

TREBALL DE RECERCA

COLONIAS EN MARTE

Retos y soluciones para la conquista del planeta rojo



Gonzalo Campos Bertrán

Bachillerato Tecnológico



Tutor de seguimiento: Pere Valls Puyalto, Carles Rivero

El Prat de Llobregat, 7 de Octubre de 2019

Resumen

Palabras clave: colonización de Marte / tecnología / retos / planificación

Con la colonización de Marte convertida en el próximo objetivo de la comunidad científica, se plantea un reto enorme, uno de una complejidad y logística nunca antes vistas en la historia de la exploración humana.

¿Qué hay que tener en cuenta para colonizar el Planeta Rojo? ¿A qué retos nos enfrentamos? ¿Está nuestra tecnología preparada? Son muchas las preguntas que se plantean en este ámbito. La finalidad de este estudio es responderlas, ofreciendo una aproximación lo más realista posible a lo que será el futuro, nuestro papel en la Colonización de Marte.

Para conseguirlo, las siguientes páginas estudian con detalle gran parte de los conocimientos de los cuales disponemos actualmente. Toda la información de Marte, contrastada con nuestras últimas y más punteras tecnologías, para ofrecer un retrato lo más fiel posible de este acontecimiento, y responder a una pregunta: ¿sería posible, a día de hoy, establecer una colonia en Marte?

Paraules clau: colonització de Mart / tecnologia / reptes / planificació

Amb la colonització de Mart establerta com el pròxim objectiu de la comunitat científica, es planteja un repte enorme d'una complexitat i logística mai abans vistes en la història de l'exploració humana.

Què cal tenir en compte per colonitzar el planeta vermell? A quins reptes ens enfrontem? Està la nostra tecnologia preparada? Són moltes les pregutes que es plantegen en aquest àmbit. La finalitat d'aquest estudi és respondre-les, oferint una aproximació el més realista possible al que serà el futur, el nostre paper en la Colonització de Mart.

Per aconseguir-ho, les següents pàgines estudien amb detall gran part dels coneixements dels quals disposem actualment. Tota la informació de Mart, contrastada amb les nostres últimes i més punteres tecnologies, per oferir un retrat el més fidel possible d'aquest esdeveniment, i respondre a una pregunta: ¿seria possible, a dia d'avui, establir una colònia a Mart?

Keywords: Mars colonization / technology / challenges / planning

With the colonization of Mars becoming the next objective of the scientific community, a huge challenge arises, one of a complexity and logistics never seen before in the history of human exploration.

What must be taken into account to colonize the Red Planet? What challenges do we face? Is our technology ready? There are many questions around this topic. The purpose of this study is to answer them, offering an approximation as realistic as possible to what the future will be, our role in the Colonization of Mars.

To achieve this, the following pages study in detail much of the knowledge that we currently have. All the information of Mars, contrasted with our most advanced technologies and discoveries to offer a faithful portrait of this event, and answer the question: would it be possible, nowadays, to set up a colony on Mars?

Índice

1. Introducción	7
2. Antecedentes	9
2.1. Observación primitiva de Marte	9
2.2. Exploración de Marte	10
3. Impacto Social	12
4. Marte. Factores y Características	13
4.1. Características físicas	14
4.2. Gravedad en Marte	15
4.3. Estructura interna	16
4.4. Geología y suelo	18
4.5. Geografía	19
4.6. Atmósfera	24
4.6.1. El campo magnético de Marte	25
4.7. El agua en Marte	26
4.8. Climatología	27
4.9. Órbita	29
4.10. Cuerpos Celestes Marcianos	31
4.10.1. Satélites de Marte	31
4.10.2. Asteroides Troyanos	31
4.11. Vida en Marte	32
4.11.1. Supervivencia Humana en Marte	32
4.11.2. Vida Extraterrestre	33
5. La colonia ideal	34
5.1. Viajar a Marte	35
5.1.1. Retraso de las comunicaciones	38
5.1.2. Planning	39
5.1.3. Otras alternativas	40
5.1.4. El viaje de ida	44

5.1.5. Starship como alternativa (actualización)	45
5.2. Lo imprescindible	47
5.2.1. Agua y Alimentación	48
5.2.2. Vivienda	53
5.2.3. Energía	57
5.3. Residuos	60
5.4. Recreio	62
5.5. Transporte	63
6. Objetivos a largo plazo	66
7. Parte práctica	68
7.1. Diseñando la estructura ideal	69
7.2. Construyendo la maqueta	71
8. Conclusiones	74
9. Anexos	75
10. Bibliografía	80

1. Introducción

Hace cincuenta años, los primeros humanos caminaron por un suelo diferente a la Tierra. Fue en 1969 cuando la historia universal de la exploración quedó marcada para siempre, cuando la misión **Apolo 11** llevó a tres personas a caminar sobre la superficie de nuestro satélite, la Luna.

¹

Ahora, cinco décadas después, nos preparamos para afrontar la inminente llegada de otro **hit**o. En los últimos años, la industria aeroespacial ha renacido tras la desaceleración que supuso el fin de la carrera espacial. Con la aparición de nuevas agencias espaciales y empresas privadas, así como de nuevas tecnologías revolucionarias, parece ser que el siguiente objetivo es, junto con la reconquista de la Luna, la **colonización de Marte**.



Foto 1: Propulsores reutilizables de SpaceX.

Durante los últimos años se ha aprovechado para recabar más datos sobre el planeta rojo por medio de rovers y satélites, a fin de construir una colonia en el futuro. Definitivamente, esta década ha marcado el inicio de una **nueva etapa** de la exploración. Durante los próximos años, un nuevo mundo de posibilidades se abrirá ante nosotros, el mayor hito de la exploración humana desde el descubrimiento de América.

¹ Fuente: Twitter

No obstante, la colonización de Marte también comportará grandes **retos** y **problemas**. Tendremos que reimaginar todo lo que sabemos acerca de nuestra vida en la Tierra. Se habrán de reinventar infinidad de conceptos que hoy damos por hechos. Deberemos apañárnoslas para sobrevivir en un planeta hostil y que no está hecho para nosotros. Habremos de adaptarnos, expandirnos, e incluso moldear el ambiente del planeta para hacerlo habitable. Para ello, dependeremos de los avances técnicos más punteros y tecnologías de ciencia ficción para hacer nuestro un suelo extraño.

Este trabajo, por lo tanto, tiene un **objetivo** muy claro: estudiar, analizar y contrastar las posibles estrategias para construir una colonia en Marte dados los actuales avances tecnológicos, para poder proponer una colonia marciana ideal a corto plazo². Para ello, será necesario recabar toneladas de **información** sobre todos los conceptos y métodos que se están desarrollando actualmente para colonizar Marte, como las infraestructuras, el agua, la energía o los residuos, por ejemplo. La finalidad de esta investigación consistirá, por tanto, en **planificar** y relacionar todos estos factores para encontrar la **combinación** más eficaz.

No obstante, la conquista de nuestro planeta vecino no se reducirá sólo a eso, ni mucho menos. También se habrán de tener en cuenta factores como los viajes de ida y vuelta, la planificación de las misiones, la climatología del planeta... Estos solo son algunos ejemplos de todo lo que se ha de investigar y analizar detenidamente para organizar y estructurar la primera **colonia humana**. Y todo el proceso se expondrá a lo largo de estas páginas, desglosado y explicado meticulosamente.

Para llevar a cabo el objetivo, obviamente, será necesario también recabar toda la información reciente sobre el Planeta Rojo. Conocerlo mejor es un punto imprescindible de este trabajo, y toda la información recabada será útil para la parte central de la investigación, además de servir como guía de referencia para aquellos que no conozcan en profundidad todos los secretos de Marte.

² Esto es muy importante. Aunque haya mejores métodos para las futuras misiones a Marte, este trabajo contempla exclusivamente las opciones con las tecnologías y recursos actuales, con una sola misión a corto plazo, sin preparación previa.

2. Antecedentes

2.1. Observación primitiva de Marte

Marte ha sido siempre una figura reconocible en el cielo nocturno, conocido desde la **Prehistoria**. Los primeros registros de su observación datan de hace 4.000 años, en **Egipto**, seguidos por los chinos, babilonios y griegos, que se dedicaron a calcular su órbita, tamaño y distancia, así como a elaborar ecuaciones para predecir sus movimientos.

3

En el s.XVI, **Copérnico** y **Kepler** ajustaron la órbita de Marte a los datos actuales. En 1610, **Galileo** hizo la primera observación telescopica del planeta. Durante las décadas siguientes, se determinaría su período de rotación y la inclinación axial.

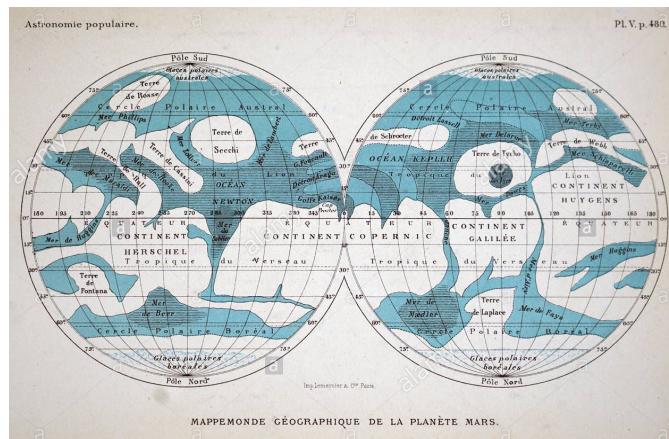


Foto 2: Mapa de la superficie de Marte, siglo XIX

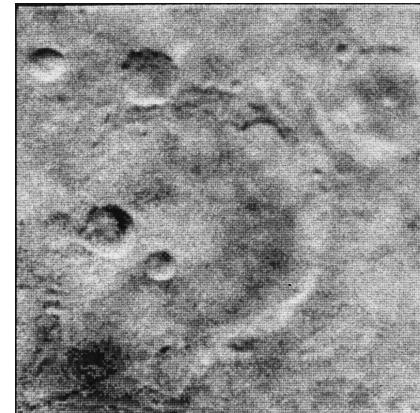
A inicios del s.XIX, mejores telescopios permitieron mapear el planeta marciano, publicándose el primer **mapa** en 1840. En esta época, los astrónomos creyeron detectar agua en la superficie, y la idea de la existencia de **vida en Marte** se popularizó. **Percival Lowell** creyó observar canales artificiales en su superficie. No obstante, se acabó demostrando que la atmósfera era muy delgada para soportar un entorno parecido a la Tierra.

Durante la década de 1920 se encontró que la atmósfera era árida, con trazos de oxígeno y agua. En 1947, **Gerard Kuiper** demostró que la fina atmósfera marciana tenía mucho dióxido de carbono; casi el doble que la atmósfera terrestre. En 1957 el **Sputnik I** se convirtió en el primer objeto humano en llegar al espacio, y se descubrió una nueva manera de estudiar el planeta en detalle. Había comenzado la Exploración Espacial de Marte.

³ Fuente: Pinterest

2.2. Exploración de Marte

Durante los 60, la Unión Soviética lanzó nueve sondas a Marte, pero todas fallaron. No fue hasta 1972 que la **Mars 2** consiguió enviar un módulo de aterrizaje, el primer objeto humano en llegar a su superficie. Durante los años siguientes, se lanzaron siete sondas Mars y dos **Phobos**, que cumplieron con mayor o menor acierto.



⁴ Foto 4: La Mariner 4, 1965

Paralelamente, las misiones americanas Mariner competían con la URSS. No sería hasta la **Mariner 4** en 1965 que se conseguiría la primera fotografía de Marte. Durante los años siguientes, las sondas Mariner recabaron más información e imágenes del planeta rojo. El siguiente programa estadounidense centrado en Marte fueron las misiones **Viking**, lanzándose dos orbitadores y dos lanzaderas en 1975: sólo con éxito las dos primeras.

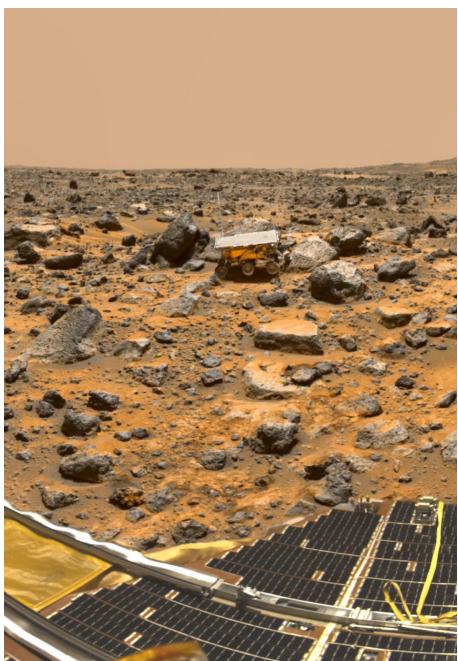


Foto 5: El Sojourner/Pathfinder

Durante los años siguientes, los rovers mandaron imágenes sin precedentes y realizaron estudios sobre la superficie de Marte. No obstante, a esta época dorada de la exploración marciana le seguiría una gran sequía, debido a la caída de la URSS y la desaceleración de la carrera espacial. Al menos, hasta que la **Pathfinder** depositó el primer rover marciano, el **Sojourner**, sobre su superficie en 1997. Ese mismo año entró en órbita la **Mars Global Surveyor**, una de las misiones más prolíficas en Marte. En 2001, la **Mars Odyssey** detectó hielo bajo su superficie.

⁴ Fuentes: NASA

Durante los años que siguieron, la Mars Exploration Rover Mission depositó dos nuevos rovers en Marte, el **Spirit** y el **Opportunity**. También se enviaron sondas, como la Phoenix y orbitadores como el **Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)**. Asimismo, misiones como la Rosetta y Dawn estudiaron brevemente Marte de camino a sus verdaderos objetivos.⁵

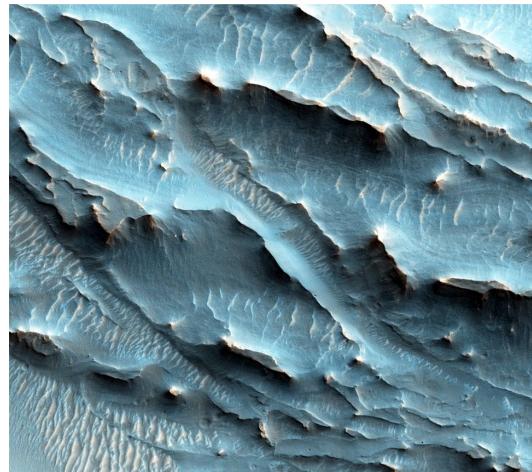


Foto 6: Imagen satelital de la MRO

En la historia reciente, los mayores hitos de la exploración de Marte llegaron con el rover **Curiosity** en 2012, así como el orbitador **MAVEN** y la Mars Orbiter Mission en 2014, o la sonda **InSight**, que aterrizó en Marte en 2018 y se dedica a estudiar la geología interna mediante herramientas punteras.

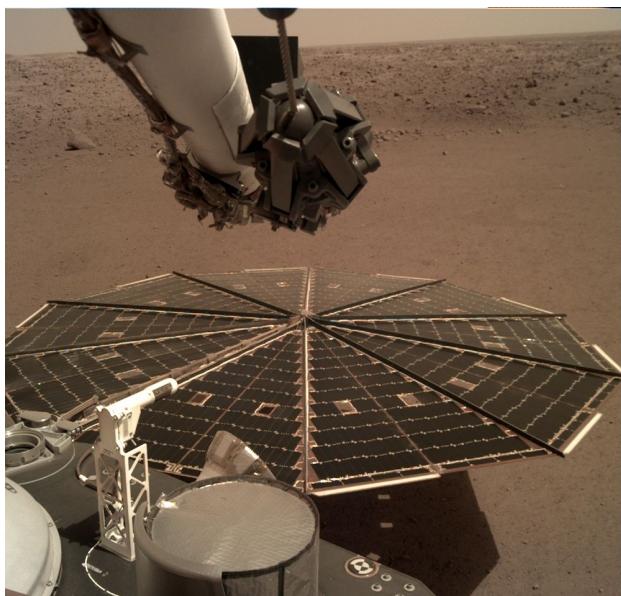


Foto 7: Imagen del InSight, 2018

Mirando hacia el futuro, hay propuestas varias misiones enfocadas al estudio de Marte, tales como el proyecto **Mars 2020** de la NASA, que contará con un rover. Otros rovers serán los del proyecto **ExoMars**, una colaboración entre la ESA y Rusia que se pondrá en marcha el mismo año, así como el rover planeado por China, conocido como **HX-1**.

Paralelamente, están programadas diferentes misiones a Marte de agencias tan jóvenes como India (ISRO), con su **Mangalyaan 2**, o los Emiratos Árabes, que en 2020 lanzarán un orbitador conocido como **Hope Mars**.

⁵ Fuentes: NASA

3. Impacto Social

La importancia de la conquista de Marte es **innegable**. No solo por la carrera tecnológica que supone un evento de este tipo, sino por todos los beneficios que esto tendría a largo plazo.

El estudio *in situ* de Marte traería incontables avances y descubrimientos científicos, tanto para comprender mejor nuestro pasado y nuestro futuro, como para solucionar **problemas globales** o responder a grandes preguntas que llevan siglos sin respuesta. Marte es además una fuente gigantesca de nuevos recursos que podrían solucionar cuestiones como la **superpoblación** o la densificación de las ciudades.



No obstante, si no se quiere caer en los mismos errores que han marcado al siglo XXI, la conquista de Marte debe observarse desde un **nuevo enfoque**. Se debería haber aprendido que la explotación descontrolada solo produce problemas a largo plazo.⁶

Foto 8: A día de hoy ya estamos comenzando a ver las consecuencias de nuestros errores

Por ello, este trabajo se propone contemplar la colonización de Marte desde un punto de vista **ecológico y sostenible**. Tomando como referencia el descontrol y el caos de anteriores épocas de descubrimiento, como la colonización de América, donde se llevaron a cabo genocidios masivos, la colonización de Marte debería regularse antes incluso de que se lleve a cabo. Con una **explotación controlada** de sus recursos y una política de energía sostenible, estas medidas no tan solo conseguirían frenar el avance de una colonización apresurada y nociva, sino que protegerían en la medida posible el entorno virgen y de gran valor que es Marte.

⁶ Fuente: Infobae

4. Marte. Factores y Características

Marte, también conocido como el **Planeta Rojo**, es el cuarto planeta del Sistema Solar, el segundo más pequeño y vecino de la Tierra. Debido a su proximidad y a su pasado, Marte se ha convertido durante las últimas décadas en el **foco de atención** de la comunidad científica, ya que parece claro que está por convertirse en el primer mundo diferente a la Tierra que el Hombre pise en su Historia.



Foto 9: Imagen de Marte desde el Hubble

En muchos aspectos, el Planeta Rojo sigue siendo un completo misterio para la comunidad científica

Debido a su cercanía, Marte siempre ha sido muy visible desde la Tierra, ya desde la antigüedad, y también ha sido el objetivo de infinidad de sondas y rovers mandadas por multitud de agencias espaciales, con el fin de **estudiarlo** y averiguar más sobre otros planetas. Esta exploración e investigación exhaustiva de Marte nos ha permitido conocerlo mucho mejor y saber que no es tan diferente a la Tierra.

Los conocimientos que tenemos sobre el planeta cambian constantemente: se rebaten teorías, se descubren hechos que echan por tierra todo lo que se daba por sabido... En muchos aspectos, el Planeta Rojo sigue siendo un **misterio** para la comunidad científica, generando debate en torno a temas como la vida o el agua, su atmósfera y habitabilidad... Está claro que aún nos queda mucho por aprender.

⁷ Fuentes: NASA, ESA y STScI

4.1. Características físicas

Marte es el cuarto planeta del Sistema Solar, entre la Tierra y Júpiter. Es el último **planeta terrestre** (o telúrico), dando paso al Cinturón de Asteroides y a los planetas jovianos o gaseosos. Atendiendo al tamaño, es el segundo planeta más pequeño del Sistema Solar, después de Mercurio.

Respecto a la Tierra

53% del diámetro terrestre
15% de su volumen

Por mucho que lo comparemos con la Tierra, Marte solo mide la **mitad** de su diámetro, y es mucho menos denso (su masa es un 11% de la nuestra). No obstante, debido a la ausencia de agua en él, la superficie del planeta equivale a la superficie de suelo emergido terrestre.⁸

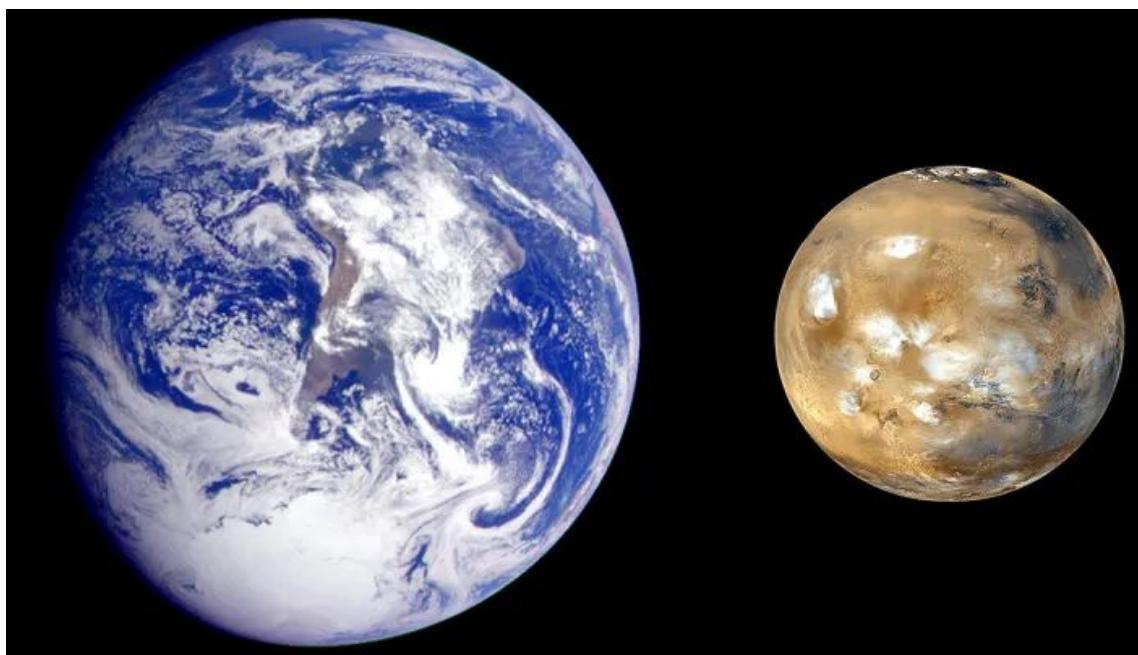


Foto 10: Comparativa de tamaño entre la Tierra y Marte

A lo largo de los años, Marte se ha representado como un planeta casi **idéntico** a la Tierra, y pese a sus evidentes diferencias, es cierto que la Tierra y su vecino tienen mucho en común. Tanto es así que, a menudo, la NASA estudia el origen de la Tierra enviando misiones a Marte, y viceversa.

⁸ Fuente: NASA

4.2. Gravedad en Marte

Si la comparamos con la Tierra, la gravedad marciana es tan solo una pequeña fracción de la nuestra, con una aceleración de **3'711 m/s²**. Esto, a parte de las claras diferencias en cuanto al peso (alguien de 80kg en la Tierra pesaría poco más de 30kg en Marte), comporta más diferencias y **problemas** de los que podríamos observar a simple vista.⁹



Foto 11: Astronautas en ingravidez (EEI)

Efectos de la baja gravedad

- Posible síndrome de adaptación espacial (SAS)
 - Vómitos, vértigo y dolor de cabeza
- Atrofiamiento y pérdida de masa muscular
- Redistribución de la sangre, hinchazón en la cara
- Falta de la hormona antidiurética
 - Pérdida de sal en el riñón, exceso de orina y pérdida de peso
- Pérdida de masa ósea
 - Aumento de calcio en sangre, riesgo de coágulos en el riñón
- Alargamiento de la columna vertebral
- Disfuncionalidades en el equilibrio
- Aumento de la presión intracranal y alteración de la visión
- Pérdida del gusto e hipersensibilidad en los pies
- Posibles problemas psicológicos
 - Fatiga, insomnio, apatía, ansiedad, depresión
- Período de post adaptación (dolor de espalda y parálisis muscular)

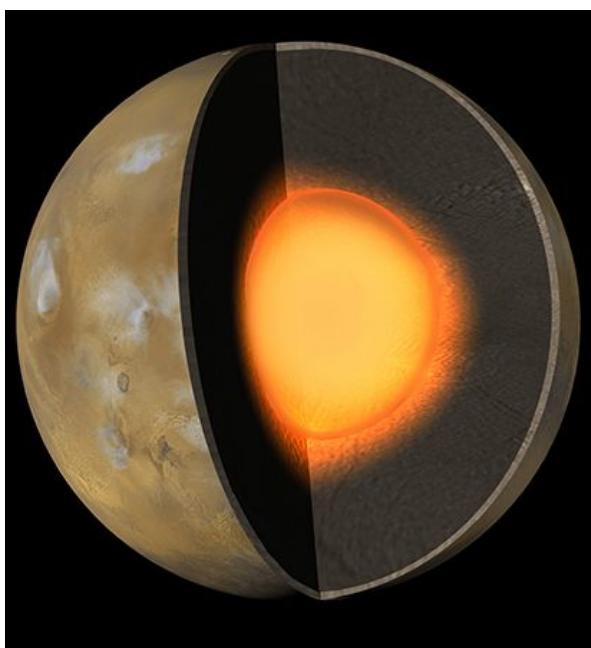
Actualmente, se estudian los efectos de la baja gravedad en el crecimiento de las plantas y el **desarrollo de la vida** en Marte, tema que trataremos más adelante.

⁹ Fuente: NASA

4.3. Estructura interna

Formado hace 4.603 millones de años, el planeta rojo es prácticamente **coetáneo** a la Tierra y al resto de planetas del Sistema Solar, en términos astronómicos (la Tierra es unos 60 millones de años más joven). Tras su formación, fue brutalmente bombardeado por meteoritos, lo que dio lugar a prácticamente todos los cráteres que se pueden observar en él actualmente.

¹⁰



A medida que el planeta se separó en capas, la roca fundida del manto presionó contra la corteza y dio origen a una intensa **actividad volcánica**. La liberación de tanto calor, sin embargo, provocó que el planeta se enfriara rápidamente. El agua se congeló, y la falta de presión atmosférica provocó que fuera barrida del planeta por los vientos solares, convirtiendo a Marte en el planeta seco y **desértico** que hoy conocemos.

Foto 12: Estructura interna de Marte.

Marte es un planeta terrestre, como la Tierra. Su estructura interna también tiene partes diferenciadas, pero no es exactamente igual a la nuestra. Tiene un **núcleo** de unos 3000-4000 km de diámetro, compuesto de hierro con trazas de níquel y sulfuros, que no genera un campo magnético. Se cree que gran parte del núcleo es sólido, si bien pudo haber sido más líquido antes de que dejara de generar un campo magnético.

El núcleo de Marte, a diferencia del terrestre, no genera un campo magnético desde hace milenios

¹⁰ Fuente: NASA

Sobre el núcleo de Marte encontramos el **manto** de silicato, de entre 1300 y 1800 km. Esta zona es la causante de la actividad volcánica, cuyos restos se pueden observar a día de hoy en su superficie (los últimos registros de actividad volcánica ocurrieron hace 2 m.a, lo que, en términos astronómicos, es una cantidad de tiempo irrisorio). En todo caso, lo que sí sabemos es que, actualmente, los volcanes parecen haberse extinguido en el Planeta Rojo.



Por último tenemos la **corteza** marciana, con un grosor de 25 a 80 km. En su interior contiene oxígeno, silicio, hierro, calcio y otros metales. La unión del oxígeno y el hierro dan lugar al óxido, causante del característico color rojizo del planeta. Hemos de tener en cuenta que, pese a tener la mitad del tamaño de la Tierra, la corteza de Marte en su máximo grosor duplica al grosor de la corteza terrestre. Finalmente, tenemos la **superficie** propiamente dicha, que se encuentra en gran parte cubierta por regolito (un fino conglomerado formado por diversos tipos de polvo, roca, parecido a la arena, y que también se encuentra en la Luna).

¹¹



Fotos 13/14: Macros del suelo marciano con diversos materiales en su superficie

¹¹ Fuentes: NASA. Curiosity Rover Image Database

4.4. Geología y suelo

Marte, como ya se ha mencionado, es un **planeta rocoso**, compuesto de silicio, oxígeno, múltiples metales y otros elementos. La superficie de Marte se compone de elementos con un alto contenido de óxido de hierro que proporcionan el color rojo de su superficie.

Centrándonos en la superficie, podemos observar que los **ferrosilicatos**¹² predominan en ella, a diferencia de en la Tierra, donde lo hacen los silicatos y los aluminatos. Sus tres constituyentes principales son oxígeno, silicio y hierro. En otros aspectos, y pese a la presencia de materiales como piroxenos, sílice y hematita, la mayor parte de su superficie está cubierta de polvo de óxido de hierro de grano fino, conocido como **regolito marciano**.

Entre 2007 y 2008, la sonda Phoenix estudió el suelo marciano y comprobó que es ligeramente **alcalino** y contiene elementos como magnesio, sodio, potasio y cloro. Estos nutrientes se pueden encontrar también en los suelos terrestres, y son necesarios para el **crecimiento de vegetales**. Además, los experimentos realizados por la sonda espacial mostraron que el suelo marciano tiene un pH de 7.7 (en la Tierra, el pH óptimo para las plantas se encuentra entre 5.5 y 7, aunque muchas pueden soportar rangos mayores).



13

Foto 15: Imagen del suelo marciano, con el característico color del óxido de hierro

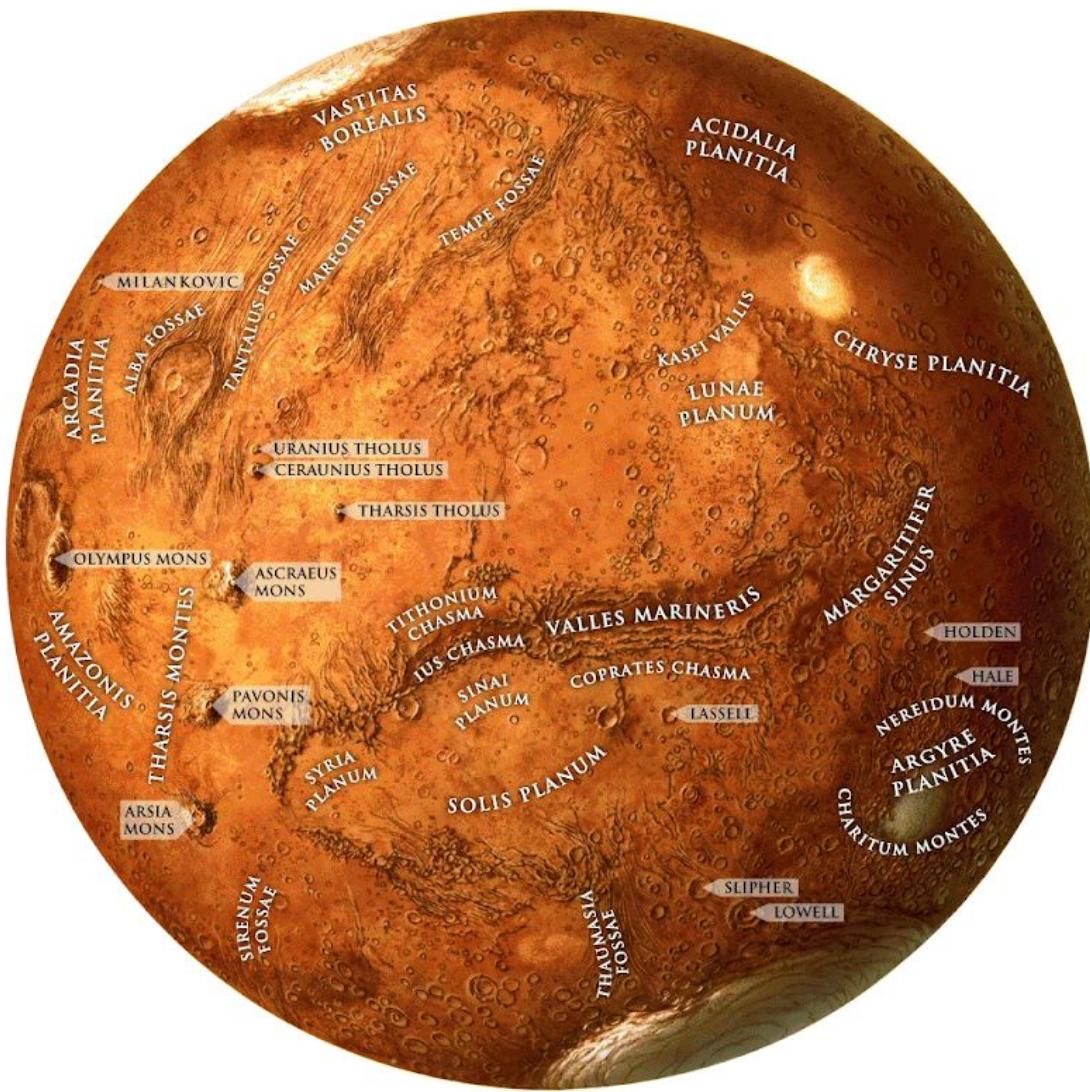
¹² Conjunto de elementos como oxígeno, silicio, titanio, calcio, hierro o aluminio

¹³ Fuente: NASA. Curiosity Rover Image Database

4.5. Geografía

Durante las últimas décadas, numerosas sondas y misiones mandadas a Marte nos han permitido observar los accidentes geográficos del planeta, y darnos cuenta de que no distan tanto de lo que podríamos encontrar en la Tierra, además de contar con **increíbles características** geográficas. A continuación, repasaremos los accidentes geográficos más importantes de Marte, así como sus características geográficas y peculiaridades.

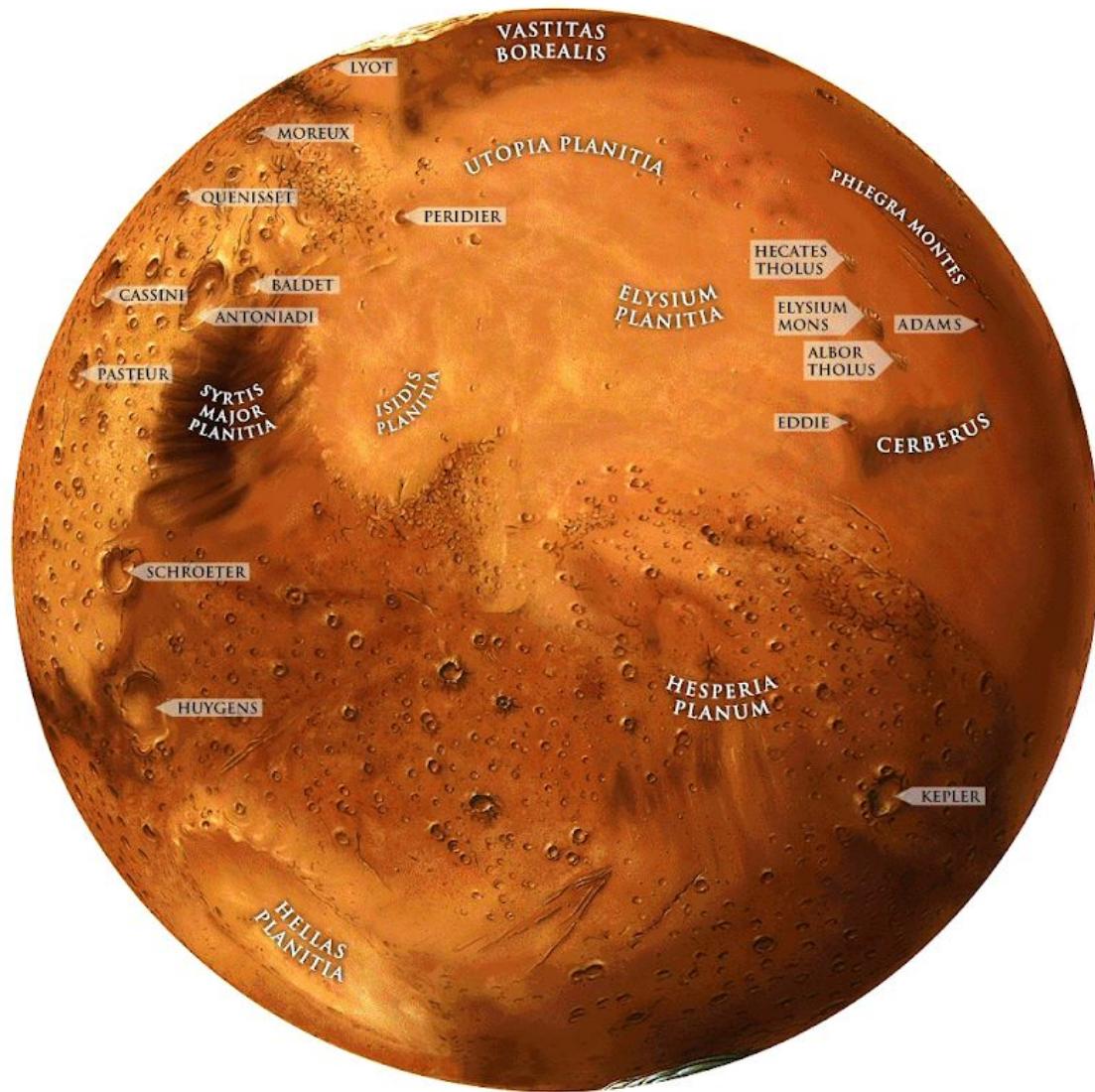
14



Fotos 16/17: En esta página y la siguiente se muestra un mapa completo de Marte, con el fin de exponer con mayor claridad sus características geográficas

¹⁴ Fuente: Pinterest

El hemisferio norte se caracteriza por una **baja elevación** del terreno, mientras que el hemisferio sur se encuentra unos 6 km por encima suyo, además de tener muchos más **cráteres** que la otra mitad de Marte. Asimismo, la corteza del hemisferio norte parece ser mucho más delgada y lisa que la del hemisferio sur. Aunque a día de hoy no se sabe a ciencia cierta la causa de estas diferencias, la comunidad científica baraja como culpables la actividad volcánica, el tectonismo y los impactos de meteoritos.



El desnivel entre los dos hemisferios marcianos sigue siendo un misterio. Y es que esta brutal diferencia de 6000 metros es algo insólito para nosotros

Otra de las características geográficas del Planeta Rojo son sus montañas, las cuales son en su totalidad volcanes inactivos. En el hemisferio sur se encuentran el complejo volcánico **Elysium** y el **Bulto de Tharsis**, cada uno de los cuales contiene numerosos volcanes. El Bulto de Tharsis cubre un cuarto de la superficie marciana, y su base se eleva unos 7-10 km de la superficie. Esto incluye al **Monte Olimpo**, la montaña más alta en el Sistema Solar (con 22 km de altura).

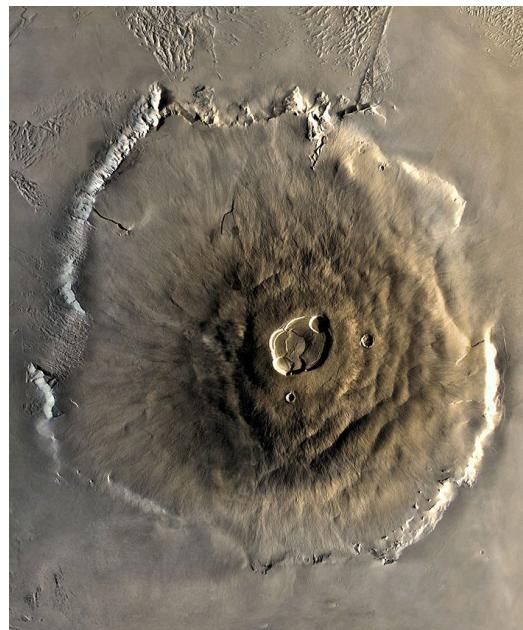


Foto 18: El Monte Olimpo en Marte

Hasta hace pocos años, los científicos no creían que Marte pudiera tener placas tectónicas ni un desplazamiento subsiguiente. No obstante, se han observado cañones y fallas, así como el hecho de que los volcanes se concentren en dos áreas diferenciadas. Prueba de ello es el **Valle Marineris**, el accidente geográfico de su tipo más profundo jamás conocido. Este valle cubre un 25% de la superficie del planeta y mide 7 km de profundidad. El Valle Marineris, por tanto, además de demostrar la existencia de placas y **movimiento tectónico** en Marte, demuestra que la actividad tectónica en el planeta es muy joven, al existir solo esta falla.¹⁵



Foto 19: Valle Marineris, diez veces mayor que el Cañón del Colorado

¹⁵ Fuente: NASA

Por otro lado, el **hemisferio sur** se caracteriza por la presencia de cráteres y cuencas. La mayor cuenca es **Hellas Planitia**, con unos 2.000 km de diámetro y 7.2 km de profundidad. Se cree que pudo ser originada durante períodos de intensos bombardeos hace 3.800 millones de años. Los cráteres más pequeños son los más recientes, parecidos a los de la Luna.

¹⁶

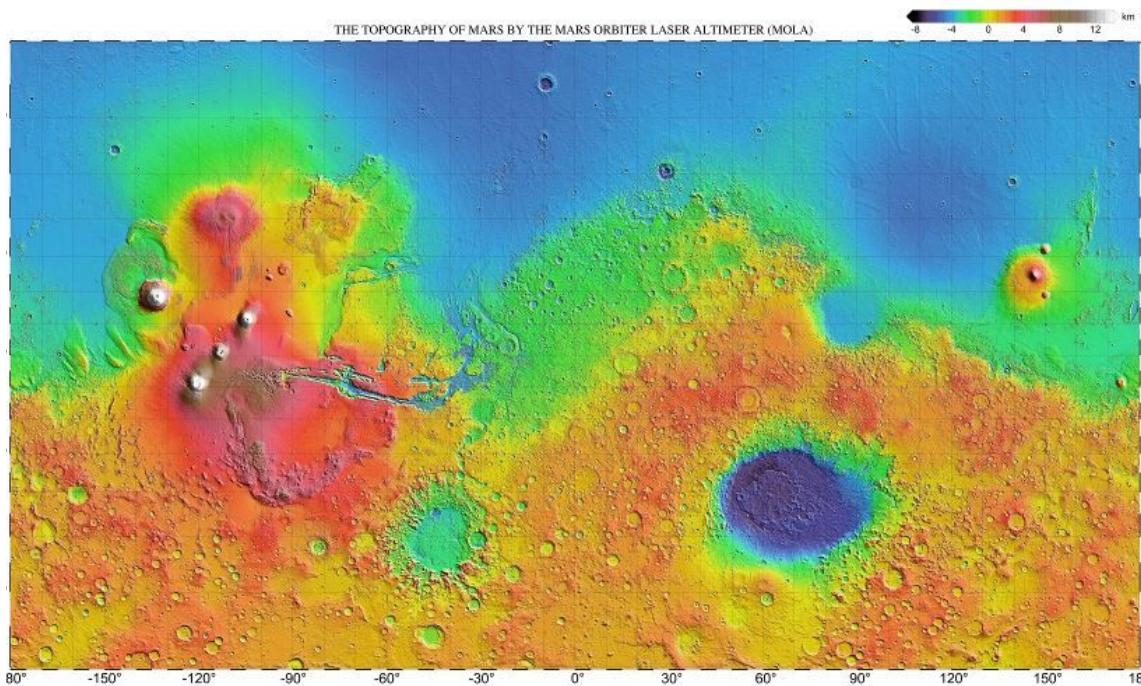
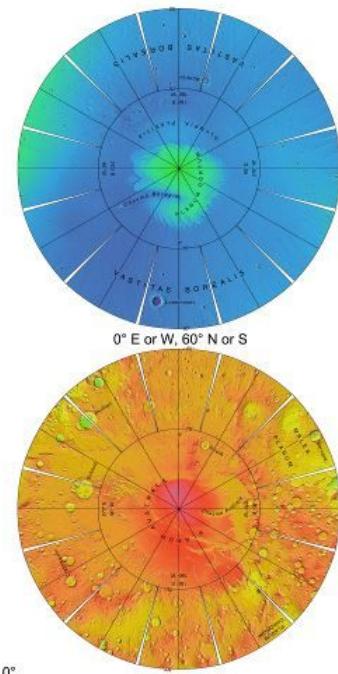


Foto 20: Mapas topográficos de Marte, con el evidente desnivel entre hemisferios



Gracias a la erosión y la actividad volcánica, en Marte pueden encontrarse multitud de tipos de **cráteres**. Pueden contener “*ejecta blankets*”, formaciones geológicas parecidas al lecho de un río, y creadas tras el impacto del meteorito, al deshacerse el hielo bajo la superficie.

Marte tiene agua congelada, tanto en la atmósfera como en su superficie. La existencia de vida, así pues, no sería tan inverosímil

¹⁶ Fuente: NASA / JPL / USGS

Hablando de los **casquetes polares**, también hay que establecer diferencias entre ellos. Mientras que en el casquete norte hay tanto hielo como en Groenlandia, el casquete sur podría cubrir de agua todo Marte con un mar de 11 m de profundidad.

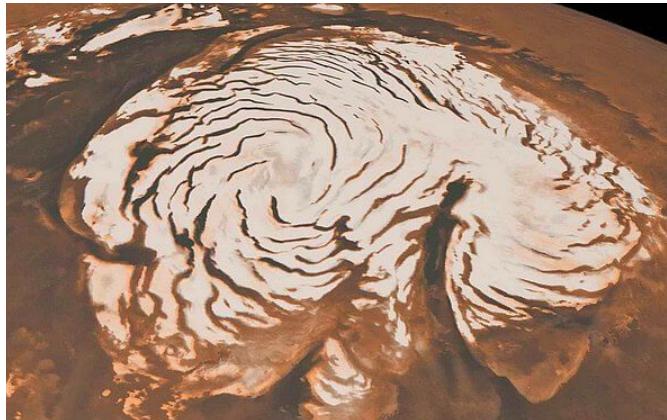


Foto 21: Casquete marciano con CO² congelado

La fina atmósfera y la ridícula presión atmosférica apenas bloquean la radiación y el calor del Sol. Por ello, se forman **nubes de hielo** en Marte, aunque no llegan a ser tan comunes como las constantes **tormentas de polvo**, que pueden durar de unos pocos días a meses enteros.

Otro importante accidente geográfico es **Reull Vallis**, que podría aportar información esencial acerca del agua en Marte. Y es que este valle parece haber sido erosionado por el cauce de algún río, además de presentar surcos en el terreno que podrían contener hielo.

17

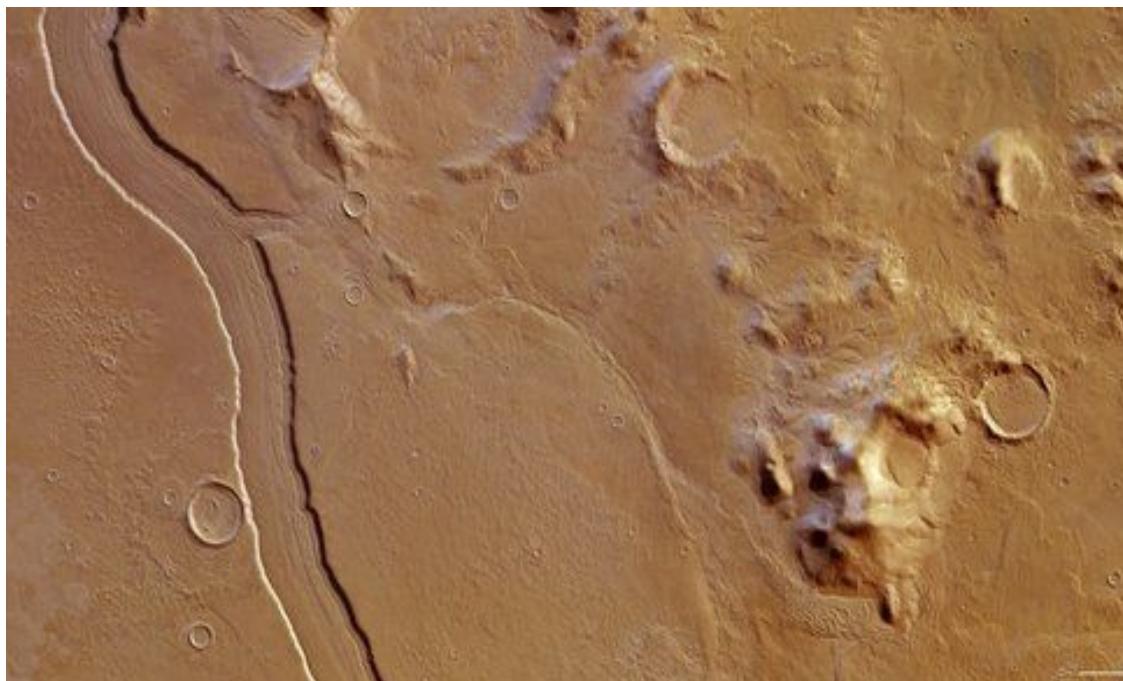


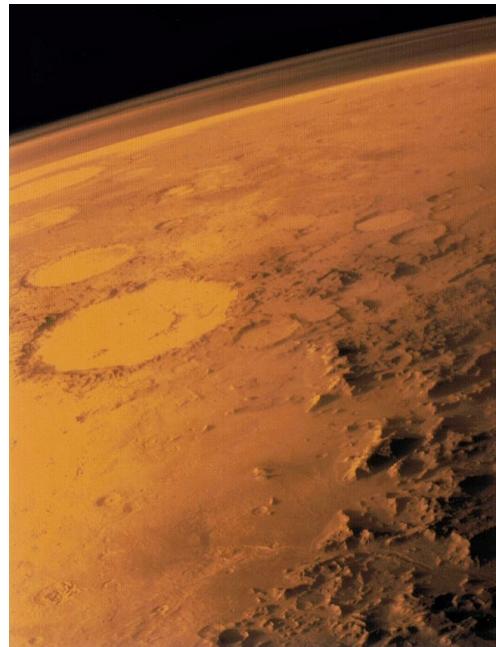
Foto 22: Reull Vallis podría ofrecer información sobre el agua y la vida en Marte

¹⁷Fuentes: NASA / ESA

4.6. Atmósfera

Todos relacionamos Marte con el rojo. Pues, como ya se ha aclarado, esta característica se debe a la presencia de óxido tanto en la superficie como en la atmósfera, lo que le valió el apodo de **Planeta Rojo** (su propio nombre hace referencia al dios romano de la guerra, por su color sangriento).¹⁸

Marte no tiene una gran atmósfera (su grosor es menor al 1% de la atmósfera terrestre). No obstante, podríamos dividirla en cuatro partes: la parte baja, media y la termosfera. La **parte inferior** llega hasta los 45 km, y contiene un 95% de CO₂, un 3% de nitrógeno, 2% de argón y trazas de metano. En esta zona se forman **nubes de hielo**, causadas por los vientos que arrastran hielo desde los casquetes polares, unido a la sublimación del dióxido de carbono en la atmósfera.



En la parte media de la atmósfera, de los 45 a los 100 km, unos **fuertes vientos** dispersan el óxido de la superficie y forman remolinos, dando a la atmósfera y el cielo su color característico. En la última capa, la **termosfera**, es donde incide toda la radiación solar. A falta de magnetosfera, por tanto, todos los gases que se encuentran en esta parte de la atmósfera son barridos por los vientos solares y enviados al espacio.



Fotos 23/24: Imágenes tomadas por la sonda Viking y el Spirit, respectivamente

¹⁸ Fuentes: NASA

4.6.1. El campo magnético de Marte

La **magnetosfera** es un campo magnético que se forma alrededor de cuerpos con núcleo magnético, como la Tierra y gran parte de los planetas del Sistema Solar, y que protege de los vientos solares y la radiación. Esta capa protectora es la causante de fenómenos como las auroras boreales

Aunque a día de hoy el núcleo de Marte no genere un campo magnético, se cree que pudo haber tenido magnetosfera en un pasado. Se han encontrado zonas magnéticas en la superficie del planeta, y a día de hoy, la teoría más aceptada sobre la desaparición de su magnetosfera es el llamado **proceso de diferenciación magmática**, según el cual los metales pesados se hundieron y fundieron en el núcleo, perdiendo sus propiedades magnéticas y haciendo desaparecer la magnetosfera del planeta.

Paralelamente, investigaciones recientes sobre el magnetismo de los minerales de la superficie señalan que, en su origen, Marte tuvo dos polos magnéticos con una polaridad que iba alternando. La pérdida del campo magnético de Marte lo dejó expuesto a la radiación y a los vientos solares, convirtiendo al Planeta Rojo en el cuerpo **inhóspito** que hoy conocemos, y borrando toda posibilidad de vida, si es que hubo alguna vez. ¹⁹

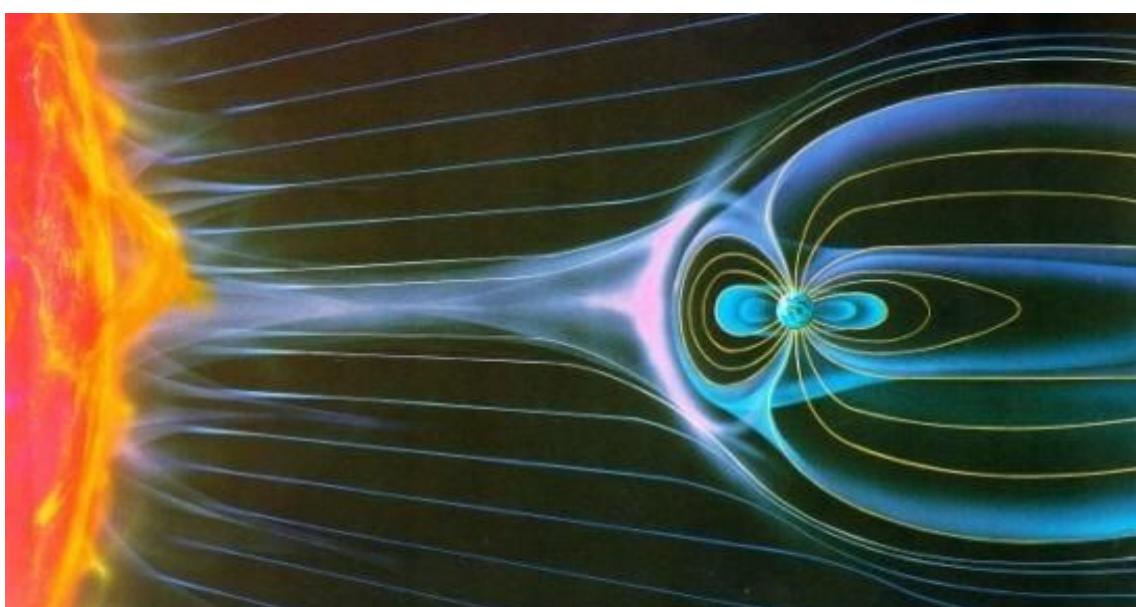


Foto 25: Representación de la magnetosfera terrestre y su función protectora

¹⁹ Fuente: ESA

4.7. El agua en Marte

A día de hoy, podemos asegurar la presencia de agua en Marte. La mayor parte se encuentra en el casquete norte, aunque también se halla en el casquete sur, el subsuelo y la atmósfera en menor medida. Toda el agua de Marte podría cubrir el planeta con un mar de 35 metros.²⁰

La poca presión atmosférica hace que el **ciclo de agua** marciano sea distinto al terrestre. El agua pasa de estado sólido a gaseoso, sin encontrarse en forma líquida de manera natural. No obstante, se han encontrado evidencias de la presencia de agua líquida en el **pasado**: restos de ríos, glaciares, lagos muertos... En julio de 2018 se descubrió un lago glacial bajo la superficie de unos 20 km de anchura.

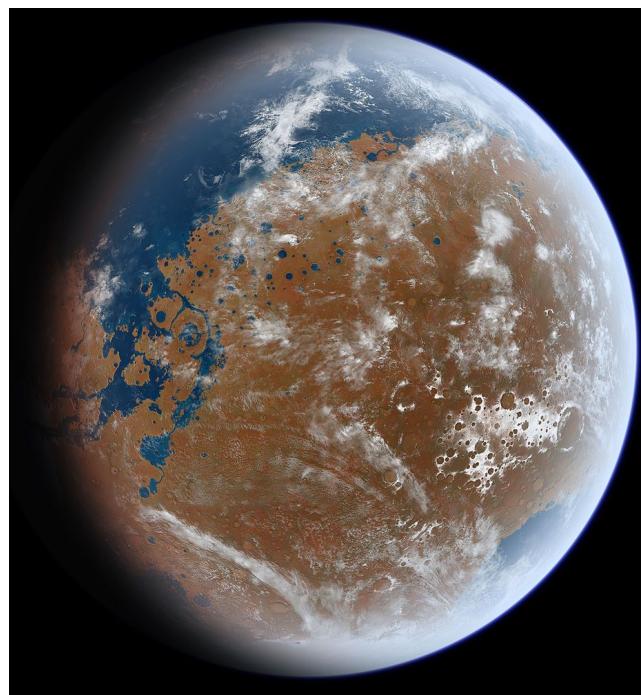


Foto 26: Representación hipotética del aspecto de Marte en presencia de agua

Como hemos dicho, la mayor parte del agua en Marte se encuentra en los casquetes polares, concretamente en el casquete norte, ya que gran parte del hielo en el casquete sur es CO₂ congelado.

El ciclo de agua marciano es muy distinto al nuestro.
El agua no se encuentra en estado líquido, sino que predominan el hielo y el vapor.

²⁰ Fuente: Ittiz

4.8. Climatología

Si algo sabemos acerca de la meteorología marciana es que es mucho más **extrema** que en la Tierra. Las estaciones, aparte de ser más largas y extremas, también son irregulares. La primavera dura 7 meses, el invierno tan solo dura 4 meses, el verano dura 6 meses, y el otoño, poco más de 5 meses. Esto se debe a su excentricidad (su órbita elíptica). Durante el año las temperaturas fluctúan de los -125°C a los 45°C.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Tot.
T. máx. abs. (°C)	15	17	21	24	36	40	45	38	30	21	15	10	45
T. máx. media	-10	-8	-2	7	15	24	22	20	17	11	0	-17	6.6
T. mín. media	-45	-40	-35	-18	-1	6	8	3	-7	-15	-50	-88	-23
T. mín. abs. (°C)	-114	-100	-72	-35	-14	-9	-8	-10	-12	-45	-80	-12	-127

Fuente: Mars Weather, Centro de Astrobiología, NASA Quest, Space Daily

Otro rasgo de la climatología marciana son sus **tormentas de polvo**, que pueden llegar a prolongarse durante meses, pudiéndose convertir en fenómenos planetarios. Estas tormentas se forman con vientos superiores a 150 o 200 km/h, a causa de las diferencias de temperaturas entre ambos hemisferios. El fino polvo que cubre Marte hace que se transporte a grandes distancias y altitudes, provocando estos gigantescos fenómenos. ²¹

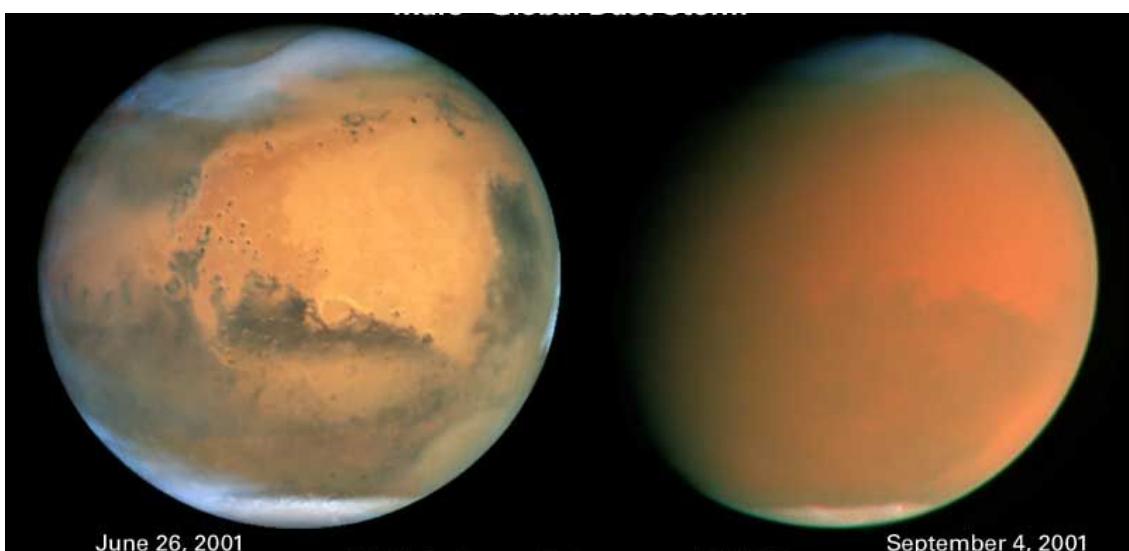


Foto 27: Ejemplo de una tormenta de polvo en Marte, en el verano de 2001

²¹ Fuente: NASA Hubblesite

Una de estas tormentas de polvo, por ejemplo, dejó fuera de juego al rover **Opportunity** en agosto de 2018 hasta que la misión se declaró finalizada en febrero de 2019, tras 15 años de investigación. Y es que el principal problema al que se enfrentan landers y rovers ante las tormentas de polvo es la inutilización de sus sistemas de captación de energía solar durante semanas o meses, resultando en la muerte de estas máquinas.

Y es que aún después de la tormenta, las **propiedades magnéticas** del regolito marciano lo mantienen pegado a los rovers, reduciendo considerablemente el rendimiento de sus paneles solares y pudiendo ocasionar fallos mecánicos.

22



**Las tormentas de polvo son
uno de los mayores
problemas a los cuales los
operadores marcianos
deben enfrentarse**

El cambio climático en Marte

Durante las últimas décadas se ha observado en Marte un **aumento** de las temperaturas, un fenómeno que se retroalimenta a sí mismo. El calor derrite los casquetes polares, que liberan CO₂ a la atmósfera y aumentan el efecto invernadero en la atmósfera, aumentando más las temperaturas.

Foto 28: Nubes de hielo, sonda Phoenix

²² Fuente: NASA / JPL

4.9. Órbita

Marte tiene una órbita excéntrica, es decir, que no describe una circunferencia perfecta. Su coeficiente de excentricidad es de 0'093 (la terrestre es de 0'017), lo que hace a su órbita la segunda más excéntrica del Sistema Solar (afectando, por ejemplo, a las temperaturas en su superficie). Se cree que la excentricidad de Marte cambió debido a enormes fuerzas gravitatorias²³. El punto en que se encuentra más alejado del Sol (el **afelio**) son 249 millones de kilómetros, mientras que en el punto más cercano (el **perihelio**) se encuentra a 206 millones de kilómetros.²⁴

Para planificar misiones a Marte, los astrónomos han de tener muy claro la posición relativa de Marte y la Tierra. Cuando se encuentran más alejados (**punto de conjunción**), la distancias son de unos 399 millones de kilómetros. Sin embargo, en su **punto de oposición**, las distancias se reducen hasta los 206 millones de kilómetros, prácticamente la mitad, lo que se ha de tener en cuenta a la hora de planificar misiones.

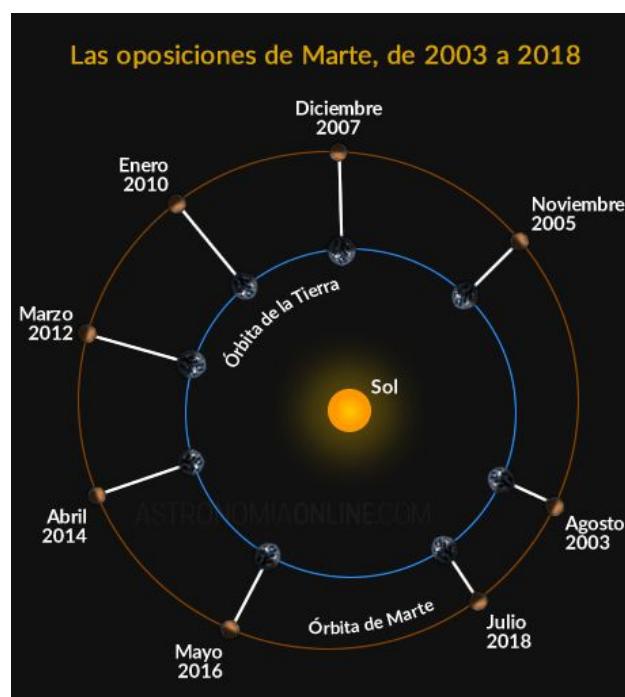


Foto 29: Las oposiciones son determinantes.

A esto se le suma el hecho de que en el punto de conjunción u oposición, Marte se encuentre en su perihelio o afelio, y la Tierra a su vez, lo que multiplica exponencialmente las posiciones relativas entre Marte y la Tierra. Por ello, se distingue la **Oposición Lejana** (101 millones de kilómetros, con Marte en su afelio y la Tierra en su perihelio) y la **Oposición Cerrada** (56 millones de kilómetros, con Marte en su perihelio y la Tierra en su afelio).

²³ Hace 1,35 m.a., su excentricidad era de 0'002, casi una circunferencia perfecta

²⁴ Fuente: AstroGEDA

La última gran aproximación de Marte ocurrió el **31 de Julio de 2018**, con una posición relativa de 57,59 millones de kilómetros. Estos datos sólo habían sido superados el 27 de Agosto de 2003, con una distancia de 55'76 millones de kilómetros, que fue la mayor aproximación registrada en 60.000 años, y que no será superada hasta 2287. También hemos de pensar que no podemos calcular la trayectoria como una línea recta. Marte y la Tierra se encuentran en movimiento constante, y los ingenieros han de lanzar la sonda no donde está Marte, sino dónde estará cuando la sonda llegue.²⁵

	MESES	DÍAS
1	ARES	52
2	HIPARCO	51
3	TOLOMEO	51
4	BRAHE	52
5	KEPLER	51
6	SCHIAPARELLI	51
7	LOWELL	52
8	FOBOS	51
9	DEIMOS	51
10	WELLS	52
11	ASIMOV	51
12	MARS I	51
13	VIKING I (Bisiesto)	52-53
		668-669

66 Semanas de 10 Días Marcianos cada una.

4 Estaciones (Verano, Otoño, Primavera e Invierno) de 167 Días Marcianos o 3,27 Meses Marcianos.

La Tierra se adelanta a Marte cada 780 días en lo que se llama **período sinódico**, el intervalo de tiempo en que se produce una oposición. A su vez, la distancia entre la Tierra y Marte entre cada oposición va variando dependiendo de si se hallan en oposición lejana o cerrada (o todos sus puntos intermedios). Así, las oposiciones llamadas *favorables* se producen cada 15 años (2003 y 2018, como ya hemos visto), aunque la repetición de una oposición extremadamente cerrada puede llevar decenas de milenios.

Foto 30: Posible calendario marciano

El **período orbital** de Marte (lo que tarda en dar una vuelta completa al Sol) son 687 días terrestres. A su vez, un día en Marte dura aproximadamente 24h y 40min. Por lo tanto, un año en Marte equivale a 668'6 días marcianos (687 días terrestres). Su **inclinación axial** es de 25'19°, parecido al de la Tierra (23'43°), y que provoca las estaciones.

Marte orbita a una velocidad media de 24'1 km/s (**velocidad orbital**), con una inclinación de su órbita de 1'85° sobre el plano respecto a la Tierra.

²⁵ Fuente: Fernando de Goroica

4.10. Cuerpos Celestes Marcianos

4.10.1. Satélites de Marte

Marte tiene dos satélites, Fobos y Deimos. Ninguno de ellos es esférico debido a su **reducido tamaño**. De hecho se baraja la posibilidad de que fueran asteroides atrapados por la gravedad de Marte, aunque también podrían haber salido despedidos de él durante su formación. Aún a día de hoy se baraja la posibilidad de que existan otros satélites aún sin descubrir.

Fobos es el mayor y más cercano de los satélites marcianos. Su órbita es más cercana que la de cualquier otro satélite del Sistema Solar (6.000 km, cuando la Luna dista de la Tierra 384.000 km). El radio aproximado de Fobos es de 11 km, y su accidente geográfico más característico es el cráter Stickney, con un diámetro de 9 km.²⁶



Por otro lado tenemos a **Deimos**, que se encuentra a unos 23.400 km. También es notablemente más pequeño, con un radio de unos 6 km. Deimos se caracteriza por una superficie muy porosa, así como dos grandes cráteres, llamados Swift y Voltaire.

Fotos 31/32: Fobos y Deimos, respectivamente

4.10.2. Asteroides Troyanos

Los asteroides troyanos son aquellos cuerpos que **comparten órbita** con algún planeta, aunque no orbiten directamente a su alrededor. Marte, como la Tierra, tiene asteroides troyanos siguiéndole a lo largo de su órbita. Son, en concreto, Eureka, 1998 VF31, 2000 AM49 y 2008 WH94.

²⁶ Fuentes: NASA

4.11. Vida en Marte

4.11.1. Supervivencia Humana en Marte

Marte es un planeta **extremo** y **hostil** para los humanos. Si viajáramos allí sin protección, no seríamos capaces de respirar la tenue atmósfera, muriendo en minutos. Y aun así estaríamos expuestos a un clima incapaz de ser soportado por humanos. Los fuertes vientos nos impedirían refugiarnos. El fino polvo de la superficie nos causaría irritación y enfermedades pulmonares, y las fuertes tormentas de polvo nos matarían en segundos.²⁷



Foto 33: Representación artística de una tormenta de polvo marciana

Marte no está preparado para soportar vida humana.

A pesar de todo eso, no podríamos encontrar alimento, y hallar agua sería prácticamente imposible. Además, estaríamos expuestos a un flujo constante de radiación cósmica y solar, provocándonos quemaduras en la piel, así como melanomas o cáncer de ojos. Y eso sin contar los efectos nocivos de la baja gravedad. Definitivamente, el ser humano no evolucionó preparado para habitar semejante entorno, y ese es uno de los mayores problemas, si no el único, al que se enfrenta la colonización de Marte.

²⁷ Las tormentas son letales. La hostilidad no tiene precedentes

4.11.2. Vida Extraterrestre

La vida en Marte es un **misterio** que se lleva debatiendo durante los dos últimos siglos, y que aún sigue sin respuesta. Con la aparición de nuevas evidencias que demuestran que Marte tuvo en su momento **condiciones óptimas** para la vida, parece ser que la posibilidad, tanto ahora como antaño, no es tan remota. Sin embargo, no es concluyente.

Cada vez más, nuevos hallazgos y estudios nos han hecho ver que Marte pudo haber sido mucho más apto para la vida de lo que jamás creímos. Tuvo **océanos** en su superficie, un campo magnético que lo protegía de la radiación, una atmósfera apta para el desarrollo de **microorganismos**... Lo que no quiere decir necesariamente que la vida surgiera.

Puede que esta generación nunca sepa la verdad de la presencia de vida en Marte

Recientemente, sin embargo, el rover Curiosity registró **metano** en la atmósfera, casi el triple que en su última medición. Pero, ¿cómo puede esto indicarnos la presencia de vida? El metano es un gas que se disipa rápidamente. Eso quiere decir que se produce en algún lado. Su origen puede ser geológico, pero también biológico. Y si hubiera vida en Marte, ese podría ser su origen.

²⁸



No obstante, los picos de metano se desvanecieron al tomarse de nuevo las medidas. Por lo tanto, la pregunta que ahora se plantean los científicos es si realmente existió ese metano, si se ha desvanecido sin más (y por qué), y si estos datos nos acercan a conocer la verdad de la **vida en Marte**.

Foto 34: En 2018, estas imágenes se confundieron con fósiles en Marte

²⁸ Fuente: NASA / JPL

5. La colonia ideal

Una vez expuesta toda la información esencial acerca del Planeta Rojo, el siguiente paso de este trabajo consiste en planificar y organizar una colonia, un pequeño **asentamiento en Marte**, a partir de las tecnologías de las cuales disponemos actualmente, para obtener un retrato lo más realista posible de lo que nos deparan los próximos años de exploración espacial.

Ya hemos visto que Marte no es un planeta preparado para nosotros. Con tal de colonizarlo (asentarse y explotar recursos), necesitamos diversas infraestructuras, sistemas y tecnologías que nos permitan sobrevivir en este entorno hostil. El primer paso es adaptarnos a Marte, la **colonización**. El segundo paso, adaptar Marte a nosotros, se conoce como **terraformación**.

Los puntos más importantes para nuestra supervivencia están desglosados y estructurados a lo largo de las siguientes páginas, todo lo que se ha de tener en cuenta con tal de sobrevivir.

29

Antes de adaptar Marte a nosotros debemos adaptarnos a Marte



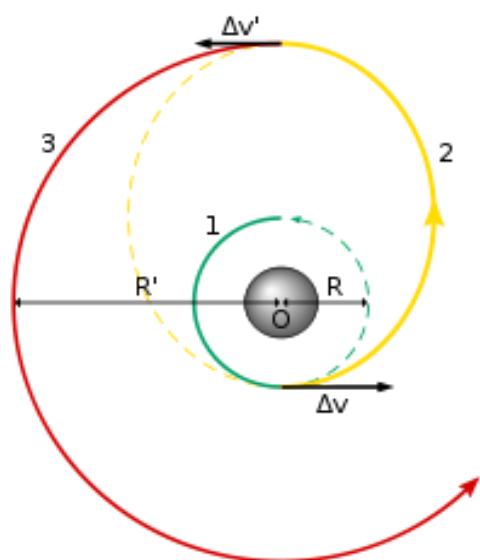
Foto 35: La película The Martian (2015) nos ofrece geniales ejemplos de colonias

²⁹ Fuente: The Martian (2015)

5.1. Viajar a Marte

Para llegar a Marte debemos pensar en la ida. La manera y el momento de la salida pueden condicionar la eficacia de una misión. Lo primero a tener en cuenta es el calendario del lanzamiento, y el momento más propicio para el lanzamiento es durante la **oposición** de Marte. Por desgracia, la oposición más favorable de los últimos 60.000 años fue en julio de 2018.

³⁰



Sabiendo eso, la siguiente oposición será el 6 de Octubre de 2020, que seguirá siendo bastante favorable. Las llamadas **ventanas de lanzamiento** serán entre julio y setiembre ya que se tiene en cuenta la duración del viaje. En esta ventana se lanzará Mars 2020, así como múltiples misiones de otras agencias. No volveremos a ver otra oposición tan favorable como la de 2018 hasta el 2287.

Foto 36: Órbita de transferencia de Hohmann

Con la ventana de lanzamientos decidida, debemos pensar en el método propulsión. Hoy en día, usamos lo que se conoce como **órbita de transferencia de Hohmann** para llegar a Marte en un período de unos nueve meses. Este método es el más utilizado en astronáutica ya que permite hacer todo el viaje y acoplarse a la órbita de su destino con solo dos propulsiones del motor, es decir, aumentando al máximo la eficiencia. Intentar acortar este tiempo supondría un mayor uso de combustible, aunque se han dado casos en algunas misiones robóticas. No obstante, bajar de los seis meses conlleva un aumento exponencial del combustible y el peso, ya que para elevar el propio peso del combustible añadido se necesita más combustible, hasta que se llega a un punto insostenible para la actual tecnología³¹ y recursos.

³⁰ Fuente: Leafnode

³¹ Se refiere a los cohetes químicos que se utilizan actualmente

Sin embargo, hay otros métodos de propulsión que podrían acortar el viaje. El motor de magnetoplasma de impulso específico variable (**VASIMR**), usa un motor iónico de plasma, convirtiendo gases como el hidrógeno en plasma y dirigiendo el flujo. Este sistema acortaría el viaje a Marte de 9 meses a unos 39 días. Desgraciadamente, en 2019 se detuvo la investigación que desarrollaba esta tecnología.³²

Por suerte, tenemos otras alternativas. SpaceX pretende utilizar su **Falcon Heavy** para ir a Marte en un plazo de seis meses, y con una carga de 16.800 Kg. Es el mayor cohete desde el Saturno V, y, Actualmente, es considerada la mejor alternativa, y la más probable, para colonizar del Planeta Rojo.

El último sistema, aunque más improbable, sería la **propulsión nuclear**. Con motores nucleares se podrían alcanzar velocidades mucho mayores que con los actuales motores químicos, reduciendo el trayecto a unas dos semanas. Pero, como ya se ha dicho, esta tecnología no está muy desarrollada.

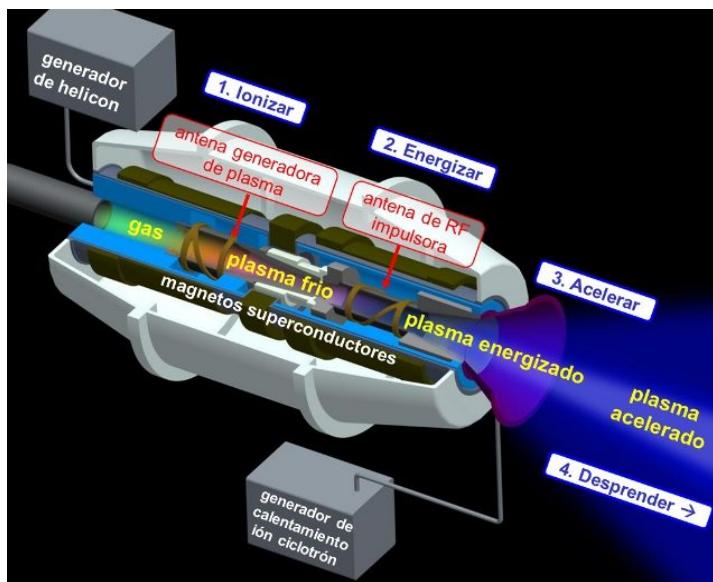


Foto 37: Funcionamiento del Vasimr (izquierda) y un Falcon Heavy (derecha)

³² Fuentes: Ad Astra / SpaceX

Hacer el viaje lo más corto posible es crucial si queremos enviar humanos a Marte. Y no solo por ahorrar alimento y combustible, sino por el impacto físico y psicológico que tienen los viajes espaciales en las personas. Si mandamos una misión a Marte en la próxima ventana de lanzamiento, en agosto de 2020, los tripulantes no aterrizarían hasta febrero de 2021 en el mejor de los casos, y no podrían volver hasta el siguiente período sinódico, en septiembre de 2022. Y si necesitaran ayuda o recursos, les llegarían mucho después, en febrero de 2023 con mucha suerte.

Eso quiere decir que en el mejor de los casos, volcando las mejores tecnologías de las cuales disponemos actualmente, las misiones a Marte durarían **dos años y medio**. En el caso de este estudio, la misión que tenemos planeada despegaría entre julio y septiembre de 2020 y volvería entre febrero y abril de 2023. Ninguna misión a la Luna duró más de cinco días. Ahora nos enfrentamos a misiones de 30 meses a distancias 150 veces mayores que en las misiones lunares en los mejores casos. Todo un reto.³³

En los mejores casos, las futuras misiones a Marte operarán a distancias hasta 1.050 veces mayores que las misiones lunares. Y durarán 180 veces más.



Foto 38: La Apolo 17 en 1972 fue la última vez que el hombre pisó la Luna.

³³ Fuente: NASA

5.1.1. Retraso de las comunicaciones

Otra cosa a tener en cuenta y que viene influido por la distancia es el retraso de las comunicaciones. Según la **relatividad general** de Einstein, nada puede viajar más rápido que la luz. Nos comunicamos a través de ondas electromagnéticas, que no pueden superar esta velocidad. Por lo tanto, existe un retraso en las comunicaciones atado a la distancia. Y cuando hablamos de misiones espaciales, este retraso puede ser notable. Además, el lapso entre una pregunta y su respuesta es el doble de lo que tarda el mensaje en llegar a su destino, ya que ha de volver también.

34

Lo que esto quiere decir es que, en una misión a Marte, el retraso de las comunicaciones iría de unos 8 a unos 22 minutos, un lapso de tiempo que limita mucho una **comunicación compleja** entre la Tierra y la colonia. Esto imposibilita la existencia de videollamadas o llamadas de voz, y toda comunicación deberá llevarse a cabo mediante mensajes.



Foto 39: Este retraso limita mucho al Curiosity: puede tardar un día en coger una sola muestra

Este gran lapso de tiempo también significa que los astronautas deben de tener una gran **autosuficiencia** para poder llevar a cabo los trabajos y solucionar problemas complejos sin depender de la Tierra. Una conversación simple podría llevar horas, lo que reduciría considerablemente la eficacia de la misión. Para agilizar las comunicaciones, actualmente se utilizan satélites de comunicaciones en la órbita de Marte como el **MRO** o la **Mars Odyssey**.

³⁴ Fuente: NASA

5.1.2. Planning

La siguiente tabla muestra cómo estaría planeada la primera misión a Marte, teniendo en cuenta un despegue desde la Tierra. Es la aproximación más **realista** que podemos tener a cómo serán estas misiones en el futuro.

	FECHA	DISTANCIA ³⁵	RETRASO
Despegue	Ago 2020	-	-
Ida a Marte	Ago 2020 - Feb 2021	177 - 219 Gm	10 - 12 min
Estancia	Feb 2021 - Set 2022	143 - 394 Gm	8 - 22 min
Vuelta de Marte	Set 2022 - Abr 2023	116 - 143 Gm	6 - 8 min
Aterrizaje	Abr 2023	-	-

Así pues, a partir de ahora se usará esta tabla como calendario de una misión estándar. Nuestra misión durará 2 años y 7 meses, con una estancia en Marte de 1 año y 7 meses. Durante esta parte, los astronautas vivirán el período de mayor **incomunicación**³⁶ entre verano e invierno de 2021, debido a la conjunción del 20 de Setiembre de 2021, a prácticamente 400.000.000 de km de la Tierra. Una vez aterricen, no habrá vuelta atrás. Estarán solos y sin posibilidad de volver durante más de un año y medio.

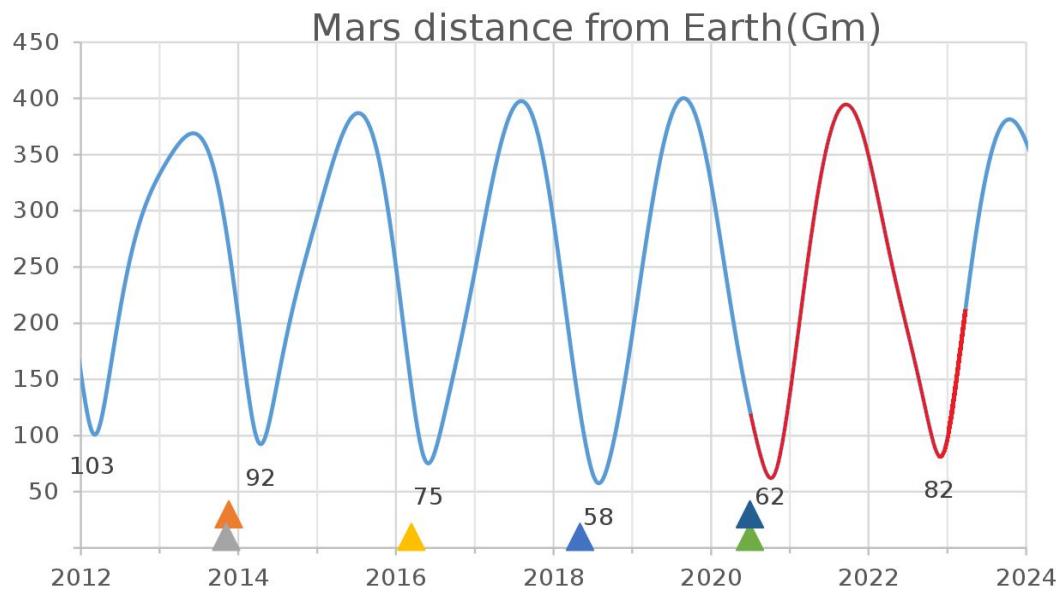


Foto 40: 1Gm = 1.000.000 km. Transcurso de la misión marcado en rojo

³⁵ Fuente: Wikipedia Commons. Visitar

³⁶ Cuando se envíe un mensaje, la respuesta tardará 45 min durante la conjunción.

5.1.3. Otras alternativas

Obviamente, existen multitud de **alternativas** para programar una misión a Marte. Muchas de ellas tendrían más capacidad y recursos que la que tomaremos como misión estándar, pero deberían de disponer de muchas más etapas y multitud de misiones previas. Para empezar, la misión más probable a **largo plazo** tendría que subir a unos seis astronautas a una gran nave en órbita, con más espacio y potencia que el Falcon Heavy.

Eso, sin embargo, costaría millones en desarrollo y construcción, y el objetivo de este trabajo es programar una misión a Marte en una sola etapa, a **corto plazo** y sin preparación previa. Y dado que actualmente no disponemos de grandes naves en órbita ni de planes para construirlas, no es **factible**. Pero, ya que este método será seguramente el que se utilice en las grandes misiones que están por venir, se ha creído conveniente exponer su funcionamiento, aunque no sea el caso estudiado.

37



Foto 41: The Martian (2015) ya contemplaba el uso de naves en órbita

Como se ha dicho, una tripulación de seis astronautas sería llevada a una órbita baja y se acoplaría a una gran nave. La nave ya habría recibido grandes cantidades de **suministros** y equipamiento para el viaje. Al estar en órbita, se ahorra mucho combustible, así que la eficiencia se multiplica exponencialmente.

³⁷ Fuente: The Martian (2015)

Esa gran nave sería capaz de llevar a la tripulación a la órbita de Marte sin problemas, quizás en un menor período de tiempo debido al desarrollo de nuevas tecnologías, o usando los métodos de propulsión expuestos anteriormente. Al llegar a la órbita marciana, los tripulantes abandonarían la nave y bajarían a la superficie en un **vehículo de descenso**, preparado para ello y colocado en el sitio antes de la misión.

En la superficie, les esperarían unas instalaciones y suministros adicionales, colocados mediante **misiones no tripuladas**, además de un vehículo de ascenso para volver a la nave grande cuando finalice la misión. Así, seguramente, estarán planeadas las misiones a Marte de largo plazo, un conjunto de diversos lanzamientos previos que culminarán en la llegada de humanos. Pero, como ya hemos explicado, nuestra misión consiste en una sola etapa y dado los avances y medios actuales. Por lo tanto, esta opción es **inviable** para nosotros.

Las futuras misiones a Marte se compondrán de diversas fases que se prolongarán durante varios años, puede que hasta una década o más. Este trabajo, no obstante, busca planificar misiones tripuladas a corto plazo, compuestas de una etapa.

Otra alternativa serían las **misiones de corta estancia**, en las cuales los astronautas permanecerían períodos de 30 días como mucho en la superficie marciana antes de volver para aprovechar el máximo combustible con una órbita favorable y no tener que esperar todo un período sinódico.

Con los datos que disponemos actualmente, el ecuador marciano sería la mejor **ubicación** para una colonia marciana, debido a la menor variación de las temperaturas. Además, aunque la presencia de agua no sea tan alta como en los casquetes, eso no debería suponer un problema.

³⁸

En concreto, las afueras del **cráter Schiaparelli** contienen gran cantidad de agua congelada. Otro punto de interés sería el **Cráter Jezero**, que de hecho se ha contemplado como candidato para la misión Mars 2020 de la NASA, debido a que pudo ser un lago en el pasado.

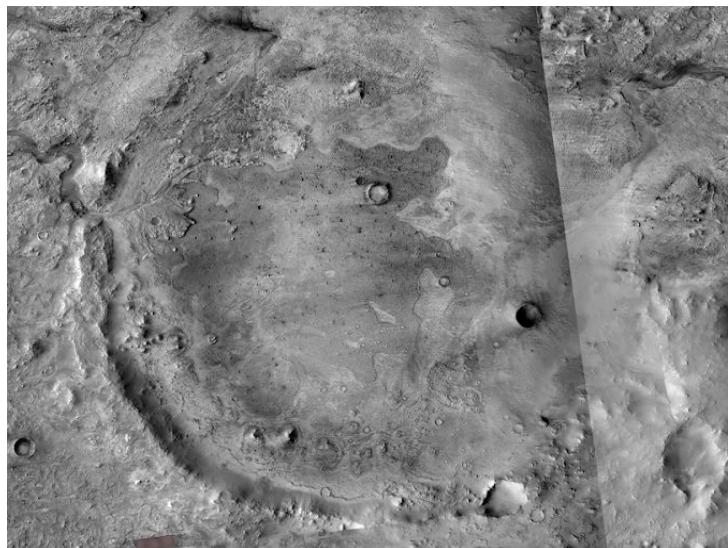
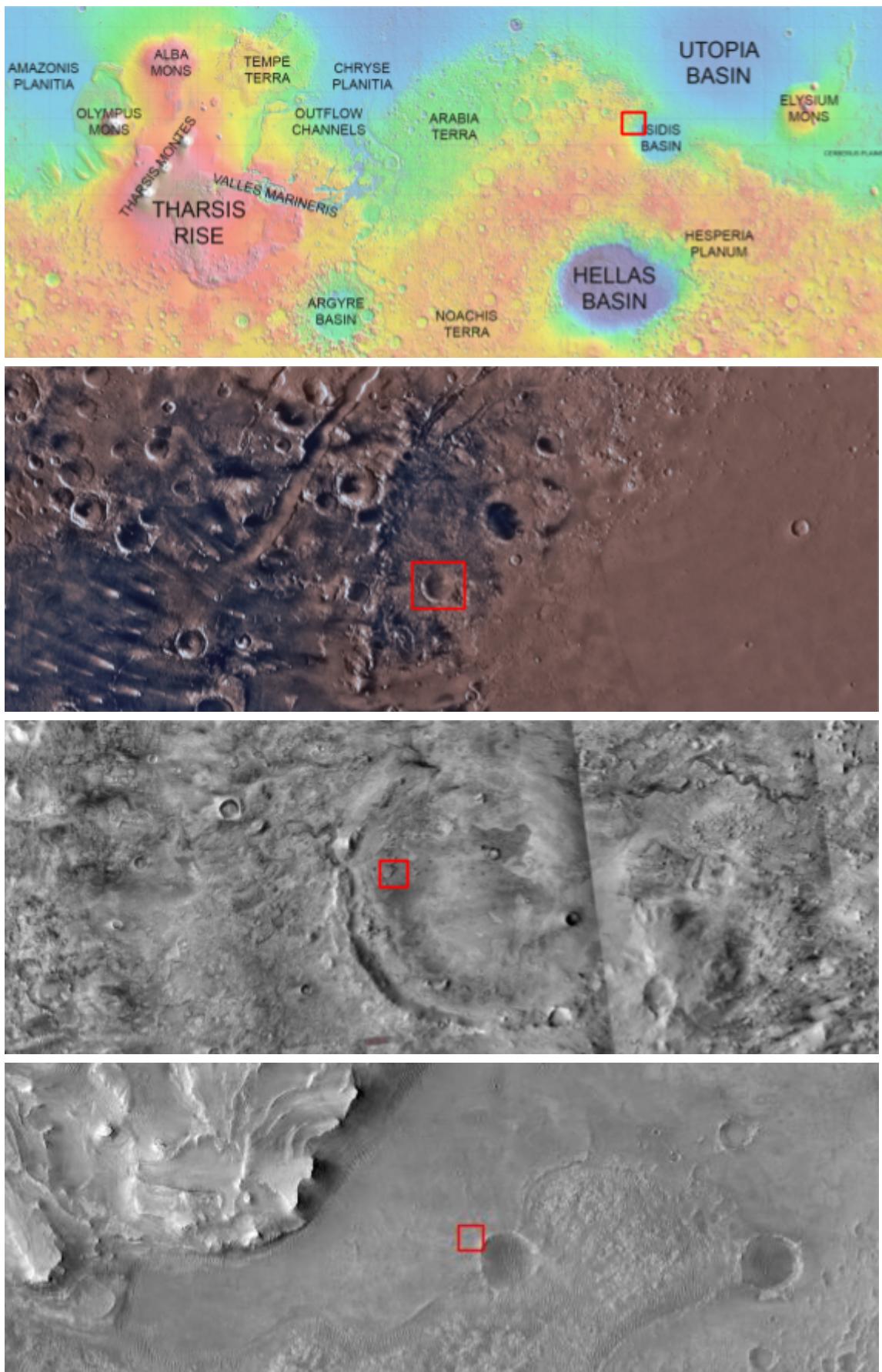


Foto 42: Imagen de alta resolución del Cráter Jezero

También se han considerado regiones determinadas como **Hellas Planitia** o el **Valle Marineris**, debido a que su poca elevación hace que la presión atmosférica sea hasta un 25% mayor. Por último, Arsia Mons también se ha considerado un buen lugar, ya que se han cartografiado una red de cuevas y cavernas que podrían servir para instalar un pequeño asentamiento. Otra opción serían las **lunas** de Marte. Su poca gravedad las convierte en un posible punto de abastecimiento. Sin embargo, serían un lugar poco probable para una colonia permanente debido a los efectos nocivos de la baja gravedad, así como la nula presencia de recursos.

Lamentablemente, a día de hoy no disponemos de suficientes datos para encontrar el lugar ideal. Así pues, a partir de la información de la cual disponemos, se ha escogido para este trabajo el **Cráter Jezero** como asentamiento para nuestra misión. Cuenta con terrenos lisos y protegidos por las paredes de un gran cráter de 45 km de diámetro. Tiene dos valles de entrada o salida y no se encuentra a demasiada altura ni muy alejado del ecuador. Además, podría aclararse el misterio del agua en Marte.

³⁸ Fuente: Mars Trek



Fotos 43 - 46: Zoom de la zona escogida en el Cráter Jezero. Fuente: Mars Trek

5.1.4. El viaje de ida

La primera etapa de nuestra misión comienza en **Agosto de 2020**. Un cohete Falcon Heavy con una cápsula **Dragon 2** despegará rumbo a Marte. La cápsula Dragon 2 tiene capacidad para 7 tripulantes y 6000 kg de carga, lo que unido a sus casi 10 toneladas de peso, dejan al Falcon Heavy con una carga restante de casi una tonelada³⁹.

Así, comienza un viaje de seis meses hasta Marte. Durante este tiempo, los tripulantes, preferiblemente **tres personas**, deberán combatir los efectos físicos y psicológicos de la baja gravedad y el viaje espacial, conviviendo durante medio año en un espacio de apenas 10 m³.

Para cuando lleguen a la órbita de Marte, sobre **Febrero de 2021**, se habrán de enfrentar a la no menos difícil tarea de aterrizar en la ubicación deseada. La fina atmósfera de Marte hace especialmente complicado el aterrizaje. Los paracaídas apenas sirven para nada, mientras que se siguen necesitando **escudos térmicos** para contrarrestar la fricción del aire.⁴⁰

Para ello, a parte de usar **retropropulsores** para disminuir la velocidad, se habrá de utilizar la propia atmósfera para planear levemente y reducir la velocidad por la propia fricción del medio, además de usar paracaídas también.



Foto 47: La cápsula Dragon 2

Si todo sale según lo previsto, para Febrero de 2021, los astronautas se encontrarán en el **Cráter Jezero**, con temperaturas medias de -8 °C.

³⁹ El combustible se cuenta aparte

⁴⁰ Fuente: SpaceX

5.1.5. **Starship como alternativa (actualización)**

A fecha de Enero de 2019, SpaceX anunció que su cohete Starship, antes conocido como **BFR** (Big Falcon Rocket), había finalizado su etapa de prototipo y estaba siendo construido para realizarse pruebas en febrero y marzo. No obstante, no ocurrió nada y el proyecto pareció estancarse. ⁴¹

Sin embargo, el 27 de Agosto de 2019, se realizaron unas pruebas con una versión reducida del cohete, llamada **Starhopper**, en las cuales ésta se elevó unos 150 m sobre el suelo. A partir de entonces, Elon Musk, CEO de la compañía, anunció sus planes para llevar personas a Marte para la próxima década. De hecho, en Setiembre de este año, ya se han comenzado a buscar posibles puntos de aterrizaje para futuras misiones.

Starship es la nave espacial
más grande y potente jamás
construida por el hombre



Foto 48: El Starhopper, de 40 m

Este nuevo modelo de cohete cambia totalmente el panorama de las misiones tripuladas a Marte, y pone de manifiesto la aceleración y la nueva vida que está teniendo la **industria aeroespacial**⁴². Desafortunadamente, esta extraordinaria explosión de nuevas tecnologías y dispositivos ha obligado a actualizar este trabajo para incluir este apartado.



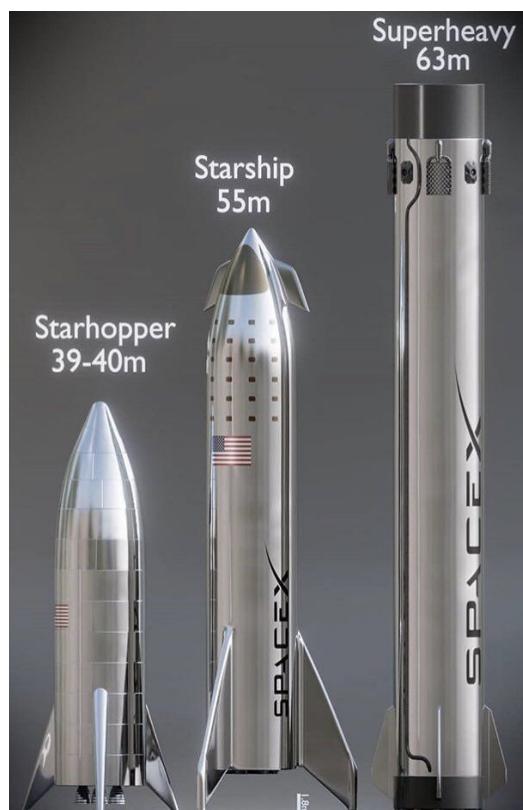
⁴¹ Fuente: SpaceX

⁴² Este salto tecnológico ya se conoce como una “nueva generación” de cohetes

Starship es la mayor nave jamás construida, más grande y potente incluso que el **Saturno V**, el cohete que nos llevó a la Luna durante las Misiones Apolo. Con 8 m de diámetro y 118 de altura, está compuesta por dos etapas. La primera, **Super Heavy**, contiene 35 cohetes Raptor, 8 más que el Falcon Heavy. Esto duplica sobradamente el empuje del cohete respecto a la anterior generación⁴³. Esta etapa también es reutilizable y puede aterrizar mediante retropropulsores una vez terminada su misión, al igual que los cohetes reutilizables del Falcon Heavy.



⁴⁴



La segunda etapa, *Starship*, contiene 6 motores Raptor, sumando 11.900 kN al ya de por sí gigantesco empuje que genera la primera etapa. Además, con un volumen de 88 m³ y una carga de unas 100 - 150 toneladas, la nueva generación de cohetes de SpaceX supone una mejora sustancial en el trayecto hacia Marte, permitiendo transportar mucha más tripulación y recursos. Eso, sí, la Starship contempla que su depósito se rellene una vez en órbita, y también se considera totalmente **reutilizable**. Es decir, puede volver a ensamblarse y volver a hacer el trayecto a Marte.

Fotos 48 - 49: Imágenes comparativas

⁴³ Si el Falcon Heavy tenía 24.000 kN de empuje, el Super Heavy tiene 52.700 kN

⁴⁴ Fuente: Twitter. Kimetalvitie

5.2. Lo imprescindible

Una vez que la primera misión aterrize en Marte, tendrá poco tiempo para establecer una red de **infraestructuras** con lo imprescindible para sobrevivir, y con la finalidad de llegar, finalmente, a la autosuficiencia. Desafortunadamente, cargar todo este material de construcción es completamente imposible, dada la carga de los transportes actuales. Así que, o bien las infraestructura ya debería estar entregada en la superficie, o de otro modo una sola misión a corto plazo es totalmente **inviable**.

Lo ideal sería establecer una serie de misiones robóticas previas con la finalidad de establecer una **red básica de energía** o un asentamiento precario y ahorrar trabajo a los astronautas. Este será seguramente el *modus operandi* que se siga para la colonización de Marte. Aún así, pese a la patente imposibilidad de poder construir ningún tipo de asentamiento, parece necesario desglosar y explicar todas las alternativas posibles. ⁴⁵



Foto 50: Arte conceptual de una colonia marciana primigenia

**El principal objetivo de una colonia marciana será
llegar a la autosuficiencia**

⁴⁵ Fuente: unlim3

5.2.1. Agua y Alimentación

Pese a que los primeros colonos marcianos llevarán suministros consigo, agua incluida, deberán hallar la forma de engrosar sus inventarios en cuanto lleguen a la superficie marciana para poder sobrevivir durante su estancia de más de un año y medio. Por ello, se han estudiado diferentes alternativas para poder sobrevivir en la superficie de Marte:

- **Agua atmosférica:** Aunque un 95% de la atmósfera es dióxido de carbono, existen trazas de vapor de agua que pueden capturarse, ya sea mediante **humidificadores** o usando **lechos de zeolita**, un mineral capaz de capturar estas partículas de agua, y que nos permitirían condensarla y prepararla para consumo.⁴⁶
- **Agua subterránea:** El Cráter Jezero no se encuentra entre los puntos con más agua subterránea de Marte (con entre un 3 y un 6%, frente al 8% de los lugares más húmedos del ecuador). Aun así, la extracción de agua congelada mediante microondas, en caso de que se hallen **acuíferos** subterráneos, permitiría abastecer la colonia durante largos períodos de tiempo de forma holgada.

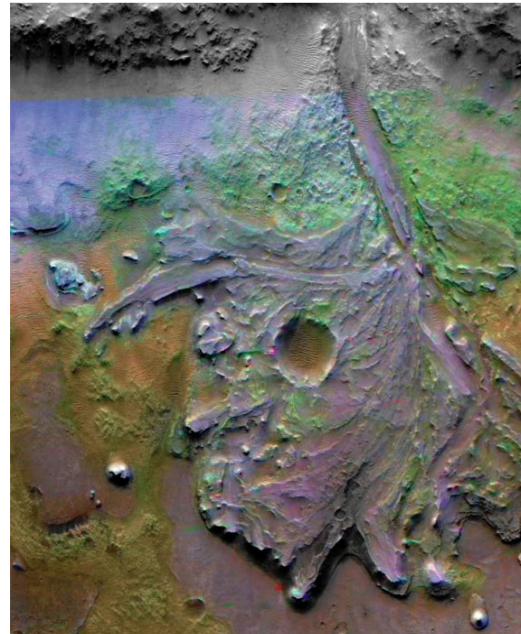


Foto 51: El Cráter Jezero fue un lago

- **Residuos de la creación de combustible:** Como veremos más adelante, uno de los procesos para crear combustible en Marte usa dióxido de carbono e hidrógeno para crear **metano y agua**. El primero sirve de combustible, y el agua puede abastecer una colonia fácilmente. También pueden descomponerse combustibles como la **hidracina** en hidrógeno y nitrógeno para obtener el mismo resultado.

⁴⁶ Fuente: NASA

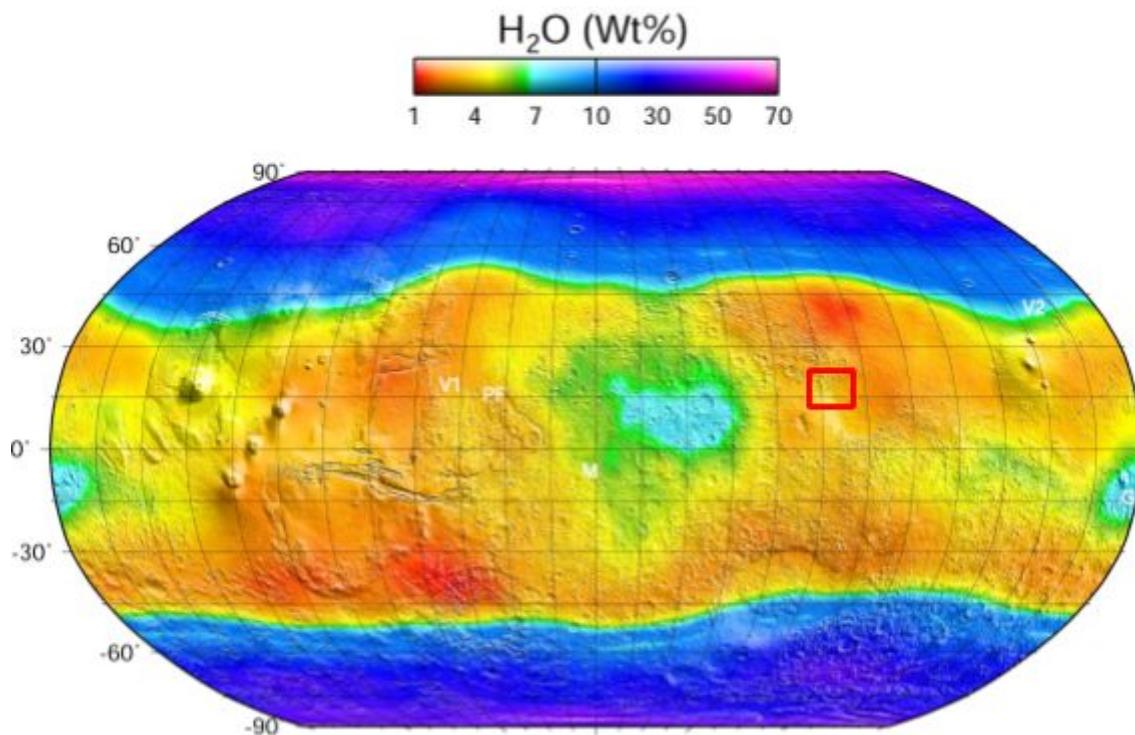


Foto 52: Este mapa muestra el agua subterránea en la superficie marciana

Como se puede apreciar en la imagen superior, en términos de presencia de agua, el cráter Jezero no se encuentra entre las mejores localizaciones del ecuador marciano. Se ve muy superado por zonas como el sur de **Elysium Planitia** o **Terra Sabaea**. No obstante, si se cambiara la localización de la misión en pos de disponer de mayores suministros de agua, se perderían muchas ventajas que proporciona la zona actualmente escogida. ⁴⁷

Además, esta falta de agua tiene fácil solución. Con el suficiente **hidrógeno**, que puede ser traído desde la Tierra en misiones previas, puede crearse combustible y agua usando el dióxido de carbono tan abundante en la atmósfera, lo que elimina de un plumazo dos de las preocupaciones imprescindibles para la supervivencia en el Planeta Rojo.

⁴⁷ Fuente: GRS, Lunar and Planetary Institute, Arizona

El siguiente punto a considerar, junto con el agua, es la **alimentación**, aunque no debería suponer un problema. Los alimentos normalmente son fáciles y ligeros de transportar, siempre se pueden racionar en caso de escasez, y todo ello sin hablar de su posible producción una vez en Marte.⁴⁸



Para hacerse una idea, las expediciones marítimas de hace un siglo eran capaces de alimentar a cien hombres durante tres años con los alimentos de la bodega. Aun así, sería recomendable que, además de los suministros que se carguen en el Falcon Heavy, la tripulación sea capaz de **cultivar** u obtener su propio sustento en la superficie.

Foto 53: Alimentos de la Estación Espacial

A parte del aporte calórico, por supuesto, los astronautas deberán consumir **multivitaminas** para no padecer problemas multinutricionales ni enfermedades por falta de determinados nutrientes, independientemente del aporte calórico de los alimentos. Las multivitaminas no son un problema, son pequeñas pastillas y se pueden transportar en enormes cantidades con una vida útil de muchos años. Actualmente, la NASA utiliza la **espirulina** como suplemento nutricional en el espacio.

Debemos pensar que la comida que actualmente ingieren los astronautas debe ser fácil de digerir, ligera y concentrada, con un gran aporte calórico y que no genere muchos residuos. Un buen olor y sabor es un añadido que afecta positivamente a la mente de los astronautas. Los actuales alimentos que se consumen en las misiones espaciales pierden **propiedades** después de un año (vitamina A, C, B1 y B9⁴⁹), así que o bien se ha de mejorar la duración de sus propiedades o ser capaz de obtener alimento en Marte.

⁴⁸ Fuente: NASA

⁴⁹ La falta de estas vitaminas en el organismo puede causar escorbuto, ceguera y degeneración ósea, beriberi, fatiga y problemas respiratorios

Pero, si hablamos del cultivo en Marte, recientes estudios resultan muy prometedores. En la Universidad de Villanova, en Estados Unidos, se recrearon las condiciones marcianas de luz y radiación y se descubrió que alimentos como la albahaca, la col, la **lechuga** y la cebolla se adaptan adecuadamente al ambiente marciano. Las patatas también podrían ser una opción debido a su gran aporte calórico (770 kcal/kg), y los **tomates** o el centeno también se desarrollan adecuadamente.

La **patata**, de hecho, es una opción muy recomendable. Para ello, se necesita espacio, luz, **tierra fértil** y agua. Seguramente, se destinen módulos al cultivo de alimentos, tipo invernadero, con diseño de cúpula transparente para la mayor incidencia posible de luz solar, que en Marte representa un 43% de la luz solar terrestre. En caso de tormenta de polvo, la carencia de luz solar deberá verse compensada artificialmente. ⁵⁰



Foto 54: Arte conceptual de una cápsula de cultivo en Marte

El **agua** es relativamente fácil de conseguir, aunque se habrá de purificar⁵¹. Por último, el regolito marciano podrá ser fácilmente fertilizado con heces de los astronautas o pequeñas muestras de suelo traído desde la Tierra. El crecimiento natural de las plantas hará el resto. El cultivo liberará dióxido de carbono, que podrá ser empleado para una futura terraformación, o bien para crear combustible, agua u oxígeno.

⁵⁰ Fuente: NASA

⁵¹ El agua subterránea contiene perclorato, ya que se suele hallar junto a salmueras

Por ejemplo, se estima que el cultivo de patatas saludables puede reducirse fácilmente de los 90 días a los 40 debido a diversos factores. Para empezar, no hay bacterias ni problemas meteorológicos a los que enfrentarse. La **temperatura** también ayuda mucho (unos 25.5 °C permiten acelerar el proceso). Una **luz solar** artificial también acelera el desarrollo, así como un cuidado y unas situaciones de esterilización determinadas.

Un cultivo tradicional necesita aproximadamente 40 L de agua por m³. Eso, añadido a los 3 L de agua diarios que necesita cada astronauta, puede ser considerado como un consumo excesivo de este preciado bien. Por ello, se estudia usar nuevos tipos de cultivo en Marte, tales como la **hidroponía**, un método que utiliza disoluciones minerales (elementos esenciales para las plantas) en vez de suelo agrícola. Lo que permite este método es una reducción del espacio, lo que aumenta la eficiencia, así como un ahorro del 50% del agua utilizada durante el proceso. También permite cultivar de forma vertical y así aprovechar mucho más espacio. ⁵²



Foto 55: La hidroponía podría convertirse en el futuro del cultivo extraterrestre

En resumen, se considera que, para estas misiones deberían transportarse 15 toneladas de agua y alimentos, y sin contar que los astronautas se duchen. Con los procesos expuestos, sin embargo, el agua y la alimentación dejan de ser un **problema**. Solo será necesaria una pequeña parte para alimentar a la tripulación durante el viaje y en caso de emergencia.

⁵² Fuente: David Arqueas

5.2.2. Vivienda

Está claro que si queremos permanecer sobre la superficie de Marte durante largos períodos de tiempo, deberán establecerse infraestructuras que nos permitan sobrevivir, crear entornos o **hábitats** que recreen en lo posible las condiciones terrestres. Esto incluye oxígeno que respirar, un clima que se pueda soportar... En definitiva, un entorno habitable.

Para empezar, debemos pensar en las estructuras que nos mantendrán a salvo. En primer lugar, la **arquitectura terrestre** no se puede aplicar a las extremas condiciones del Planeta Rojo. Se ha de pensar en los fuertes vientos, las peligrosas tormentas de polvo y la incesante radiación, así como en las extremas temperaturas.

Para ello, aquí en la Tierra ya se han ideado diversos recintos, que recrean una primigenia colonia marciana, para entrenar a los futuros astronautas y para averiguar cómo sobrevivir. Algunos ejemplos son el **HI-SEAS**, el **Mars 500**, la estación submarina **NEEMO** o la futura **Mars Science City**. Su función consiste en reproducir fielmente las condiciones de aislamiento y hostilidad a las cuales nos enfrentaremos en el futuro, recreando hechos como el retraso de las comunicaciones, y con estancias que duran años. ⁵³



Foto 56: El HI-SEAS, en Hawaii, imita la rutina y el modo de vida de los astronautas

⁵³ Fuente: NASA

Así pues, en los últimos años se ha llegado a la conclusión de que la mejor opción para construir en Marte es a base de módulos y pasillos de formas esféricas, cilíndricas y **cúpulas**, de baja altura, para poder resistir y capear los fuertes vientos y las inclemencias meteorológicas. Estas instalaciones deberán ser capaces de proteger contra la radiación y de simular las condiciones terrestres de presión y clima. Por tanto, la creación de **oxígeno** es imprescindible. Por suerte, no debería suponer un problema en Marte:

- **Captación de dióxido de carbono:** Como ya se ha explicado, la atmósfera marciana está compuesta por un 96% de CO₂. Este gas puede ser fácilmente descompuesto en oxígeno y monóxido de carbono mediante **electrólisis**. El oxígeno restante debería ser purificado, pero con este método, toda demanda de oxígeno se vería compensada. Uno de los proyectos más destacados es **MOXIE** (Mars Oxygen In Situ Experiment) de la NASA, que sería capaz de obtener oxígeno gaseoso o líquido, y usarlo como soporte vital o para fabricar propulsores de oxígeno líquido. Su gasto energético es de unos asequibles 300W con una producción de 10 g/h.

⁵⁴

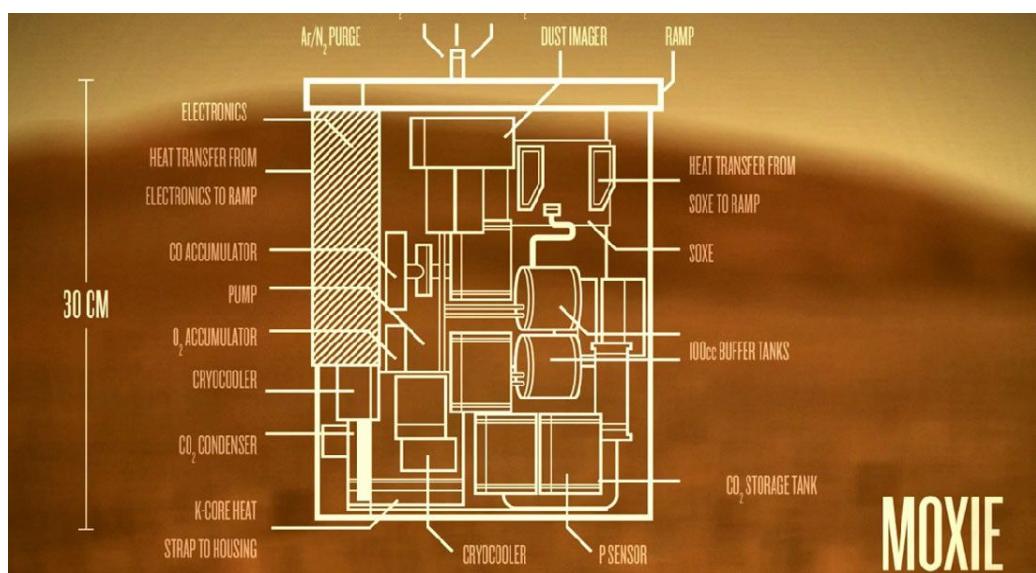
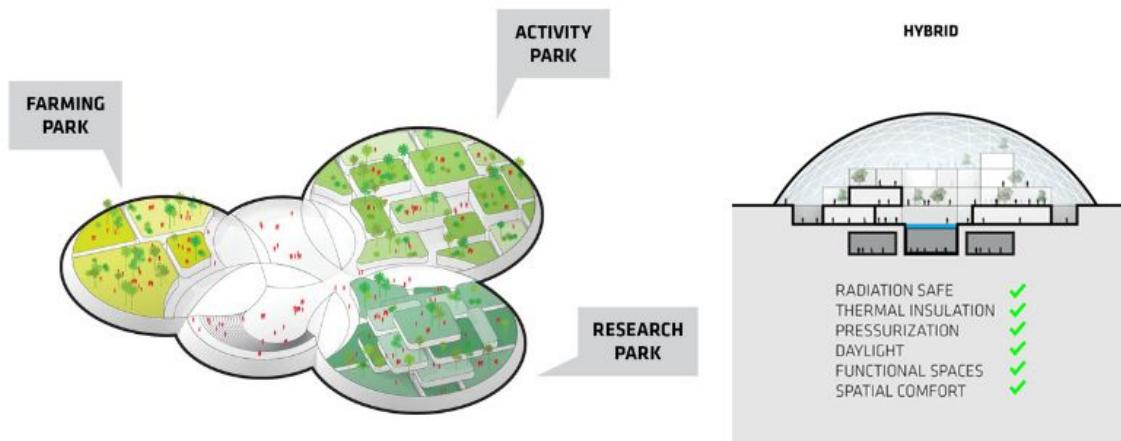


Foto 57: MOXIE, el oxigenador portátil de la NASA

- **Trazas de oxígeno:** Este método es más bien secundario, pero es posible aprovechar las trazas de oxígeno puro (0'13%) que se hallan en la atmósfera marciana. Aún así, el método anterior ya suple sobradamente la demanda de oxígeno.

⁵⁴ Fuente: NASA

Ahora bien, en lo referente a la vivienda, también se ha de tener en cuenta la distribución de los módulos y la función de cada uno. Según el estudio de arquitectura danés **Bjarke Ingels Group**⁵⁵, existen ocho factores vitales para las futuras misiones a Marte: energía, transporte, recreo, naturaleza, alimentación, clima, agua y residuos. Así pues, la organización de la colonia debería seguir estos esquemas. La mejor opción es destinar módulos a diferentes funciones, comunicados por pasillos.



La **radiación** no debería suponer un problema muy apremiante. Una estancia de tres años en Marte se acercaría a los **límites de seguridad** de la NASA, pero no sería extremadamente peligrosa. En caso de tormenta solar, sin embargo, los astronautas deberían usar algún tipo de escudo o refugiarse en cámaras subterráneas.



Foto 58 - 59: Bjarke Ingels se dedica a diseñar la futura Mars Science City en Dúbai

⁵⁵ Fuente: Bjarke Ingels Group (BIG)

Ahora bien, no podemos usar ladrillos para construir nuestra colonia. Debemos conocer mejor los materiales de construcción que darán forma a las futuras estructuras. Durante los últimos años han aparecido infinidad de alternativas a cada cual más sorprendente que la anterior: desde el hormigón hasta el hielo. Pero, si queremos contemplar las opciones más probables en el futuro más próximo, hay diversos contendientes.

Las aleaciones de aluminio, titanio y magnesio conforman las mejores opciones para la construcción aeroespacial, con materiales como el **duraluminio** o el **inconel**, usados en multitud de naves espaciales y combinados con fibra de carbono. Para las ventanas, se usaría algún tipo de plástico acrílico, llamado también **polimetilmetacrilato** (el Plexiglás), destinado al ámbito aeroespacial y militar.⁵⁶



Foto 60: Inconel 718 (níquel-cromo)



Otro punto de gran importancia es la protección contra la radiación. Pese a que la radiación marciana entra en los límites de seguridad de la NASA, algo de protección adicional sería útil en caso de tormentas solares. Para ello, además de la capa de duraluminio (puede que forrada con alguna **malla de blindaje**), debería usarse **regolito** marciano entre dos placas de duraluminio para aumentar aún más si cabe la protección radiológica.⁵⁷

Foto 61: Plexiglas, el super vidrio

Y en caso de que eso fuera insuficiente, siempre estaría el **búnker** subterráneo, protegido por una gruesa capa de suelo marciano y duraluminio e inmunizando totalmente a los astronautas contra la radiación.

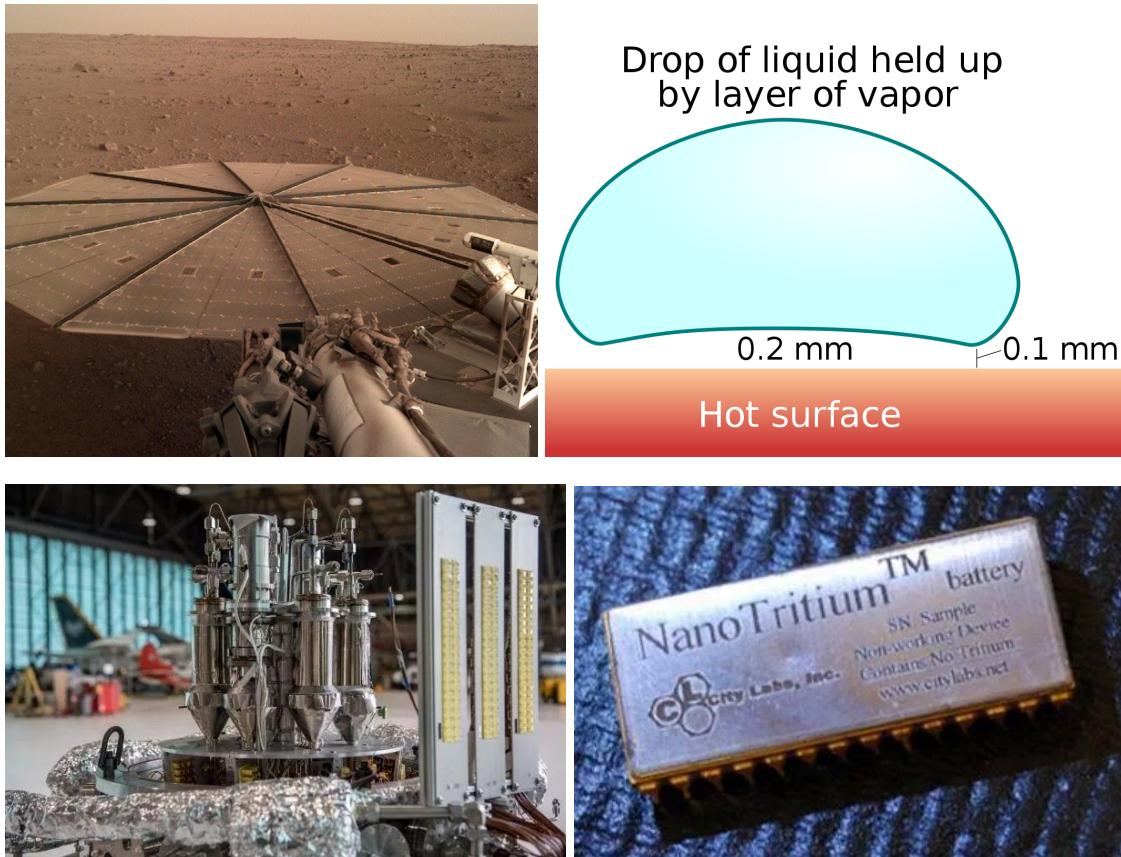
⁵⁶ Fuente: Ascaron

⁵⁷ Fuente: Alchemist-hp

5.2.3. Energía

Sin energía eléctrica, ninguno de los sistemas que nos asisten para la supervivencia podrían funcionar. Una vez en Marte, deberemos obtener energía de la forma más eficiente y creativa posible para poder abastecer a todo el asentamiento. En la actualidad, estas son las mejores opciones:

- **Placas solares:** Las placas solares son la opción más común en las misiones espaciales. En el caso de la colonización de Marte, supondrán una gran ayuda en cuanto a la generación de energía, pero no pueden convertirse en el medio principal. Esto se debe a que su suministro está condicionado por la meteorología y por tormentas de polvo que pueden durar meses. Además, el rendimiento de las placas en el Planeta Rojo es menor que en la Tierra.
- **Motores Leidenfrost:** Estos motores se han convertido en una de las mejores opciones para producir energía en Marte. A partir de hielo de dióxido de carbono, que abunda en Marte, podemos llevar a cabo el efecto Leidenfrost. Al calentar el hielo, se produce un efecto por el cual el material levita sobre una capa de vapor, lo que puede servir para crear motores que podrían reutilizar el hielo como combustible.
- **Reactores de fisión:** Cabe destacar el proyecto **Kilopower**, certificado por la NASA, y que consiste en pequeñas centrales nucleares capaces de generar 10 kW de manera continua durante 10 años. Con Urano 235 como combustible, 4 Kilopowers podrían abastecer a un pequeño asentamiento de forma continua.
- **Baterías nucleares:** Este sistema es a día de hoy muy usado en satélites y misiones de largo recorrido, por su larga vida útil y durabilidad. Funcionan convirtiendo el calor de un radioisótopo en electricidad, usando diversos métodos, ya sea con el efecto fotovoltaico de las placas solares o con el llamado **efecto Seebeck**.
- **Pilas de combustible Bloom:** Estas células, diseñadas como generadores de alto rendimiento, utilizan hidrocarburos líquidos o gaseosos. El inconveniente de su uso en la Tierra son sus emisiones de dióxido de carbono, pero en Marte, estos gases pueden usarse como combustible para los mencionados motores Leidenfrost.



What's in the Bloom Energy Server?



Fotos 62 - 66: Diversas alternativas para suministrar energía en colonias marcianas

Otras posibles fuentes de energía secundarias para abastecer a las colonias podrían incluir a la **energía eólica**. Los vientos, pese a que pueden llegar a los 400 km/h, no generan mucha fuerza debido a la poca densidad del aire. Aún así, estos métodos se barajan como un más que probable sistema de suministro secundario.

58

⁵⁸ Fuentes: NASA / Vystix Nexoth / NASA Glenn / Bloom Energy

En la superficie de Marte, el aprovechamiento de la energía será crucial. Pero, como la energía eléctrica no puede ser almacenada como tal, deberá transformarse a otros tipos de energía. Por suerte, durante los últimos años han surgido un puñado de tecnologías que podrían solucionar el problema del **almacenamiento** de energía:

- **Pilas de combustible:** Usando la electricidad para romper moléculas de agua (H_2O) y transformarlas en hidrógeno molecular (H_2) y oxígeno (O), la energía utilizada en el proceso puede recuperarse después mediante un electrolizador, que lleva a cabo la reacción inversa para obtener agua y electricidad. Este proceso es el que utilizan, por ejemplo, las células de combustible Bloom que usaremos en nuestra colonia.
- **Baterías de flujo:** Aunque este sistema tiene una vida útil prácticamente ilimitada respecto a las pilas de combustible, su capacidad es menor, y su funcionamiento, más sofisticado. Actualmente, sin embargo, la Batería Redox de Vanadio (VRB), por ejemplo, permitiría el almacenamiento de la energía producida por placas solares o aerogeneradores.

59

- **Supercondensadores:**

Aunque a día de hoy esta tecnología aún no tenga mucha capacidad, en un futuro esta tecnología podría suponer una opción viable para almacenar energía en Marte. Aun así, dado su gran potencial, se ha creído conveniente incluirla en el trabajo

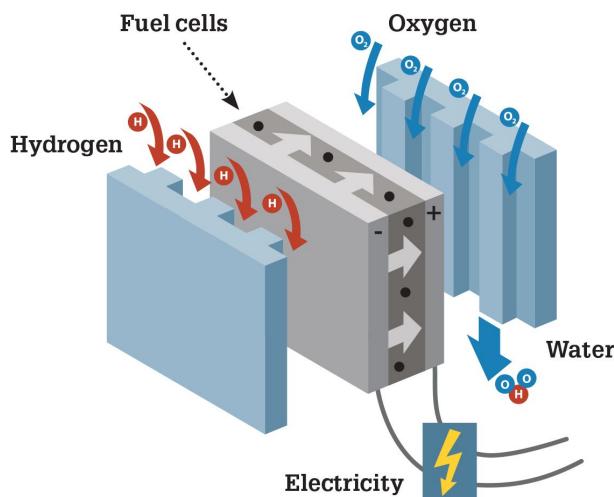


Foto 67: Las pilas de combustible son la opción más recomendable para almacenar energía

⁵⁹ Fuente: Wikipedia

5.3. Residuos

Es indudable que una estancia prolongada en Marte generará residuos, tanto orgánicos como de otros tipos. Pese a que desde los años cincuenta se han creado medidas para esterilizar y proteger otros planetas de la contaminación (como las **Leyes de Protección Planetaria** de la NASA), esto podría cambiar con la llegada de los primeros humanos al Planeta Rojo.

Por ejemplo, es un hecho que ya hay más de 8 toneladas de **basura** sobre el Planeta Rojo, además de 22 toneladas sobre Venus. Pero estos datos palidecen si tenemos en cuenta las 171 toneladas que hay sobre la superficie de la Luna. Cuando se formen las primeras colonias en estos mundos, la cifra podría convertirse en un serio problema. Y no solo por estética, sino porque nuestro impacto sobre otros planetas podría hacer desaparecer de un plumazo todo rastro de vida autóctona, destruyendo **ecosistemas** frágiles y pruebas científicas de incalculable valor⁶⁰. 61

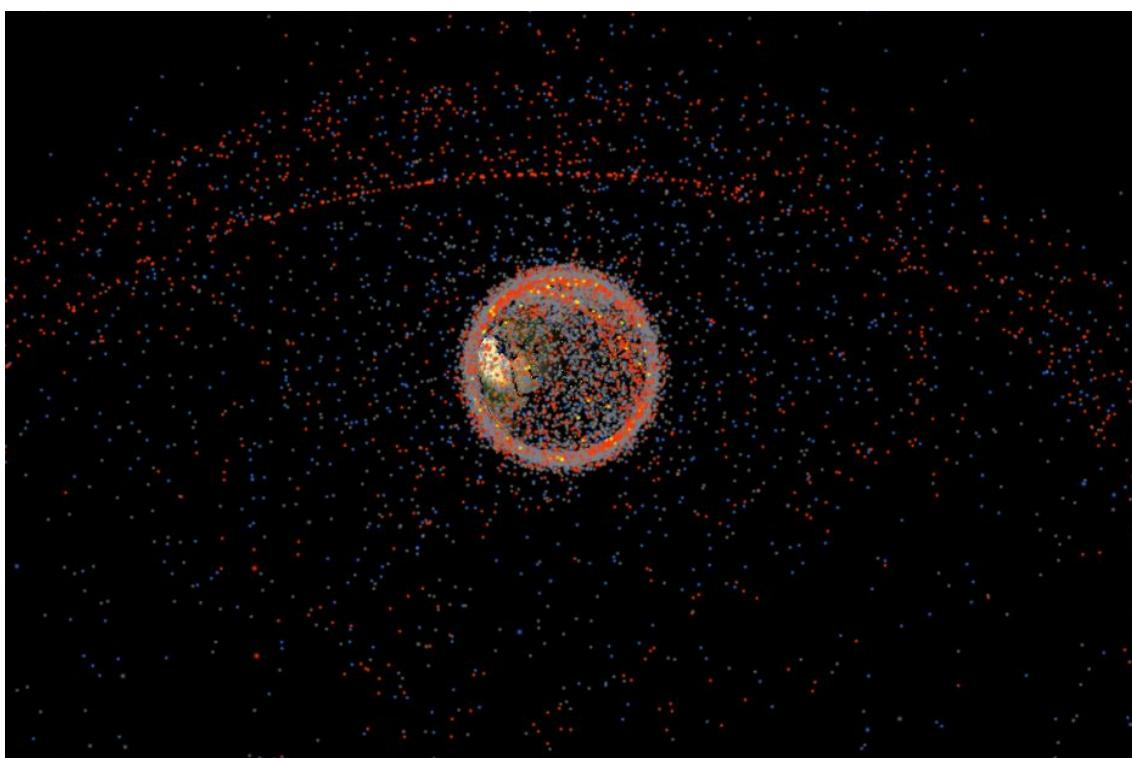
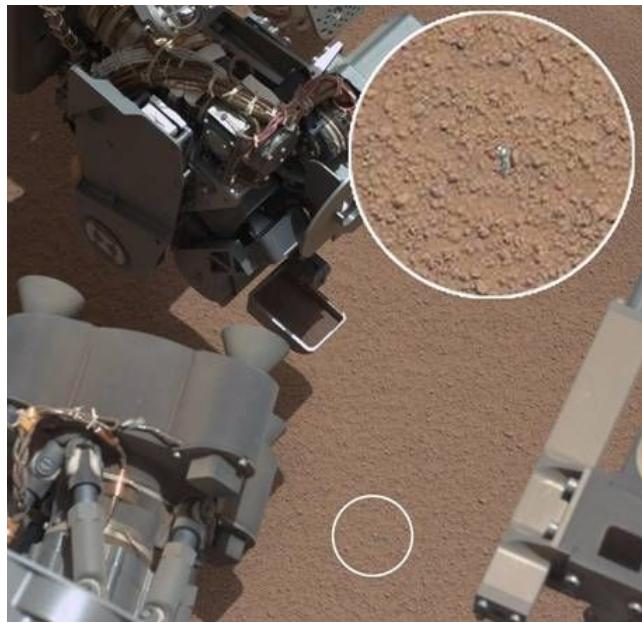


Foto 68: La basura espacial parece que va a suponer un problema para la exploración espacial. La página www.stuffinspace.com, nos da una idea.

⁶⁰ Protocolos así ya se aplicaron con la sonda Galileo y Cassini para evitar la contaminación de ecosistemas como la luna Europa o los satélites de Saturno.

⁶¹ Fuente: Stuff in Space



Es debido a estas razones por las cuales debe reducirse al máximo el impacto humano sobre la superficie de otros planetas, sobre todo en aquellos de tanto valor científico como Marte. Para ello, un concepto imprescindible es el **reciclaje**, así como la reducción en lo posible de materiales nocivos e intrusivos para la biosfera del planeta. ⁶²

Foto 69: Rovers y satélites ya empiezan a hallar restos abandonados de antiguas misiones.

Así pues, todos los residuos orgánicos deberán reutilizarse, ya sea en forma de **compost** para los cultivos o como **alimento** o **combustible** en la medida de lo posible. Estos residuos incluyen: restos de comida, heces y orina, posibles restos de los cultivos... Todo esto es de fácil reutilización (casi obligada, de hecho) y permite mantener los nutrientes en los cultivos y favorecer la producción de comida.

Otros tipos de residuos como restos de tecnología, recambios o equipos inservibles deberán reutilizarse en la medida de lo posible, y evitar a toda costa su abandono en el entorno marciano. En caso de no tener uso alguno, la mejor manera de deshacerse de la basura sería mediante **incineración**.

Es imprescindible una buena gestión de los residuos si no queremos acabar con Marte antes de colonizarlo. Y para ello es necesario comenzar ya

⁶² Fuente: NASA

5.4. Recreo

Aunque no pueda parecer de gran importancia, el ocio y el recreo, así como la socialización y el diálogo, deben de ser una parte imprescindible en la rutina de los astronautas que vayan a Marte. Y es que la falta de este tipo de **entretenimiento** es mucho más nociva de lo que podría parecer. Demasiado trabajo e investigación constante puede afectar al humor y al **rendimiento** de los astronautas. El ocio es, por lo tanto, un factor innegable en cualquier misión.⁶³



Foto 70: Astronauta corriendo en la EEI

Para ello, deben de disponerse de diversas instalaciones y ambientes propicios para estos momentos de descanso. El **ejercicio**, por ejemplo, suele ser una actividad muy popular entre astronautas, a veces incluso necesaria para mantener el cuerpo en forma. En la superficie de Marte, sometidos a una constante gravedad reducida, los astronautas deberán ejercitarse regularmente para atenuar los efectos de estas condiciones.

Otros *hobbies* populares consisten en leer, escuchar o tocar música, jugar a deportes o ver programas de televisión pregrabados. Un ambiente agradable y de **compañerismo** entre astronautas también es muy beneficioso para un buen desempeño de la misión.

Por último, un contacto regular con la familia y el mundo exterior ayudan a mejorar el ánimo y a superar la evidente soledad de encontrarse a millones de kilómetros de casa. Como los retrasos de comunicaciones hacen imposibles videollamadas o audio, toda comunicación entre la colonia y la Tierra se llevaría a cabo mediante **mensajería**.

⁶³ Fuente: NASA

5.5. Transporte

Un punto importante a tener en cuenta es el transporte, tanto el combustible y la forma en que nos desplazaremos por la superficie como la forma que hallaremos para volver a la Tierra en cuanto finalice la misión. Para ello, el recurso esencial del cual se debe disponer es el **combustible**.

Afortunadamente, en lo referente al viaje de vuelta, los motores **Raptor** diseñados por SpaceX funcionan con una simple combinación de oxígeno líquido o **LOX** (O_2) y **metano** (CH_4). Por lo tanto, uno de los objetivos en la superficie consistirá en conseguir suficiente combustible para la vuelta.⁶⁴

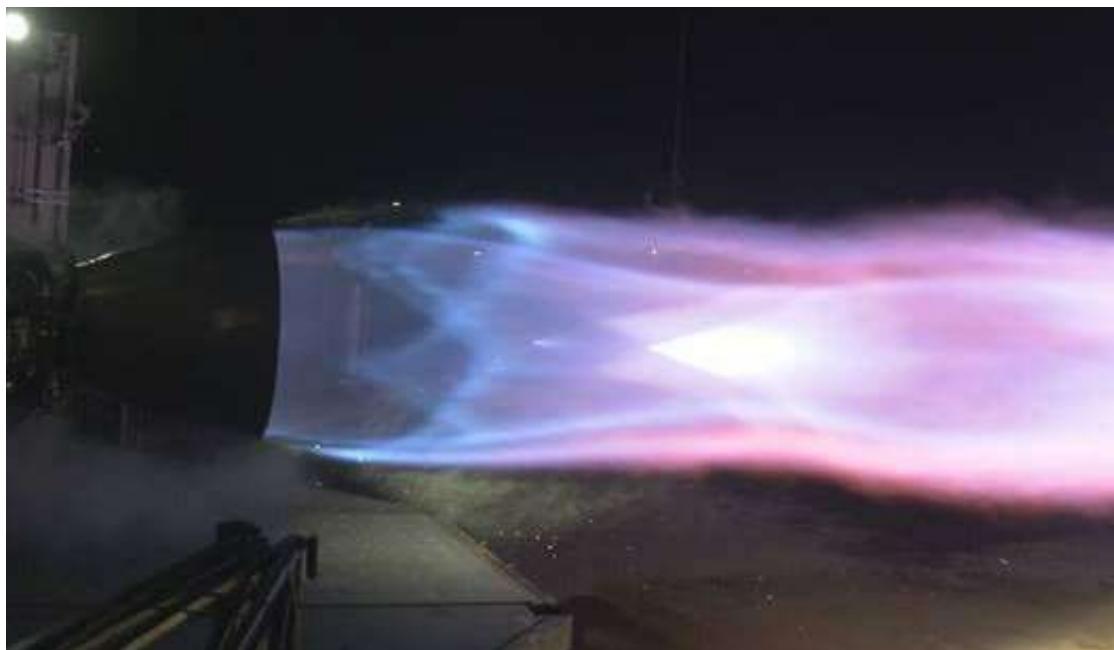


Foto 71: Los motores Raptor usan metano como combustible y LOX como oxidante

Así pues, en el caso de la segunda etapa del BFR, *Starship*, serán necesarias 860 toneladas de oxígeno líquido (LOX) y 240 toneladas de metano. Estas cifras superlativas son, de hecho, muy difíciles de conseguir en un entorno como Marte. Para el oxígeno líquido por ejemplo, disponiendo de un segundo **MOXIE**⁶⁵ para producir continuamente (10 g/h durante un año y siete meses), resultaría en 138 kg de LOX, apenas un 0,02% de lo que se necesita.

⁶⁴ Fuente: SpaceX

⁶⁵ Recordemos que MOXIE era el oxigenador portátil de la NASA

Obviamente, la solución más probable consistiría en **estaciones de repuesto** orbitales para solucionar todo el problema del combustible, o en enviar el combustible por adelantado en una misión previa. En otro caso, un solo MOXIE tardaría unos 9.800 años en producir tal cantidad, o de otro modo, se necesitarían de 6.230 oxigenadores, algo prácticamente inviable.

Por otro lado, el metano no supone un problema tan patente. Por suerte, a través de la conocida como **reacción de Sabatier**⁶⁶, 1 kg de hidrógeno traído desde la Tierra, sumado al abundante dióxido de carbono de la atmósfera, puede transformarse en 13 kg de metano, y dando como resto agua, que a su vez puede descomponerse en hidrógeno y oxígeno para volver a repetir el proceso y así obtener la máxima eficacia.⁶⁷



Foto 72: Arte conceptual de la Starship y el Super Heavy

Lo que esto quiere decir es que solo bastarían 18.500 kg de hidrógeno, una cantidad más que viable para ser cargada en el BFR desde la Tierra (solo representa un 13% de la carga del *Starship*). Una vez en Marte, usando un simple **catalizador de níquel** y mediante electricidad, se podría producir todo el combustible necesario.

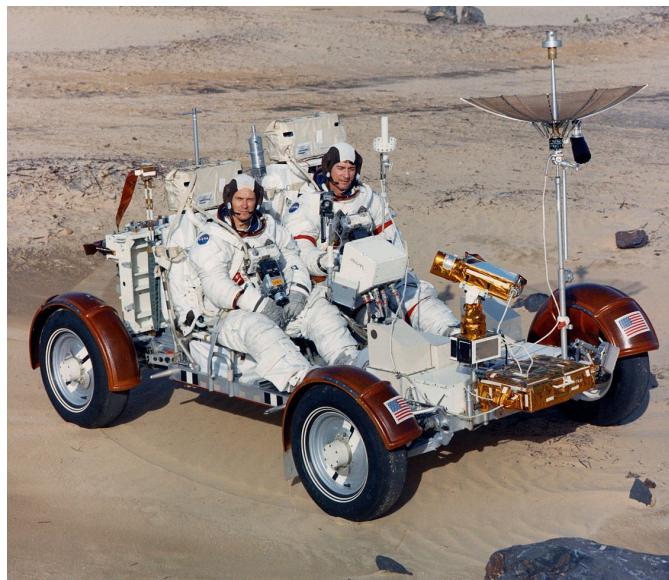
En conclusión, para el viaje de vuelta debería contemplarse el uso de propulsores de metano, o disponer del oxígeno líquido necesario ya en la superficie. De otra manera, resulta totalmente **inviable**.

⁶⁶ La reacción de Sabatier estipula que: $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

⁶⁷ Fuente: SpaceX

Ahora bien, también se debe contemplar el posible uso de vehículos, conocidos como **rovers** o astromóviles, para desplazarse rápidamente sobre la superficie de Marte. El campo de los llamados *manned rovers* no ha sido muy explotado en la industria aeroespacial. Se usaron en misiones puntuales, como las Apolo 15, 16 y 17.

⁶⁸



Un **rover tripulado** puede ser, por tanto, de diversos tipos. Para empezar, puede presurizarse para crear un entorno habitable, o simplemente estar abierto y transportar de un sitio a otro, como en las misiones Apolo.

La NASA, por su parte, presentó en 2017 un modelo de rover presurizado de 8,5 m de largo, aunque a día de hoy no es más que un prototipo. Lo más probable es que los primeros rovers marcianos tripulados, si es que llegan a existir, sean descubiertos y **ligeros**, seguramente propulsados por metano y oxígeno para realizar reparaciones y mantenimiento.

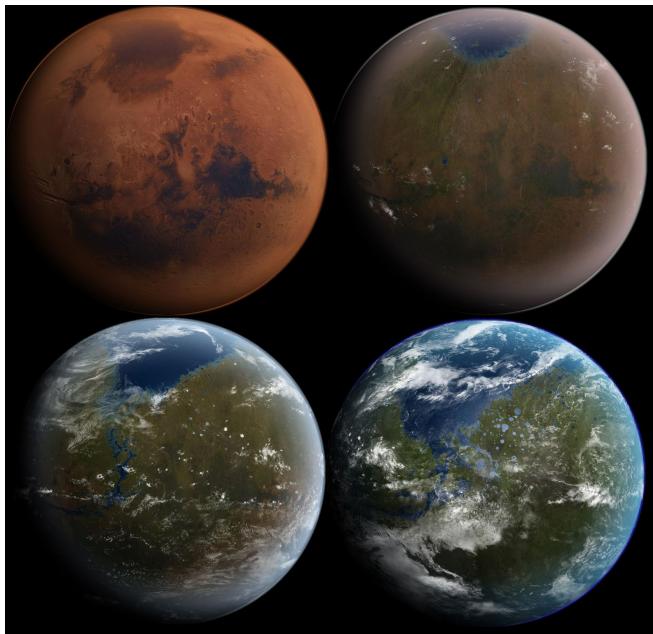


Foto 73: Pruebas con LRV para la Apolo 16 (arriba). Prototipo de astromóvil (abajo)

⁶⁸ Fuentes: NASA

6. Objetivos a largo plazo

Establecer colonias autosuficientes en Marte es solo un pequeño paso en la historia de la exploración espacial. Cuando las colonias humanas en Marte comiencen a **proliferar** y a extenderse por su superficie, dentro de varias décadas, aparecerán nuevos objetivos en la industria aeroespacial.



La **terraformación de Marte** es la consecuencia lógica de establecer colonias marcianas, y el hito que pondrá de manifiesto una superioridad y control total sobre un mundo externo. En el momento que adaptemos un planeta hostil a nuestras propias necesidades, habremos demostrado nuestra supremacía sobre dicho territorio.⁶⁹

Foto 74: Representación de la terraformación

Paralelamente a la conquista y terraformación marcianas, la Luna y otros cuerpos celestes también se convertirán en el objetivo de la colonización. Concretamente, puede que la Luna compita junto a Marte como objetivo para las primeras colonias en otros cuerpos, debido a su evidente cercanía y las ventajas que ello supone. Por otra parte, es más que probable que las **lunas de Marte** se conviertan en puertos espaciales para futuras misiones.

La colonización de Marte será solo el principio de una nueva era en la exploración y prosperidad que se prolongará durante, al menos, el próximo siglo.

⁶⁹ Fuente: Daein Ballard

La **minería espacial**, por otra lado, es un filón que las empresas privadas parecen querer explotar cuanto antes. Y es que este mercado llevaría la minería a la mayor era dorada que jamás haya visto. Recientemente, se han observado asteroides compuestos enteramente de metales preciosos, como 16 Psyche, cuyo valor está estimado en 700 trillones de dólares⁷⁰ y que será explotado en 2022. Es normal que algunas empresas ya se frotén las manos pensando en lo lucrativo de este negocio, priorizándolo sobre otros objetivos.

⁷¹

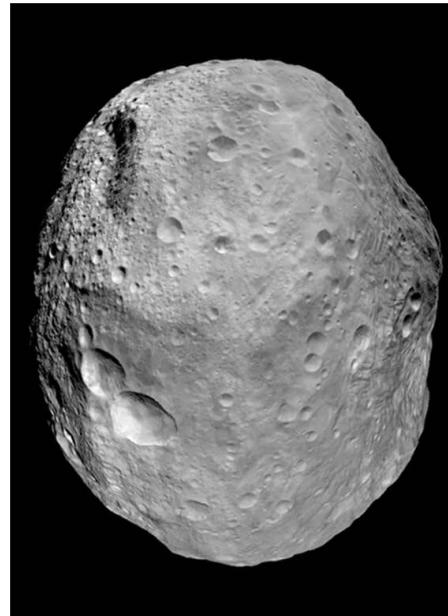


Foto 75: Un gran asteroide, Vesta

Después de esto, se prevé que la exploración espacial se propague sin límites por todo el **Sistema Solar**, en una especie de *boom* de descubrimiento durante el próximo siglo como nunca se ha visto hasta ahora. Venus y Mercurio se colonizarán después de Marte y la Luna. Luego, el cinturón de asteroides se convertirá en la mina de recursos que alimentará durante décadas nuestra tecnología. Con los numerosos avances que aparecerán con rapidez, en poco tiempo se abrirán las puertas de los planetas exteriores, los grandes gaseosos y todos sus satélites.

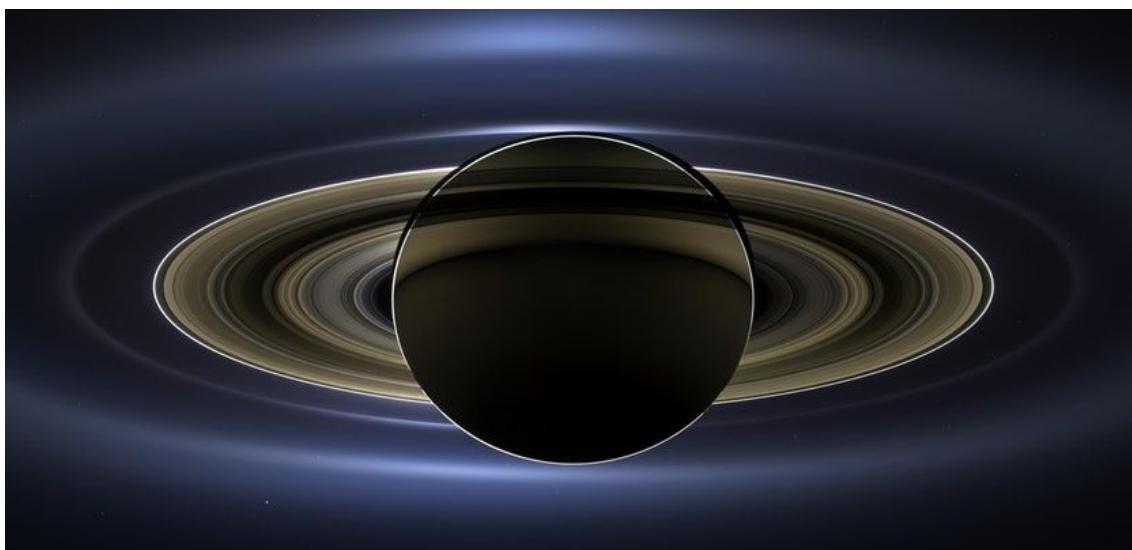


Foto 76: Imagen de los anillos de Saturno por la sonda Cassini

⁷⁰ Eso equivale a 90 mil millones de dólares por persona en el planeta.

⁷¹ Fuentes: NASA

7. Parte práctica

Como segundo gran apartado de este trabajo y a fin de exponer toda la información recabada a lo largo de las anteriores páginas, la parte práctica de esta investigación consiste en elaborar una **maqueta a escala** de lo que sería una primera colonia en Marte, basándose en todas las tecnologías expuestas y tratando de recrear de manera fiel una instalación marciana.

Por ello, en las próximas páginas se expondrá todo el proceso de **diseño** y **construcción** de dicha maqueta, mostrando cada paso y exponiendo fotografías de los esbozos, así como de todas las etapas y dificultades que han surgido a lo largo de este pequeño proyecto. ⁷²

**Cada vez más propuestas e ideas están surgiendo en
el ámbito de la colonización marciana**



Foto 77: Propuesta de Elon Musk de una colonia marciana

⁷² Fuente: SpaceX

7.1. Diseñando la estructura ideal

Una vez expuestos todos los requisitos y los puntos a considerar en la construcción de estructuras marcianas, el siguiente paso en este trabajo era transformar la teoría en un diseño viable. Así pues, utilizando como referencia el módulo central del **HI-SEAS** y los ocho factores vitales del Bjarke Ingels Group, para este trabajo se ha ideado una estructura completamente **nueva** y pensada para las futuras misiones a Marte. ⁷³



Foto 78: Interior del módulo del HI-SEAS, con laboratorio, comedor y sala común.

La construcción se basa en el uso de **módulos semiesféricos** conectados por pasillos tubulares alrededor de un gran módulo central, rodeado de una periferia de otros pequeños módulos ordenados en forma **hexagonal**. Esta distribución, además de ser compacta y centralizada, permite añadir fácilmente nuevos módulos a causa de su eficiente red hexagonal.

El **módulo central**, de dos plantas y con una superficie útil total de más de 150 m², tendría además un **búnker** subterráneo para posibles tormentas solares o grandes eventos meteorológicos, con suministros y equipo para sobrevivir a estas determinadas circunstancias. Los **módulos periféricos**, un total de seis, tendrían una superficie útil de unos 15 - 20 m² cada uno, a excepción del módulo EVA⁷⁴, con una superficie ligeramente mayor, por la esclusa que actúa como único acceso a la colonia.

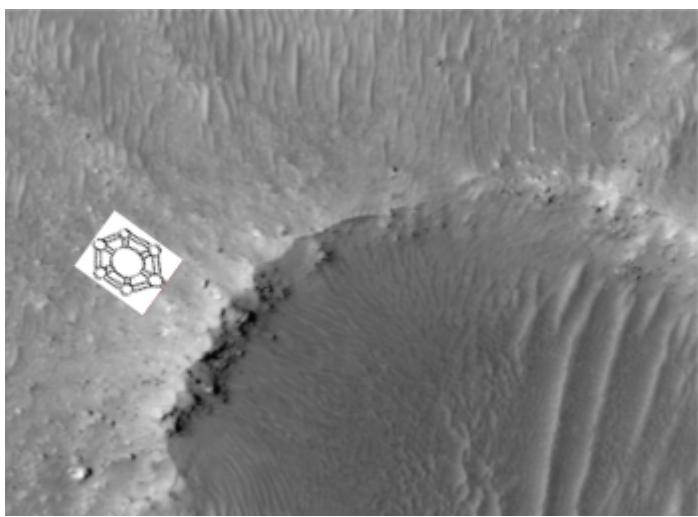
⁷³ Fuente: earlymars

⁷⁴ Este módulo está destinado a salidas o EVAs (Extra Vehicular Activity)

Cada módulo, además, tendría una **función** específica. La cúpula central se usaría como comedor y como espacio de ocio o descanso. Los módulos de la periferia se ordenarían de la siguiente forma: dormitorio, baño, invernadero, sala de despresurización (EVA), sala de máquinas y laboratorio. Obviamente, estas funciones son **flexibles** dependiendo de las necesidades de la misión. Por ejemplo, el baño puede usarse también para almacenar el compost de los excrementos o para disponer de más cultivos.

Así pues, sin contar los pasillos, esta colonia tendría más de 250 m² de espacio habitable, una cantidad considerable que se podría aumentar fácilmente durante las siguientes misiones, y que resulta más que suficiente para una estancia moderada durante las primeras misiones. Un detalle de importancia es que parte de la colonia, concretamente los pasillos, se hundirán aproximadamente 1,5 m bajo el suelo para reducir la **resistencia al viento** y conservar una forma semicilíndrica en el contorno emergido⁷⁵.

La ubicación de la colonia sería, como ya se ha mencionado, el **Cráter Jezero**, al borde de una pequeña cuenca de 100 m de diámetro. La entrada estaría orientada hacia dicho cráter (el sureste). Las placas solares se ordenarían de forma radial a lo largo del sector norte al noreste, y los reactores se ubicarían a una distancia prudencial al sur de la colonia. La zona de aterrizaje, por su parte, se hallaría al noroeste de las instalaciones.



A partir de los bocetos y las medidas establecidas, lo primero que hice fue diseñar planos de la colonia en **AutoCad** para poder ver el aspecto final que tendría. Las dos versiones incluyen vistas de planta y alzado y pueden verse al final de este apartado.⁷⁶

Foto 79: Situación aproximada de la colonia

⁷⁵ Esto se debe a que pasillos semicilíndricos a nivel de suelo serían muy bajos.

⁷⁶ Fuente: Mars Trek

7.2. Construyendo la maqueta

Una vez pensados todos los puntos y características de nuestra colonia, era hora de hacer ese diseño realidad. Decidí representar la maqueta a **escala 1/100**, lo que quiere decir que cada centímetro de la maqueta representa un metro en la vida real. Esto significa que los 31 metros que medía la colonia se transformarían en 31 cm, con cúpulas de 11 cm y 5 cm de diámetro. Mi idea inicial fue representarla en un tablero de 1x1 m.



Intenté encontrar los **materiales** que mejor se adecuaran a esta escala, y aunque el resultado final no replicaba exactamente las medidas especificadas, ofrecía una satisfactoria recreación de lo que sería dicha colonia.⁷⁷

Lo primero que hice fue delimitar el tamaño de la base. Usé una tabla de cartón de 1,20m x 1,70m, que corté para conseguir un tamaño más asequible de 1x1 m. A partir de ahí, usé **poliuretano extrusionado** (un tipo de espuma ligera y rígida) para elevar el terreno y poder hacer el relieve de la superficie con más facilidad. Lo encolé para dejarlo bien sujetó.



Fotos 80 - 83: Materiales que utilicé (arriba). Proceso inicial de construcción (abajo)

⁷⁷ Fuentes: Gonzalo Campos

Lo siguiente que hice fue **esculpir** la depresión de la **cuenca** (a escala, lo que se traduce a un arco de unos 93 cm de radio) y usar los restos de cartón para crear una superficie sobre el poliuretano y establecer ahí la maqueta, además de encollarla también.



El siguiente paso consistió en usar **masilla** y **aguaplás** para esculpir y uniformizar el suelo marciano, para lo que usé topes de cartón en los laterales para evitar que goteara. Para dotar a la orografía de un mayor realismo, usé masilla seca para hacer grandes piedras alrededor del cráter y desperdigadas por todo el diorama. Al acabar, solo hizo falta un día de reposo para asentar y solidificar la masilla.⁷⁸



Fotos 84 - 85: Esculpiendo el cráter (arriba). Resultado final de enmasillarlo (abajo)

⁷⁸ Fuente: Gonzalo Campos

Con la masilla ya solidificada, la maqueta comenzaba a cobrar forma, pero surgió un problema. Al ser de 1x1 m, moverla de un sitio a otro era imposible sin volcar todo lo que hubiera encima, así que decidí tomar una decisión radical: **reducir el tamaño** a 100x70 cm para que pudiera pasar por cualquier puerta. Así que volví a usar la sierra radial para eliminar todo el material sobrante. Este cambio, además, eliminó mucho terreno inútil.



Nada más después de reducir el tamaño, me dedique a pintar toda la superficie con **aerosol**. Una primera pasada de color desierto, una segunda de color tierra, y un último repaso con gris para crear un color heterogéneo y creíble.⁷⁹

Foto 86: La base reducida y pintada, sin el lavado

Por último, un **lavado** con color tierra europea para resaltar las sombras y matizar los colores. El resultado final me pareció más que aceptable, y, en mi opinión, recrea de manera acertada los colores del Planeta Rojo.

Ahora lo único que quedaba por hacer era **construir** toda la infraestructura: los siete módulos de la colonia con sus respectivos pasillos, los reactores nucleares, las placas solares y un espacio para la pista de aterrizaje. Pero lo primero fue fortalecer y embellecer el resultado final con una placa de madera bajo el cartón, así como listones para cubrir la espuma de los lados.

Para construir la colonia utilicé **materiales transparentes** en la medida de lo posible. Usé una cúpula central de metacrilato de 11,5 cm de diámetro, y cúpulas periféricas de 5 cm. Los pasillos, tubos de plástico de 2 cm. También compré cultivos, personas y algún decorado a escala 1/100 para dar algo de personalidad y **estética** a la maqueta.

⁷⁹ Fuente: Gonzalo Campos



Para los reactores, usé dos cápsulas de café. En realidad, estas cápsulas simulan el muro de contención, los verdaderos reactores estarían en el interior. Por último, para las placas solar utilicé cartulina plateada para crear cada célula fotovoltaica de manera individual (de 200 x 100 cm a escala).

Foto 87: Aspecto de la maqueta en su etapa final.

Quedé muy satisfecho con el **resultado final**. Más tarde le añadí a la maqueta los cultivos, puse personas por toda la colonia e incluso monté una pequeña antena en la parte superior del módulo central. En general, pese a las numerosas complicaciones y dificultades que surgieron durante el camino, estoy muy complacido por el acabado de esta parte práctica que ha supuesto toda una experiencia.

80



Foto 88: Acabado final de la textura del suelo marciano.

⁸⁰ Fuente: Gonzalo Campos

8. Conclusiones

Al principio de este trabajo, se planteó una pregunta a responder como objetivo. Ahora, tras tantas páginas de investigación y búsqueda, ha llegado el momento de responder a la cuestión: ¿sería posible, a día de hoy, establecer una colonia en Marte?

La respuesta es **no**. Desgraciadamente, a raíz de este trabajo se concluye con gran certeza que, a día de hoy, dadas las tecnologías y recursos disponibles, es totalmente **inviable** establecer colonias humanas sobre la superficie de Marte. Pese a que prácticamente todas las tecnologías son competentes, algunos pequeños vacíos impiden que actualmente se pueda lograr este objetivo. Dichos huecos son:

- **Falta de combustible:** En la actualidad, es totalmente imposible disponer de 860.000 kg de oxígeno líquido una vez sobre la superficie de Marte, a fin de usarlo como combustible para el viaje vuelta. Además, las alternativas que podrían solucionar este problema no están lo suficientemente desarrolladas.
- **Problemas de construcción:** Otro gran problema es la imposibilidad para cargar y construir el conjunto de instalaciones e infraestructuras para poder crear entornos habitables⁸¹. El simple peso de todo el conjunto es totalmente inasumible para los cohetes actuales. Se necesitarían de misiones más complejas y a largo plazo que no pueden ser ejecutadas actualmente.

Aunque no se puede negar que la conclusión es algo decepcionante, la investigación arroja luz sobre el panorama actual de la exploración de Marte y pone de manifiesto que este suceso no está muy lejos de ocurrir. Tanto es así, que hay una segunda conclusión para este trabajo. Es la total certeza de que, en menos de una década, los primeros humanos ya habrán caminado sobre la superficie de Marte.

⁸¹ Eso no impide que el resto de tecnologías capaces de mantener una colonia sean totalmente funcionales.

Tras acabar toda esta investigación, y más allá de la conclusión, estas páginas quieren servir de **inspiración** y como punto de partida para algo más grande. La carrera espacial no acabará con la conquista de Marte, y en los próximos años surgirán infinidad de nuevas metas y posibilidades en este ámbito. Este proyecto es un ventana al futuro de este acontecimiento, y me gustaría pensar que su influencia no acabará ahí, sinó que se extenderá a su evolución lógica: la terraformación de Marte, y después de eso, la conquista de todo el Sistema Solar.

Si de algo más me ha servido esta investigación, ha sido para **formarme** y **aprender** en un campo al que pienso dedicarme en un futuro y del que me considero un apasionado. Este trabajo no solo me ha permitido informarme acerca de este tema, sino que me ha permitido conocer de primera mano diferentes **métodos de trabajo** y de sintetización de la información que nunca antes había experimentado.

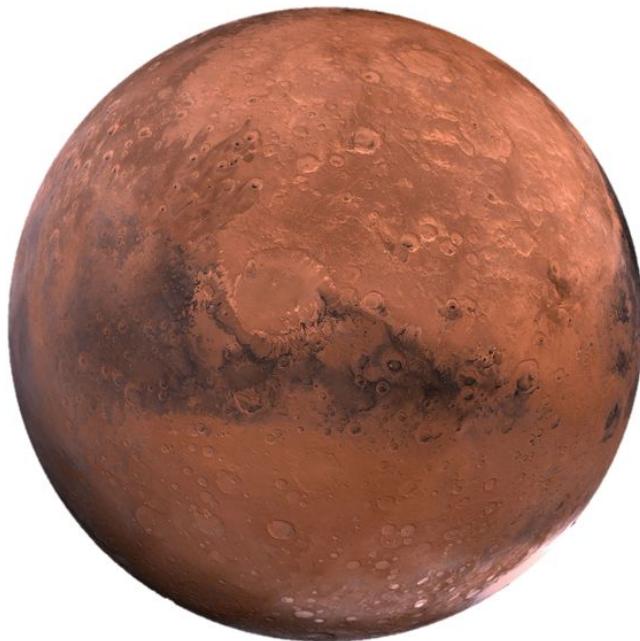
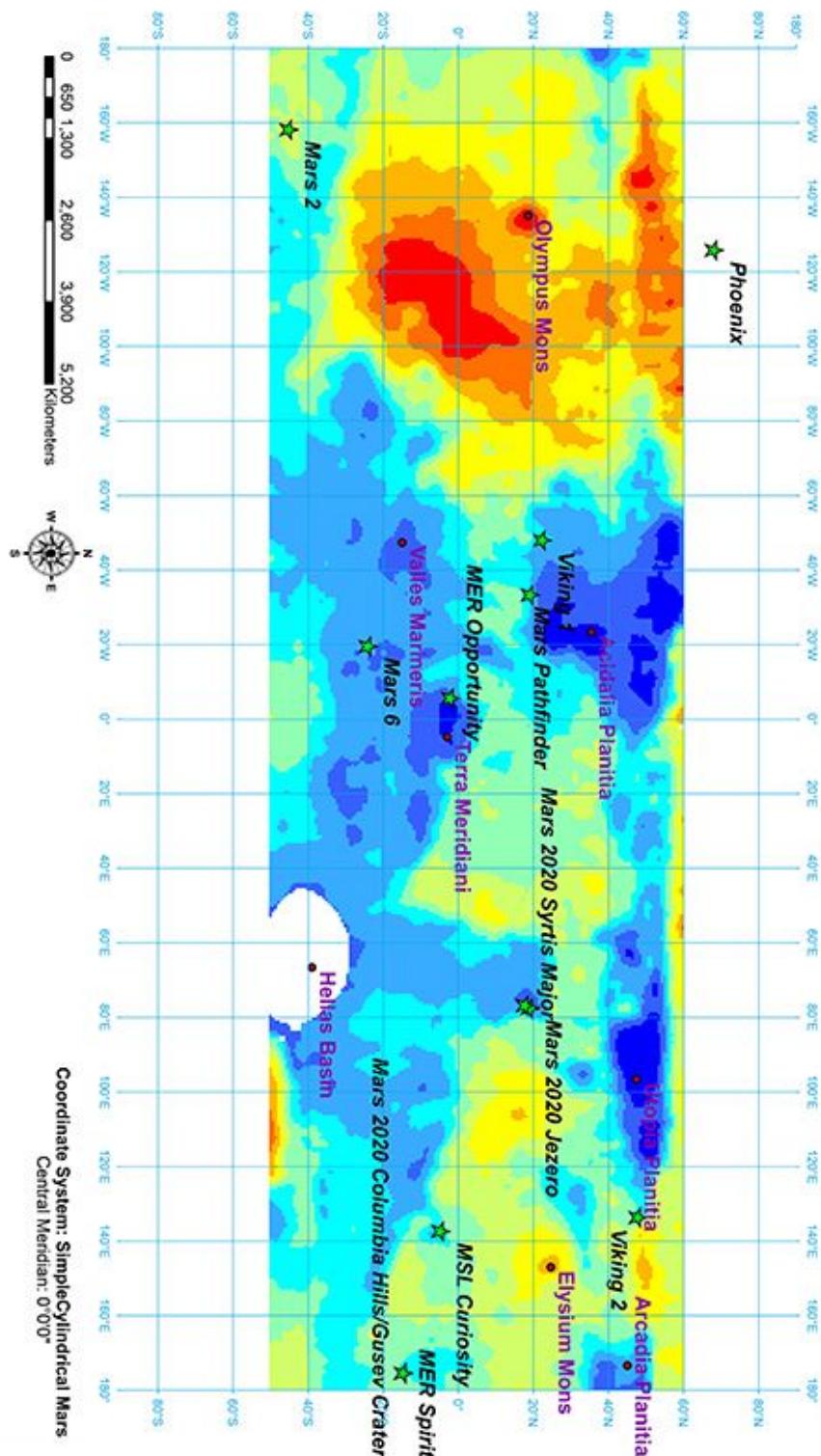


Foto 89: El Planeta Marte.

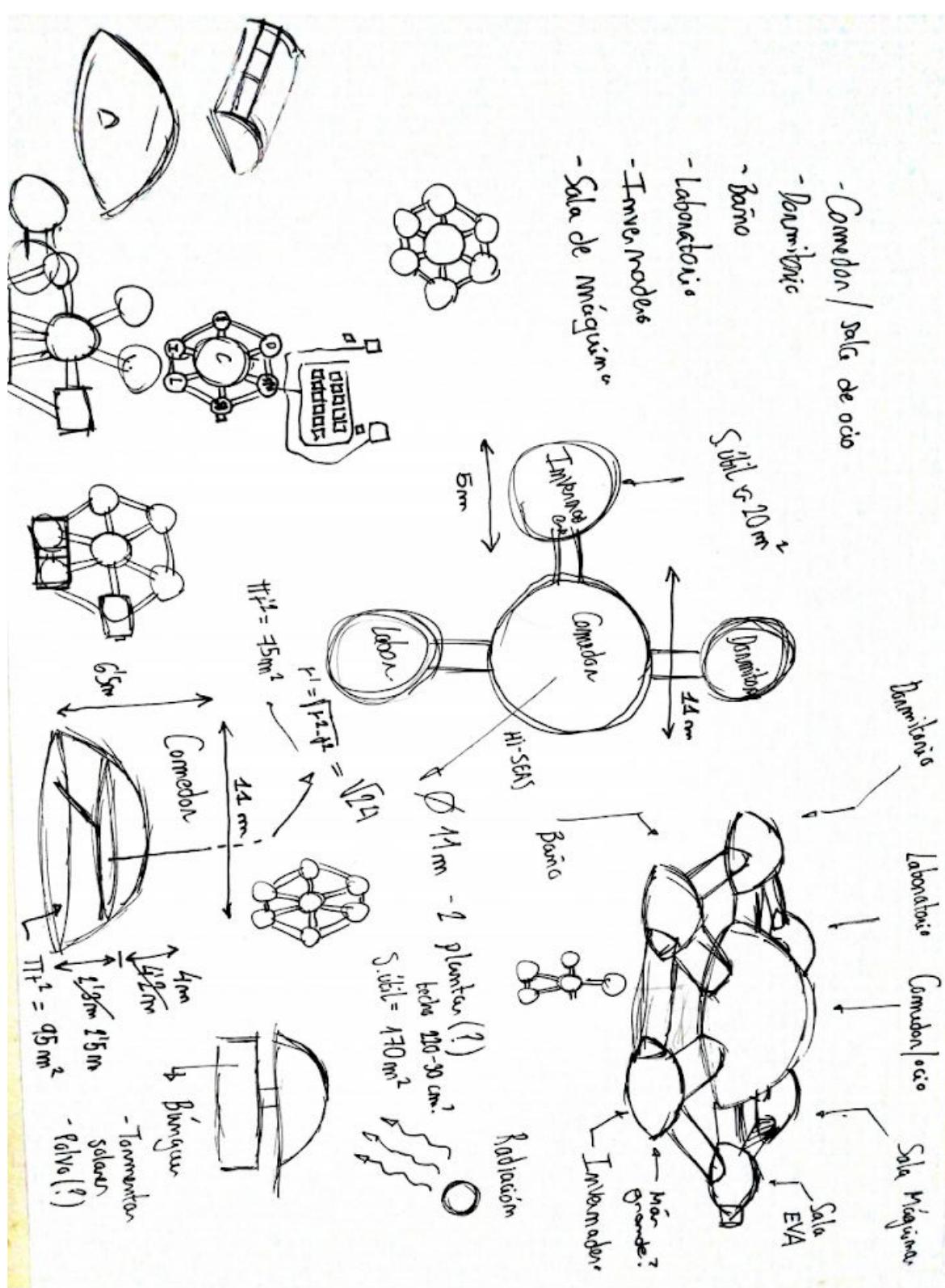
La parte práctica además, me ha supuesto un trabajo muy absorbente, al cual he dedicado mucho **tiempo** y esfuerzo y con el que aprendido nuevos conceptos e ideas muy útiles. En conclusión, este trabajo condensa todo un año de trabajo volcado en lo que más me gusta, y en el cual he aprendido y mejorado **habilidades** que me servirán en el futuro.

9. Anexos



⁸²Foto 90: Mapa con los mejores puntos de aterrizaje sobre Marte

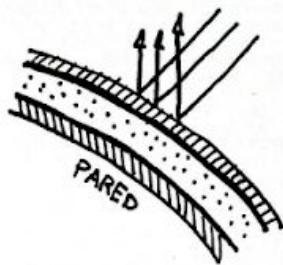
⁸²Fuente: Wieger Wamelink y Line Schug. Universidad de Wageningen



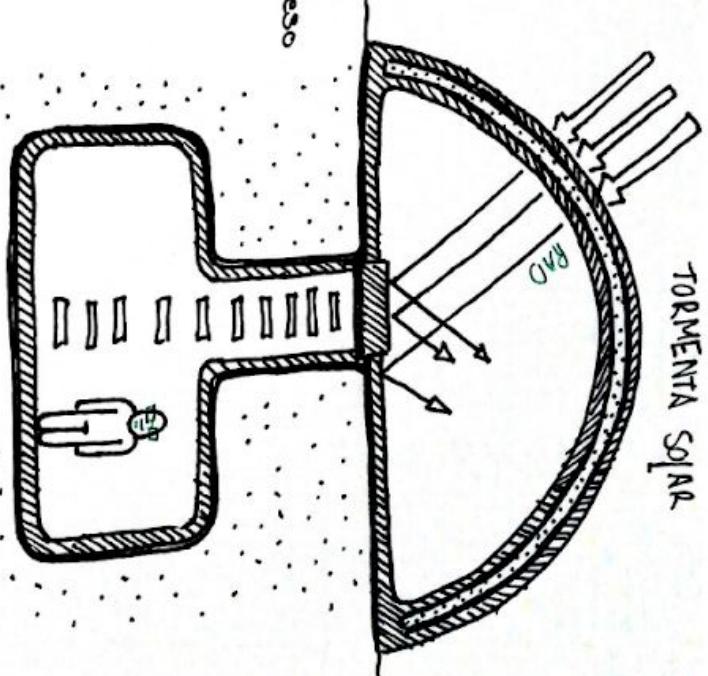
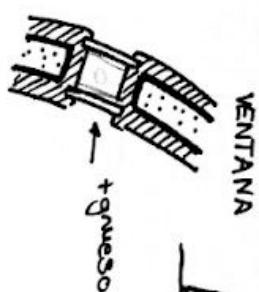


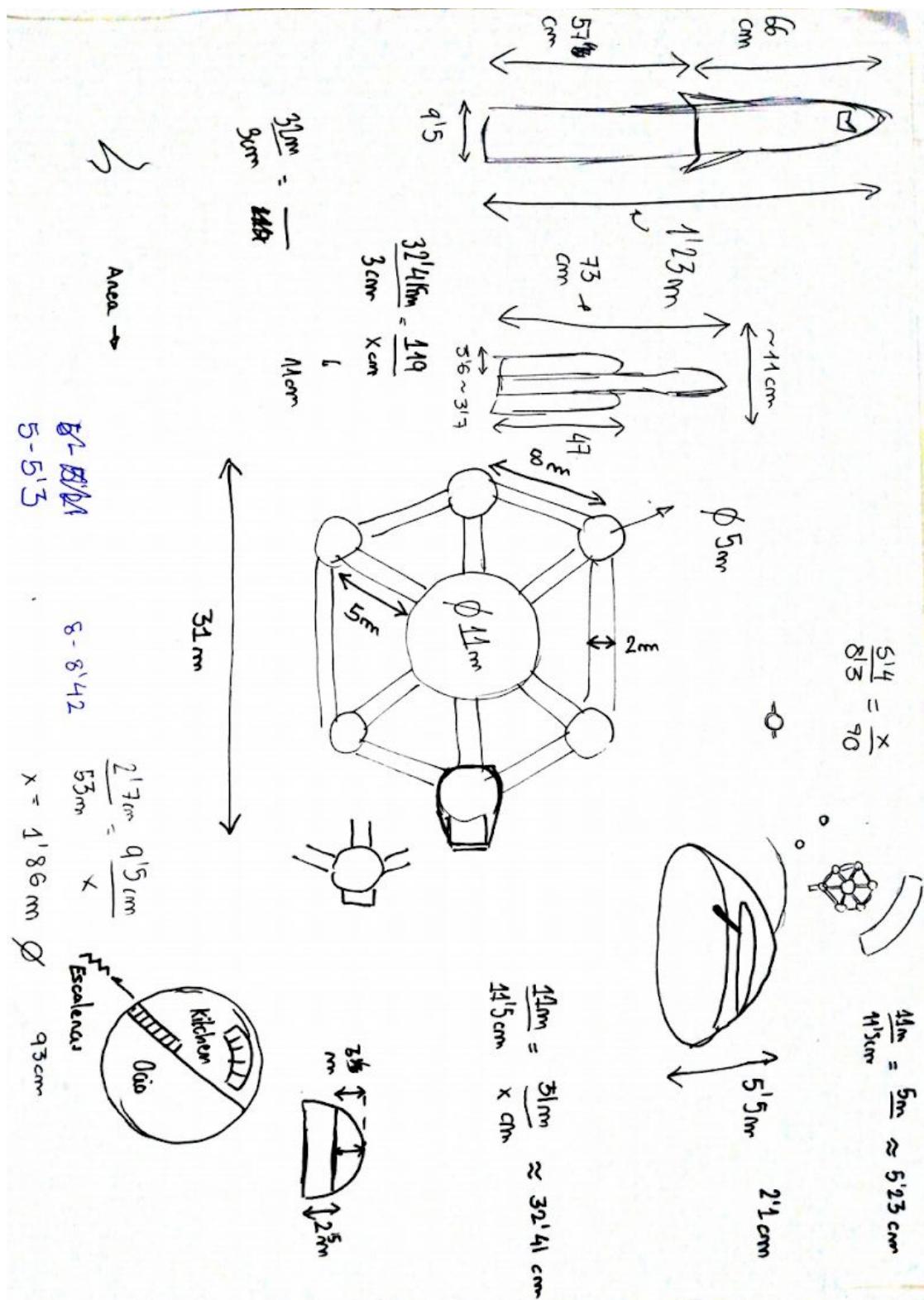
$$\frac{350}{400} = \frac{350}{11} \times \frac{x}{51}$$

Malla blindaje → → Duraluminio
Plexiglás → → Regalo



PROTECCIÓN Radiológica





⁸³Foto 91 - 93: Esbozos iniciales, diseño y diversos cálculos de la maqueta

⁸³Fuentes: Gonzalo Campos

10. Bibliografía

WEIR, Andy. *The Martian*. 7ª Edición. Barcelona. Nova, 2015. ISBN 978-84-666-5505-7

MADDEN, April (ed.). *All About Space Book of Mars*. 1ª Edición. Willenhall, West Wildlands Future PLC. 2019. ISBN 978-183850-018-4.

O'Callaghan, Jonny. "Simulacros a Marte". En *Cómo funciona*. Future PLC. TVAV Editorial. 2018, vol 74. ISSN 4094-0019

Marte, el próximo desafío espacial. National Geographic. RBA Revistas. 2019, vol. 1. ISSN 2604-6598

Webgrafía

Astronomy. *NASA's Mars Curiosity rover finds clues about mysterious Mount Sharp* [en línea]. : Chelsea Gohd, 1 Febrero del 2019 [última consulta: 3 Marzo 2019].

Disponible en:

<<http://www.astronomy.com/news/2019/02/nasas-mars-curiosity-rover-finds-clues-about-mysterious-mount-sharp>>.

Astronomy. *The greatest discoveries from NASA's Mars Opportunity Rover* [en línea]. : Korey Haynes, 13 Febrero del 2019 [última consulta: 3 Marzo 2019].

Disponible en:

<<http://www.astronomy.com/news/2019/02/the-greatest-discoveries-from-nasas-mars-opportunity-rover>>.

Astronomy. *Watch InSight's busy first months on Mars* [en línea]. : Korey Haynes, 6 Febrero del 2019 [última consulta: 7 Marzo 2019].

Disponible en:

<<http://www.astronomy.com/news/2019/02/watch-insights-busy-first-months-on-mars>>.

Astronomy. *The human body might survive a mission to Mars better than our minds* [en línea]. : Korey Haynes, 21 Febrero del 2019 [última consulta: 10 Marzo 2019].

Disponible en:

<<http://www.astronomy.com/news/2019/02/the-human-body-might-survive-a-mission-to-mars-better-than-our-minds>>.

Astronomy. *Earthbound NASA rover uncovers clues to finding life on Mars* [en línea]. : Korey Haynes, 28 Febrero del 2019 [última consulta: 10 Marzo 2019].

Disponible en:

<<http://www.astronomy.com/news/2019/02/earthbound-nasa-rover-uncovers-clues-to-finding-life-on-mars>>.

NASA. *The Slow Charm of Brain Terrain* [en línea]. : Tony Greicius, 7 Marzo del 2019 [última consulta: 12 Marzo 2019].

Disponible en:

<<https://www.nasa.gov/image-feature/jpl/the-slow-charm-of-brain-terrain>>.

Astronomy. *How plate tectonics could make rocky planets hospitable to life* [en línea]. : Ramin Skibba, 27 Febrero del 2019 [última consulta: 13 Marzo 2019].

Disponible en:

<<http://www.astronomy.com/news/2019/02/isns-how-plate-tectonics-could-make-rocky-planets-hospitable-to-life>>.

Grupo Amateur de Meteorología Espacial. *Cuál es la gravedad de Marte? ¿Qué efectos puede tener?* [en línea]. : Chelsea Gohd, 19 Diciembre del 2016 [última consulta: 17 Marzo 2019].

Disponible en:

<<http://blog.meteorologiaespacial.es/2016/12/19/la-gravedad-marte-efectos-puede/>>.

Astronomy. *Practice Mars landings are teaching researchers how to work in space* [en línea]. : Allyson Brady, 12 Marzo del 2019 [última consulta: 17 Marzo 2019].

Disponible en:

<<http://www.astronomy.com/news/2019/03/rehearsing-for-mars-landing>>.

Astronomy. *We'll need a whole new landing approach to put humans On Mars* [en línea]. : Korey Haynes, 13 Febrero del 2019 [última consulta: 19 Marzo 2019].

Disponible en:

<<http://www.astronomy.com/news/2019/02/well-need-a-whole-new-landing-approach-to-put-humans-on-mars>>.

La Vanguardia. *El Hubble obtiene sus mejores fotos de Marte y Saturno* [en línea]. : Madrid, 30 Julio del 2018 [última consulta: 26 Junio 2019].

Disponible en:

<<https://www.lavanguardia.com/ciencia/fisica-espacio/20180730/451167941079/hubble-mejores-fotografias-marte-saturno-tierra-sol.html>>.

Wikipedia. *Viaje Tripulado a Marte* [en línea]. : Wikipedia.es, 22 Julio 2007, 31 Agosto del 2019 [última consulta: 1 Julio 2019].

Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Viaje_tripulado_a_Marte>.

AstroAficion. *Oposición Marte 2018: Guía de observación* [en línea]. : Roberto Bravo, 16 Julio del 2018 [última consulta: 1 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://astroaficion.com/2018/07/16/oposicion-marte-2018-guia-observacion/>>.

From Stargazers to Starships. *Flight to Mars: How Long? Along what Path?* [en línea]. : David P. Stern, 12 Diciembre del 2004 [última consulta: 2 Julio 2019].

Disponible en: <<http://www.phy6.org/stargaze/Smars1.htm>>.

From Stargazers to Starships. *Flight to Mars: Calculations* [en línea]. : David P. Stern, 24 Marzo del 2006 [última consulta: 2 Julio 2019].

Disponible en: <<http://www.phy6.org/stargaze/Smars2.htm>>.

From Stargazers to Starships. *Flight to Mars: The Return Trip* [en línea]. : David P. Stern, 24 Marzo del 2006 [última consulta: 2 Julio 2019].

Disponible en: <<http://www.phy6.org/stargaze/Smars3.htm>>.

Quora. *¿Cuánto tardará en llegar el Falcon Heavy a Marte?* [en línea]. : Erick Galindo, 7 Febrero del 2018 [última consulta: 2 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://es.quora.com/Cu%C3%A1nto-tardar%C3%A1-en-llegar-el-Falcon-Heavy-a-Marte>>.

NASA Ciencia Beta. *Destilando agua... en Marte* [en línea]. : James Garvin, 9 Agosto del 2002 [última consulta: 5 Julio 2019].

Disponible en:

<https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2002/09aug_marstale>.

El País. *¿Dónde podemos buscar más agua en Marte?* [en línea]. : Alberto González Fairén, 28 Julio del 2018 [última consulta: 5 Julio 2019].

Disponible en:

<https://elpais.com/elpais/2018/07/26/ciencia/1532588302_049779.html>

GeoAstro. *Opposition Loops of Mars* [en línea]. : Jürgen Giesen, 21 Mayo del 2009 [última consulta: 11 Julio 2019].

Disponible en: <<http://www.geoastro.de/mars/loop/index.html>>.

Khan Academy. *Distance between Earth and Mars* [en línea]. : Peter Collingridge, 28 Septiembre del 2013 [última consulta: 11 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.khanacademy.org/partner-content/nasa/searchingforlife/exploring-mars-ancient/pi/distance-between-earth-and-mars>>.

John D. Cook Consulting. *Distance to Mars: Simplified calculation* [en línea].

: John D. Cook, 24 Octubre del 2015 [última consulta: 5 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.johndcook.com/blog/2015/10/24/distance-to-mars>>.

Cuando Pasa. *Acercamiento de Marte a la Tierra - Año 2020* [en línea]. :

Elephant57, 24 Octubre del 2015 [última consulta: 11 Julio 2019].

Disponible en: <<https://www.cuandopasa.com/index.php?v=v72661e>>.

Diario Córdoba. *Marte y la Tierra alcanzan su máxima cercanía* [en línea]. : Antonio Madridejos Barcelona, 24 Agosto del 2003 [última consulta: 11 Julio 2019].

Disponible en:

<https://www.diariocordoba.com/noticias/sociedad/marte-tierra-alcanzan-maxima-cercania_75364.html>.

Muy Interesante. *Marte, en su punto más cercano a la Tierra en 15 años* [en línea]. : Sarah Romero, 28 Junio del 2018 [última consulta: 11 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/marte-en-su-punto-mas-ercano-a-la-tierra-en-15-anos-651532505916>>.

Youtube. *Así se construirá la primera colonia en Marte* [en línea]. :

ACCIONA, 3 Enero del 2018 [última consulta: 17 Julio 2019].

Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=mXshZx5LGKU>>.

ABC Ciencia. *Así será la primera colonia humana en Marte* [en línea]. : Redacción, Sevilla, 4 Septiembre del 2018 [última consulta: 17 Julio 2019]. Disponible en:
<https://www.abc.es/ciencia/abci-sera-primeras-colonia-humana-marte-201809041057_video.html>.

Muy Interesante. *Descubren agua helada cerca del ecuador de Marte* [en línea]. : Laura Marcos, 28 Junio del 2017 [Última consulta: 18 Julio 2019]. Disponible en:
<<https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/descubren-agua-helada-cerca-del-ecuador-de-marte-401502966906>>.

Youtuber. *Cómo terraformar Marte* [en línea]. : CdeCiencia, 7 Enero del 2016 [Última consulta: 18 Julio 2019]. Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=suxEEEnPIPO8>>.

Wikipedia. *Presencia de agua en Marte* [en línea]. : Rastrojo, 29 Septiembre del 2015 [última consulta: 18 Julio 2019]. Disponible en:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Presencia_de_agua_en_Marte#/media/Archivo:Water_equivalent_hydrogen_abundance_in_the_lower_latitudes_of_Mars_01.jpg>.

NASA Mars Exploration Program. *The Red Planet* [en línea]. : NASA and JPL, [última consulta: 18 Julio 2019]. Disponible en: <https://mars.nasa.gov/#red_planet>.

NASA. *Mars Trek* [en línea]. : JPL [última consulta: 21 Julio 2019]. Disponible en:
<<https://trek.nasa.gov/mars/#v=0.1&x=77.45855809146215&y=18.449226368762467&z=12&p=urn%3Aogc%3Adef%3Acrs%3AEPSG%3A%3A104905&d=>>.

Gazetteer of Planetary Nomenclature. *Jezero* [en línea]. : USGS, [última consulta: 21 Julio 2019].

Disponible en: <<https://planetarynames.wr.usgs.gov/Feature/14300>>.

Quo. *¿CUÁL ES EL MAYOR DESAFÍO PARA EXPLORAR MARTE?* [en línea]. : Juan Scaliter, 6 Marzo del 2019 [última consulta: 22 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.quo.es/ciencia/a26729354/mayor-desafio-explorar-marte/>>.

Gizmodo. *Por qué sigue siendo tan difícil aterrizar en Marte* [en línea]. : Julio Cerezo, 12 Abril del 2018 [última consulta: 22 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://es.gizmodo.com/por-que-sigue-siendo-tan-dificil-aterrizar-en-marte-1830850287>>.

Xataka. *Los astronautas de la NASA que quieran viajar a Marte tendrán que vivir en la Luna durante un año* [en línea]. : Raúl Álvarez, 24 Mayo del 2017 [última consulta: 22 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.xataka.com/espacio/los-astronautas-de-la-nasa-que-quieran-viajar-a-marte-tendran-que-vivir-en-la-luna-durante-un-ano>>.

Granma. *¿Es posible generar energía en Marte?* [en línea]. : Prensa Latina (PL), 7 Abril del 2015 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<<http://www.granma.cu/ciencia/2015-04-07/es-posible-generar-energia-en-marte>>.

Noticias de la Ciencia y la Tecnología. *Fuente inesperada de energía en Marte* [en línea]. : NCYT, 7 Abril del 2015 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://noticiasdelaciencia.com/art/13485/fuente-inesperada-de-energia-en-marte>>.

Tendencias 21. *Obtener energía del dióxido de carbono para colonizar Marte* [en línea]. : Nature Communications, 7 Abril del 2015 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<https://www.tendencias21.net/Obtener-energia-del-dioxido-de-carbono-para-colonizar-Marte_a39893.html>.

Blog Canaribat. *Nueva fuente de energía en Marte* [en línea]. : Canaribat, 7 Abril del 2015 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<<http://blogcanaribat.es/nueva-fuente-de-energia-en-marte/>>.

Siemens. *La electricidad llega a Marte* [en línea]. : Ciudades del Futuro, 2 Agosto del 2017 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://ciudadesdelfuturo.es/la-electricidad-llega-marte.php>>.

El Financiero. *Una idea de energía para Marte brindará electricidad a los centros de datos* [en línea]. : Diane Cardwell, 8 Diciembre del 2017 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.thefinancierocr.com/desde-nueva-york/una-idea-de-energia-para-marte-brindara/6OLFLTHPBVAFBGMUHTJXAAA7SU/story/>>.

National Geographic. *¿Cómo colonizaremos Marte?* [en línea]. : Joel Achenbach, 11 Noviembre del 2016 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/como-colonizaremos-marte_10851>.

Foro Nuclear. *Mini centrales nucleares en Marte* [en línea]. : World Nuclear News, 11 Mayo del 2018 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/123188-mini-central-es-nucleares-en-marte>>.

Europa Press. *El aterrizador InSight ya produce su energía en Marte. ¿Y ahora, qué? [en línea].* : Madrid, 27 Noviembre del 2018 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.europapress.es/ciencia/misiones-espaciales/noticia-terrizador-insight-ya-produce-energia-marte-ahora-20181127102844.html>>.

Blogthinkbig.com. *La NASA prueba con éxito el Kilopower, un reactor nuclear para crear colonias en Marte [en línea].* : Diego de la Torre Poto Galán, 9 Mayo del 2018 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en: <<https://blogthinkbig.com/nasa-kilopower-energia-marte>>.

Muy Interesante. *Tres lugares para aterrizar en Marte [en línea].* : Pablo Colado [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/tres-lugares-para-aterrizar-en-marte-421487064849>>.

Microsiervos. *Un mapa que identifica cuáles son los mejores sitios para establecerse en Marte [en línea].* : Nacho Palou, 6 Abril del 2018 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.microsiervos.com/archivo/ciencia/mapa-identifica-mejores-sitios-establecerse-marte.html>>.

Hipertextual. *Una nueva fuente de energía podría ayudar a colonizar Marte [en línea].* : Santiago Campillo, 6 Marzo del 2015 [última consulta: 25 Julio 2019].

Disponible en: <<https://hipertextual.com/2015/03/motor-leidenfrost>>.

ProyectoFSE. *¿Qué tipo de energía usará la primera colonia humana en Marte? [en línea].* : MIT, 15 Diciembre del 2017[última consulta: 30 Julio 2019].

Disponible en:

<<http://www.proyectorfse.mx/2017/12/15/energia-colonia-humana-marte>>.

Misterios Ocultos. *Descubren enormes yacimientos de Hidrógeno en Marte* [en línea]. : Mayra Berenice [última consulta: 30 Julio 2019].

Disponible en:

<<https://www.misteriosocultos.com/descubren-enormes-yacimientos-de-hidrogeno-en-marte/>>.

Quo. *Comer en Marte* [en línea]. : Redacción QUO, 23 Mayo del 2011 [Última consulta: 4 Agosto 2019].

Disponible en: <<https://www.quo.es/salud/a21484/comer-en-marte/>>.

Culinary Interaction. *Universitarios investigan cómo será la comida en Marte* [en línea]. : Redacción, 27 Febrero del 2018 [última consulta: 4 Agosto 2019].

Disponible en:

<<http://culinaryinteraction.com/es/noticias/universitarios-investigan-como-sera-la-comida-en-marte/>>.

Vix. *Comida para Marte: impresiones 3D y pizza* [en línea]. : Lucia Vázquez, 6 Mayo del 2015 [última consulta: 4 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4397/comida-para-marte-impresiones-3d-y-pizza>>.

Teinteresa.es. *En Marte se podrá vivir y cultivar los propios alimentos* [en línea]. : T.I, 22 Junio del 2012 [última consulta: 4 Agosto 2019].

Disponible en:

<http://www.teinteresa.es/ciencia/Marte-vivir-cultivar-propios-alimentos_0_723528306.html>.

National Geographic. *Verduras en Marte: cada vez más cerca de la comida marciana* [en línea]. : Redacción, 11 Julio del 2016 [última consulta: 4 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.nationalgeographic.es/espacio/verduras-en-marte-cada-vez-mas-cerca-de-la-comida-marciana>>.

Muy Interesante. *¿Agricultura en Marte?* [en línea]. : España Mohar, 30

Mayo del 2018 [última consulta: 5 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.muyinteresante.com.mx/ciencia-y-tecnologia/espacio/marte-verduras-cosecha/>>.

Gizmodo. *Un botánico de la NASA nos explica qué necesitamos para cultivar en Marte, como en The Martian* [en línea]. : Ria Misra, 10 Octubre del 2015 [última consulta: 5 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://es.gizmodo.com/un-botanico-de-la-nasa-nos-explica-que-necesitamos-para-1735835632>>.

BioEconomía. *La NASA trabaja en un invernadero espacial para el cultivo sostenible en Marte y en la Luna* [en línea]. : Redacción, 8 Febrero del 2018 [última consulta: 5 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.bioeconomia.com.ar/2018/02/08/la-nasa-trabaja-invernadero-espacial-cultivo-sostenible-marte-la-luna/>>.

Xataka. *Así es MOXIE, el dispositivo de la NASA para fabricar oxígeno en Marte* [en línea]. : Javier Jiménez, 24 Agosto del 2017 [última consulta: 5 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.xataka.com/espacio/asi-es-moxie-el-dispositivo-de-la-nasa-para-fabricar-oxigeno-en-marte>>.

Emol Tecnología. *Galería: Estos son los tres diseños finalistas para las colonias en Marte de la NASA* [en línea]. : Camila Díaz S., 3 Abril del 2019 [última consulta: 10 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.emol.com/noticias/Tecnologia/2019/04/03/943364/Galeria-Estos-son-los-tres-disenos-finalistas-para-las-colonias-en-Marte-de-la-NASA.html>>.

Gizmodo. *El arquitecto Norman Foster diseña una detallada propuesta para una base en Marte [en línea].* : Carlos Zahumenszky, 25 Septiembre del 2015 [última consulta: 26 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://es.gizmodo.com/esta-es-la-ingeniosa-propuesta-del-arquitecto-norman-fo-1732973986>>.

Computer Hoy. *Así serán las casas impresas en 3D que la NASA quiere construir en Marte [en línea].* : Alejandro Alcolea Huertos, 2 Abril del 2019 [última consulta: 26 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/seran-casas-impresas-3d-na-sa-quiere-construir-marte-398423>>.

Xataka. *La NASA tiene deberes: crear un módulo habitacional para Marte para 2018 [en línea].* : Yúbal FM, 30 Diciembre del 2015 [última consulta: 26 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.xataka.com/espacio/la-nasa-tiene-deberes-crear-un-modulo-habitacional>>.

Infobae. *Los 5 modelos de casas en Marte que está evaluando construir la NASA [en línea].* : Víctor Ingrassia, 2 Agosto del 2018 [última consulta: 26 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.infobae.com/tendencias/innovacion/2018/08/02/los-5-modelos-de-casas-en-marte-que-esta-evaluando-construir-la-nasa/>>.

El Comercio. *Científicos buscan materiales de construcción para Marte [en línea].* : Agencia DPM, 27 Abril del 2017 [última consulta: 28 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.elcomercio.com/tendencias/materiales-construcion-vivienda-s-marte-ciencia.html>>.

NASA. *How NASA Will Protect Astronauts From Space Radiation at the Moon* [en línea]. : NASA, 7 Agosto del 2019 [última consulta: 28 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/how-nasa-protects-astronauts-from-space-radiation-at-moon-mars-solar-cosmic-rays>>.

TeleSur HD. *La NASA crea un equipo para fabricar oxígeno en Marte* [en línea]. : Redacción, 29 Agosto del 2017 [última consulta: 31 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.telesurtv.net/news/La-NASA-crea-un-equipo-para-fabricar-oxigeno-en-Marte-20170829-0020.html>>.

El País. *Marte puede tener oxígeno suficiente para sustentar microbios y esponjas* [en línea]. : Nuño Domínguez, 22 Octubre del 2018 [última consulta: 31 Agosto 2019].

Disponible en:

<https://elpais.com/elpais/2018/10/22/ciencia/1540220139_271022.html>.

ABC. *Marte esconde enormes reservas de agua helada bajo la superficie* [en línea]. : Gonzalo López Sánchez, 12 Enero del 2018 [última consulta: 31 Agosto 2019].

Disponible en:

<https://www.abc.es/ciencia/abci-marte-esconde-capa-hielo-mas-100-metros-grosor-cerca-superficie-20180112025_noticia.html>.

elPeriódico. Colonizar *Marte significa contaminar Marte* [en línea]. : David Weintraub, 27 Noviembre del 2018 [última consulta: 31 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.elperiodico.com/es/the-conversation/20181127/colonizar-marte-significa-contaminar-marte-7170630>>.

ABC. *Basura terrestre en Marte* [en línea]. : Alberto Álvarez-Perea, 24 Julio del 2007 [última consulta: 31 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.xatakaciencia.com/astronomia/basura-terrestre-en-marte>>.

Ambientum. *Las graves consecuencias de vivir en Marte* [en línea]. : ABC, 26 Diciembre del 2018 [última consulta: 31 Agosto 2019].

Disponible en:

<<https://www.ambientum.com/ambientum/ciencia/graves-consecuencias-vivir-marte.asp>>.

Valencia Plaza. *Y ahora... ia contaminar Marte!* [en línea]. : Redacción Madrid, 20 Mayo del 2014 [Última consulta: 31 Agosto 2019].

Disponible en:

<<http://epoca1.valenciaplaza.com/ver/131492/y-ahora----%A1a-contaminar-marte.html>>.

NASA. *When Biospheres Collide: A History of NASA's Planetary Protection Programs* [en línea]. : NASA, 31 Mayo del 2012 [última consulta: 1 Septiembre 2019].

Disponible en:

<https://www.nasa.gov/connect/ebooks/when_biospheres_collide_detail.html>.

Antena 3. *La NASA encuentra su propia "basura" en Marte* [en línea]. : Redacción, 9 Febrero del 2012 [Última consulta: 2 Septiembre 2019].

Disponible en:

<https://www.antena3.com/noticias/sociedad/nasa-encuentra-propia-basura-en-marte_2012020957472ff24beb287180b9b890.html>.

Horto Info. *La NASA quiere construir invernaderos en Marte* [en línea]. : Horto Info, 30 Septiembre del 2015 [Última consulta: 2 Septiembre 2019].

Disponible en:

<<http://www.hortoinfo.es/index.php/noticias/3621-residuos-pim-jud-160614>>.

ProyectoFSE. *¿Es posible captar energía solar desde Marte?* [en línea]. : Breves Divulgación, 9 Febrero del 2012 [última consulta: 4 Septiembre 2019].

Disponible en:

<<https://www.proyectoFSE.mx/2016/07/15/posible-captar-energia-solar-desde-marte/>>.

El Confidencial. *Energía, agua, oxígeno... ¿Qué hace falta para que haya vida en Marte?* [en línea]. : Rocío P. Benavente, 29 Septiembre del 2015 [última consulta: 4 Septiembre 2019].

Disponible en:

<https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-09-29/energia-agua-oxigeno-que-haria-falta-para-que-hubiese-vida-en-marte_1040853/>.

Zona Catastrófica. *Basura Marciana* [en línea]. : Peo Mateo, 22 Noviembre del 2012 [última consulta: 5 Septiembre 2019].

Disponible en:

<<http://pepomateo.blogspot.com/2012/11/basura-marciana.html>>.

Canarias7. *El astromóvil afina su autonomía en el Sáhara para futuras misiones en Marte* [en línea]. : Mohamed Siali y Javier Otazu, 4 Diciembre del 2018 [última consulta: 7 Septiembre 2019].

Disponible en:

<<https://www.canarias7.es/ciencia-tecnologia/investigacion/el-astromovil-afina-su-autonomia-en-el-sahara-para-futuras-misiones-en-marte-AX6077705>>.

Wikipedia. *Vehículos tripulados en Marte* [en línea]. : Lobillo, 17 de Septiembre de 2017, 10 Julio del 2019 [última consulta: 7 Septiembre 2019].

Disponible en:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculos_tripulados_en_Marte>.

Canarias7. *How NASA Will Protect Astronauts From Space Radiation at the Moon* [en línea]. : Lina Tran, 7 Agosto del 2019 [última consulta: 7 Septiembre 2019].

Disponible en:

<<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/how-nasa-protects-astronauts-from-space-radiation-at-moon-mars-solar-cosmic-rays>>.

Independent. *NASA unveils six-wheeled Mars rover complete with full laboratory and life support systems* [en línea]. : Jon Sharman, 10 Junio del 2017 [última consulta: 7 Septiembre 2019].

Disponible en:

<<https://www.independent.co.uk/news/world/americas/nasa-mars-rover-concept-six-wheels-full-laboratory-life-support-manned-mission-planet-space-a7783351.html>>.