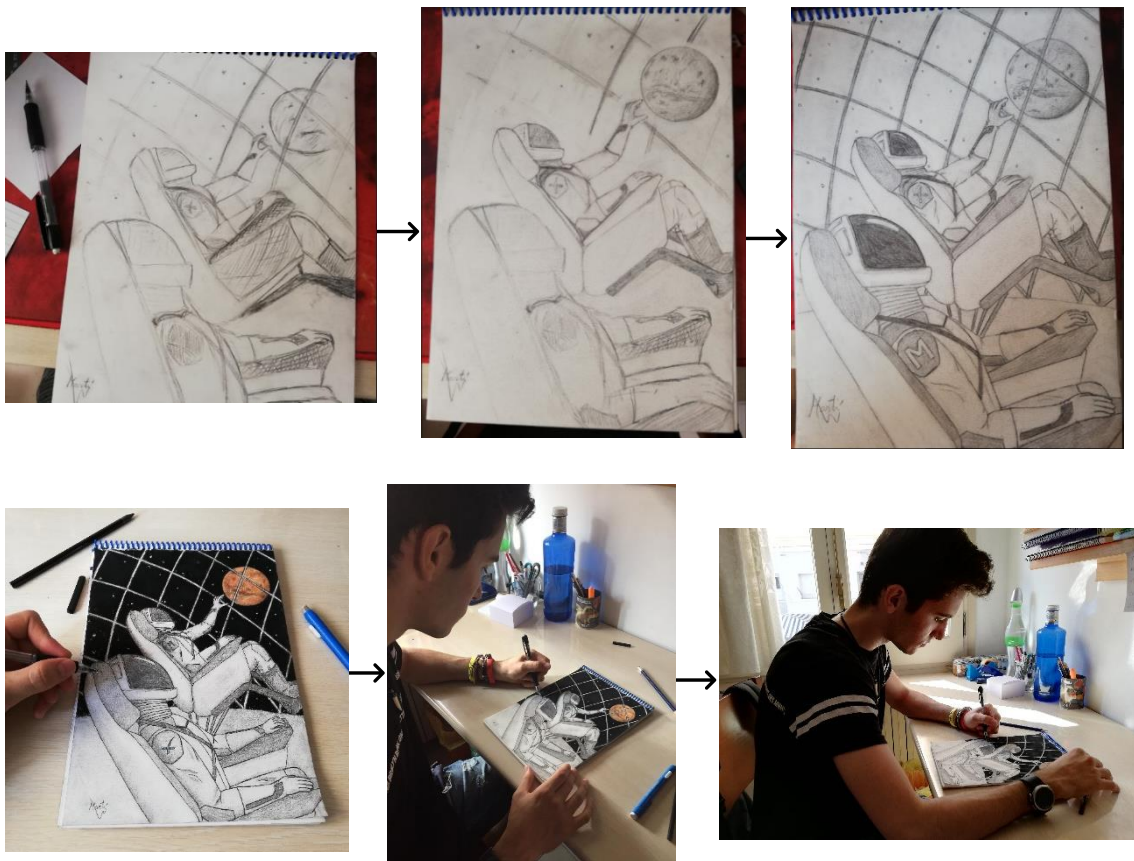
## Annex VII: Elaboració de la portada del treball

Per a l'elaboració de la portada, he fet servir material de dibuix bàsic, com són: el carbonet, el llapis de mina, el llapis de color, el bolígraf de punta fina i la goma d'esborrar. En primer lloc, he fet el dibuix en llapis i l'he pintat de colors. Després l'he resseguit amb bolígraf de punta fina de color negre. Finalment, he fet les ombres amb el llapis de mina i el carbonet per donar-li més profunditat i realisme.

La portada dels Annexos l'he fet més senzilla donat que és una part secundària del treball. Per fer-la he utilitzat només el llapis de mina i la goma d'esborrar.

A continuació, mostro algunes imatges del procés d'elaboració d'aquestes portades:

### ➤ Portada del treball:



➤ Portada dels Annexos:

