

MARTE

LA PRÓXIMA FRONTERA

JOSÉ MARÍA MAZA SANCHO

PREMIO NACIONAL DE CIENCIAS EXACTAS (1999)

EL PRIMER *BESTSELLER* CIENTÍFICO CHILENO
CON MÁS DE 30.000 EJEMPLARES VENDIDOS

 Planeta

A false-color topographic map of Mars. The map uses a color scale where blue and cyan represent lower elevations, green and yellow represent intermediate elevations, and red and orange represent higher elevations. A prominent feature is the Tharsis volcanic plateau, shown in red and orange, which runs horizontally across the lower-left portion of the image. To its right, the vast lowlands of the northern hemisphere are shown in blue and cyan. The southern hemisphere is predominantly green and yellow, indicating a higher average elevation. Numerous impact craters of various sizes are scattered across the surface, particularly in the southern hemisphere. The text "MARTE: LA PRÓXIMA FRONTERA" is centered in the middle of the map.

**MARTE:
LA PRÓXIMA FRONTERA**

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso escrito del editor.
Todos los derechos reservados.
© 2018, José María Maza Sancho

Derechos exclusivos de edición
© 2018, Editorial Planeta Chilena S.A.
Avda. Andrés Bello 2115, 8º piso, Providencia, Santiago de Chile

Diseño gráfico: Ian Campbell

1ª edición: junio de 2018
ISBN Edición Impresa: 978-956-360-477-1
ISBN Edición Epub: 978-956-360-479-5

Diagramación digital: ebooks Patagonia
www.ebookspatagonia.com
info@ebookspatagonia.com

JOSÉ MARÍA MAZA SANCHO

MARTE: LA PRÓXIMA FRONTERA

Departamento de Astronomía, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Universidad de Chile, Centro de Astrofísica y Tecnologías Afines,

CATA, Conicyt

 **Planeta**

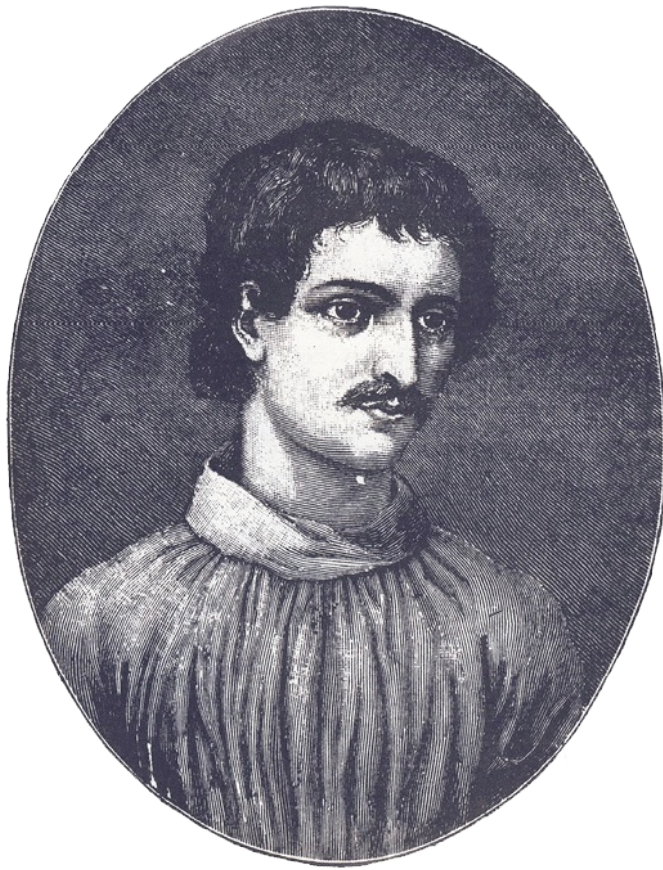
1. PRIMEROS FILÓSOFO

La idea de la pluralidad de los mundos habitados tiene ya una larga historia. Muchos pueblos se han preguntado, mirando el cosmos, si será la Tierra el único lugar con vida de todo el universo o si, por el contrario, seremos una isla en un enorme archipiélago de lugares habitados en el cosmos. Antes de Copérnico este tema difícilmente podía ser concebido, pues tanto la Luna como los planetas eran totalmente distintos a la Tierra y el Sol. El gran Aristóteles lo enseñó así, y por mil quinientos años la visión del estagirita impregnó la sabiduría occidental cristiana. El cielo, a partir de la Luna, estaba hecho de una quinta esencia que era perenne, perfecta, divina. Sin embargo, las cosas cambiaron a partir de 1543, cuando Nicolás Copérnico publicó su gran tratado *Acerca de las revoluciones de las esferas celestes*. En esta obra se plantea que el centro del universo es el Sol y que nuestra Tierra es tan solo un planeta más orbitándolo. Si el Sol es el centro de todo y Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter y Saturno son pequeños cuerpos que giran a su alrededor, el cosmos renacentista se expandiría enormemente y es posible empezar a pensar que el Sol quizás sea solo una estrella más en el universo. En primer lugar, la Tierra obtendría cinco compañeros de ruta: si hay vida en la Tierra, ¿por qué no podría haberla en alguno de los otros planetas?

Un gran argumento en contra de la idea heliocéntrica era que las estrellas fijas deberían cambiar ligeramente de posición en el cielo a lo largo del año por el cambio de posición de la Tierra; mientras más cercanas, mayor debería ser dicho movimiento (paralaje). La respuesta de Copérnico fue plantear que las estrellas estaban tan, pero tan lejos, que ese movimiento simplemente no era detectable; existía, pero no se podía medir. Copérnico nos puso a las estrellas fijas a lo menos 2.000 veces más lejos que el Sol. Como la luz se diluye con el inverso del cuadrado de la distancia, si al Sol lo pusiésemos 2.000 veces más lejos, lo veríamos 4.000.000 de veces menos luminoso que ahora. Es muy difícil comparar la luz que se recibe del Sol con la que nos llega de las estrellas, pero, quizás, estas sean 4.000.000 de veces menos brillantes.

Así, lentamente surge la idea de que las estrellas son soles y, por ende, el Sol es tan solo una estrella más entre las millones que pueblan el universo. Si hay planetas en torno al Sol, también podría haberlos en

torno a las estrellas y existir, en alguno de ellos, vida como en la Tierra. Primero Thomas Digges en Inglaterra y posteriormente Giordano Bruno en Italia trabajan sobre este argumento. Thomas Digges destruye la, hasta esa fecha, sacrosanta idea de “la esfera de las estrellas fijas”. Como en el modelo de Ptolomeo, el cielo gira en torno a la Tierra durante 24 horas, las estrellas estaban puestas sobre una esfera que las movía a todas. Cuando Copérnico dijo que es la Tierra la que gira en 24 horas y deja fijo al cielo, ya no fue necesario que todas las estrellas estuvieran sobre una esfera; además, podría haber algunas más cerca mientras que otras estarían muy distantes. Bruno fue tan lejos que dijo que las estrellas deberían tener planetas a su alrededor, al igual que el Sol, y en ellos podría haber vida similar a la de la Tierra. Bruno expuso sus ideas públicamente con insistencia y, finalmente, fue “llamado al orden” por la Inquisición, pues sus ideas iban en contra de las Sagradas Escrituras. En febrero de 1600, en el Campo de' Fiori, plaza pública de Roma, Giordano Bruno fue quemado vivo en la hoguera de la Inquisición. Se hizo un “simulacro de juicio” para justificar el proceso. San Roberto Belarmino carga con la responsabilidad histórica de haber sido el encargado de la Inquisición en Roma y culpable de la condena a Bruno. Triste fin para el primer gran impulsor de los mundos habitados: quemado en la hoguera con leña seca, para no correr el riesgo de que se intoxicara con el humo.



Giordano Bruno (1548-1600). Murió quemado vivo por la Inquisición, por sostener, entre otras cosas, que existían muchos seres en los planetas que giraban en torno a otras estrellas.

La idea de “seres de otros mundos” se mantuvo en los círculos intelectuales europeos, pero nadie quiso seguir el camino de Bruno y esas ideas no fueron expuestas públicamente hasta finales del siglo XVII, cuando dos intelectuales, un francés y un holandés, la presentaron nuevamente. Bernard Le Bovier de Fontenelle, intelectual y científico francés, que después pasó a ser secretario perpetuo de la Academia de Ciencias de Francia, publicó en 1686 un interesante libro titulado *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos*. En el libro, en una conversación con una curiosa y joven marquesa en una casa de campo expone la idea de que la Luna y los planetas están habitados por seres de diversas características que el autor no duda en aventurar. También elucubra acerca de los planetas que deben acompañar a las estrellas. Fontenelle tuvo el buen criterio de no poblar el Sol, pues creía imposible que alguien pudiese vivir en un ambiente tan hostil. El libro de Fontenelle, construido como un diálogo, tuvo gran aceptación en su tiempo y constituye una interesante lectura hasta nuestros días: un verdadero clásico de la divulgación científica.

Solo una década más tarde, el gran científico holandés Christiaan Huygens publicó un libro similar, al que tituló *Cosmotheoros*. En él, repasa las características de los planetas, el Sol y la Luna, y describe lo que imagina podría ser la vida en esos lugares. Como parte de su argumentación, Huygens compara la luz del Sol y la de las estrellas, llegando a la conclusión de que las estrellas deben estar a lo menos unas 27.000 veces más lejos que el Sol. Resulta notable la estimación del gran holandés, pues tuvo que transcurrir un siglo y medio para que un astrónomo lograra finalmente medir la distancia hasta una estrella. Pero Huygens se quedó corto en un factor de diez: la estrella más cercana está a 270.000 unidades astronómicas (la distancia Sol-Tierra). La luz que se recibe desde un objeto luminoso se hace más débil a medida que nos alejamos, de tal modo, al doble de distancia la vemos cuatro veces más débil; diez veces más lejos, cien veces más débil. Las estrellas, al estar tan distantes, son efectivamente tan luminosas como el Sol. Por lo tanto, Giordano Bruno tenía razón: las estrellas son soles y posiblemente en

torno de ellas hay un sinnúmero de planetas, quizás varios de ellos con alguna forma de vida. Durante los últimos años, el satélite Kepler ha permitido detectar más de 4.000 planetas extrasolares: exoplanetas. Algunos de ellos tienen características muy similares a la Tierra. Quizás en los años venideros se detecte en alguno de ellos una atmósfera compatible con la posible existencia de vida.



Christiaan Huygens (1629-1695)

Era un día más en la rutina semanal de comienzos de otoño. Para ser más precisos, la noche del martes 11 de abril en el Internado Nacional Barros Arana, INBA, donde me encontraba estudiando en Santiago, con tan solo trece años. Mis padres vivían en Parral, una ciudad a unos 340 km al sur de la capital. Desde pequeño había manifestado interés en ser ingeniero, y para ello debía aprender matemáticas al más alto nivel. Tenía más posibilidades de lograrlo en el INBA que en el liceo de Parral. Efectivamente, tuve allí grandes profesores de matemáticas, física y química que, al pasar los años, me ayudaron a entrar a la Universidad de Chile a estudiar Ingeniería. Esa noche del 11 de abril de 1961 a las 23:07 despegó desde un lejano e impronunciable lugar de la entonces Unión Soviética (hoy Rusia o más exactamente Kazajistán) una nave espacial que puso a un hombre en órbita alrededor de la Tierra. Nadie fue consciente de aquello en ese momento. Al día siguiente, quizás tuvimos a nuestro profesor de Castellano, de cuyo nombre no quiero acordarme, hablándonos de Jorge Manríquez y las *Coplas a la muerte de su padre*. Niños de trece, catorce o quince años éramos expuestos a los avatares de lo ocurrido en Castilla hacía ya cinco siglos, a las guerras que terminaron con Isabel I en el poder de Castilla y que, por matrimonio con Fernando de Aragón, finalmente unificaron la Península Ibérica al expulsar a los árabes del reino de Granada en 1492. Mientras nos hacían volver la mirada varios siglos atrás, nadie nos comentó que la noche previa a ese día 12 de abril de 1961 (para Chile) había ocurrido un hecho único: por primera vez un ser humano había salido al espacio y en 108 minutos había dado una vuelta completa a la Tierra, en tan solo una hora y cuarenta y ocho minutos.

La conquista del espacio o, mejor dicho, la conquista de la tecnología que posibilitaría la salida del hombre al espacio, se había iniciado algunos años antes. El 4 de octubre de 1957 el Sputnik 1 se había convertido en el primer satélite artificial de la Tierra. Hoy no parece gran cosa: miles de satélites cruzan el cielo cada día, docenas de satélites de telecomunicaciones nos conectan con el mundo. Sin embargo, todo empezó el 4 de octubre de 1957, cuando yo aún no completaba una

década de vida. Después siguió la perra Laika, más satélites, sobre todo estadounidenses, pero nunca un hombre a bordo.

Aquel 12 de abril de 1961 Yuri Gagarin salió de Baikonur en la nave Vostok 1, cruzó la parte norte de Asia, empezó a bajar hacia el sur y entró al océano Pacífico por el norte de Vladivostok. Cruzó la noche del Pacífico en diagonal, hasta pasar al sur de Punta Arenas, cerca de la península antártica. Enfiló hacia el norte por el océano Atlántico, cruzó África entrando por Angola y salió por Egipto. Atravesó el extremo oriental del Mediterráneo, Turquía y el mar Negro para terminar aterrizando unos 300 km al suroriente de Moscú. Esa epopeya de un joven ruso de veintisiete años rompió nuestra ligazón gravitacional al globo terráqueo; por primera vez en la historia del hombre alguien flotaba ingrávido en el espacio.

El 27 de marzo de 1968, mientras realizaba un vuelo de rutina con el instructor de vuelos Vladimir Seryogin en un avión MIG-15UTI, Gagarin sufrió un accidente que le costó la vida. Las causas nunca fueron aclaradas del todo, pero ese día había mal tiempo y tal parece ser que un avión Sukhoi 15 pasó muy cerca del avión de Gagarin y Seryogin, rompiendo la barrera del sonido a baja altura. Eso descontroló el MIG y produjo el accidente.

Gagarin era un hombre de baja estatura: medía 1,57 m. Esto trae a mi memoria las palabras de mi madre cuando de niño le decía que quería “ser grande”. Ella me respondía que era más importante “ser un gran hombre que un hombre grande”. Yo no entendía del todo la diferencia, pero ahora, hablando de Gagarin, comprendo lo que me quería decir: él fue un gran hombre. Desde una humilde familia rusa emprendió el vuelo para mostrarnos el camino del cosmos a todos los terrícolas. Pese a que vivió solo 34 años, su ejemplo vivirá para siempre en la historia de la humanidad. Dicen que fue elegido entre los candidatos a cosmonautas tanto por sus habilidades para pilotear como por su baja estatura (pues la nave era muy pequeña) y su amable sonrisa: los soviéticos estaban conscientes de que su hazaña sería motivo de muchas portadas en diarios y revistas alrededor del mundo. Sergei Korolev, el cerebro del programa espacial soviético, pensó incluso en el impacto de una bella sonrisa...

Gagarin no fue el primer soviético en subir al espacio, fue el primer ser humano en hacerlo, el primero de los nuestros; por ello merece el reconocimiento de todos.





Yuri Gagarin (1934-1968). El primer hombre en subir al espacio.

3. NEIL ARMSTRONG

El año 1961 fue el comienzo de una epopeya que culminó Neil Armstrong ocho años más tarde, cuando puso el pie sobre la superficie de la Luna. En el transcurso de los años sesenta pasaron cosas que cambiaron la vida del hombre para siempre. La ventaja inicial de la Unión Soviética con el Sputnik y el vuelo orbital de Gagarin motivó a los Estados Unidos, encabezados por el presidente John F. Kennedy, a invertir enormes cifras de dinero en desarrollar la tecnología del cohete Saturno V y de las naves Apolo. Estas inversiones significaron el desarrollo de nuevas empresas de tecnología, entre ellas Microsoft, Apple, Texas Instruments y HP. También nació Silicon Valley en California. La electrónica, por su parte, tuvo un vuelco espectacular. La tecnología de las válvulas de vacío que hicieron los radioreceptores de nuestros padres (mis padres) en los años cuarenta y cincuenta del siglo xx, dieron paso primero a los transistores y luego a los circuitos integrados. La electrónica perdió su avidez por la corriente eléctrica y fue posible “hacer lo mismo” consumiendo mucho menos y, con ello, generando mucho menos calor. Así, se pudieron construir circuitos mucho más complejos en espacios cada vez más reducidos. Se desarrollaron calculadoras electrónicas, computadores de mayor complejidad, sistemas de control digitales, sistemas fotosensibles de una y dos dimensiones, etcétera.

El 20 de julio de 1969 a las 23:00 en Chile, Neil Armstrong y Buzz Aldrin pisaron por primera vez la Luna, nuestro satélite natural. El ser humano no tan solo se desligaba de la gravedad terrestre, sino que experimentaba la de otro cuerpo celeste. Sintieron una fuerza seis veces más débil: una persona que pesaba 60 kg en la Tierra iba a pesar tan solo 10 kg en la Luna. Armstrong proclamó: “Un pequeño paso para el hombre, pero un gran salto para la humanidad”, y no se quedó corto en su afirmación. Ese hito iba a marcar un antes y un después. A la misión Apolo 11 la siguieron cinco que hicieron que otros diez astronautas de los Estados Unidos se pasearan por la Luna. Del Apolo 12 al 17 solo fracasó la Apolo 13. Una severa falla hizo necesario abortar la caminata lunar, afortunadamente, y, a pesar del susto, sus ocupantes fueron y volvieron a la Luna logrando regresar a la Tierra sin mayores consecuencias. Las naves Apolo 15, 16 y 17 llevaron vehículos para recorrer una zona de 10

km de radio. Recolectaron muestras de rocas lunares y viajaron al reino de Selene y de vuelta a Gea, la madre Tierra.



Tripulación del Apolo 11. De izquierda a derecha: comandante Neil Armstrong, piloto Michael Collins y piloto Edwin E. "Buzz" Aldrin. Collins permaneció en órbita lunar mientras Armstrong y Aldrin caminaban sobre la Luna.



Aldrin posa para Armstrong, que se ve reflejado en su visor.

¿Viajó el hombre a la Luna?

Muchas veces en charlas públicas de astronomía me han preguntado por la visita del hombre a la Luna. Una difundida versión de las teorías conspirativas postula que el hombre jamás ha viajado allí. Dentro de las teorías conspirativas cabe destacar otras tres: “La Tierra es plana” (y siempre nos han engañado al respecto); “La teoría de la evolución es falsa” (y por ello no debe enseñarse en los colegios) y “El Holocausto nazi nunca existió” (lo inventaron las potencias vencedoras en la Segunda Guerra Mundial). Solo me referiré a aquella idea de que el hombre nunca fue a la Luna. ¿Dónde se origina? La verdad es que no lo sé, pero la evidencia es abrumadora en favor de la veracidad de la historia. Algunos dicen que un indicio de montaje es que la bandera que clavó Neil Armstrong en suelo lunar “flameaba”. Esto probaría que “había aire” en el lugar, cosa que en la Luna es imposible. Sin embargo, sabemos que la bandera tenía un alambre en su parte superior para que colgara bien. Al clavarla, la estructura del mástil y el alambre osciló y, como no hay aire en la Luna, la bandera se movió por más tiempo que el que lo habría hecho en la Tierra. La oscilación no se disipaba por la falta de atmósfera; es decir, fue la misma falta de aire lo que “hizo” flamear la bandera.

Otro argumento en favor de la teoría conspirativa es que en las imágenes de los astronautas en la Luna se ve un cielo negro y sin estrellas. Pues bien, el rango dinámico de las cámaras era limitado en ese entonces y en la Luna existe tanta luz que las exposiciones estaban calculadas para destacar bien a los astronautas, por lo cual era imposible que salieran estrellas en las fotos (las estrellas son miles de veces más débiles que la luz ambiente en la Luna). Si todo hubiese sido un truco, un montaje, no habría habido problemas en inventar estrellas en un telón de fondo. Pero si el telón de fondo hubiese estado lleno de estrellas, hubiese sido una prueba inequívoca de que todo era falso. Y no hay estrellas de fondo.

Algunos videos de origen desconocido cuentan que el presidente Nixon habría pedido que se grabara en un estudio del cineasta Stanley Kubrick

—o en el desierto de Nevada— una simulación de la llegada a la Luna; una carta bajo la manga en caso de que la transmisión televisada hubiese tenido problemas. No se afirma que no hayan ido, tampoco que lo que se nos mostró aquel 21 de julio fuese una simulación y no la realidad. Solo se afirma que habría habido un plan “alternativo” por si fallaba la transmisión. Y eso, ¿qué prueba? También se dice que Nixon, en ese entonces el presidente de los Estados Unidos, habría grabado un mensaje para el pueblo estadounidense, comunicándole la tragedia del fallecimiento de los tres astronautas: Armstrong, Collins y Aldrin. Como no fallecieron, ese supuesto anuncio nunca fue emitido. ¿Se grabó, en verdad? No lo sé, pero es irrelevante. Neil Armstrong falleció en 2012, a los 82 años de edad; Buzz Aldrin y Michael Collins están aún vivos (2018).

Neil Armstrong y Edwin Aldrin dejaron en la Luna un dispositivo llamado *Passive Seismic Experiment Package*, diseñado para detectar movimientos sísmicos. En 2011 el instrumento detectó un temblor ocurrido a gran profundidad. El Apolo 11 también dejó unos retrorreflectores para reflejar señales láser enviadas desde la Tierra. Como la órbita lunar es elíptica, con una notoria excentricidad, la distancia a la Tierra varía desde casi 350.000 km hasta 405.000 km. Gracias a este dispositivo la distancia se puede medir con una precisión mayor a un centímetro, y se ha descubierto que la distancia aumenta en dos centímetros al año: la Luna se aleja de la Tierra debido a las mareas terrestres. Estas van frenando lentamente la rotación terrestre, lo que es compensado con un alejamiento de la Luna.

Con la nave Lunar Reconnaissance Orbiter, enviada por los Estados Unidos en 2009, se ha fotografiado la Luna entera con bastante resolución. En varias imágenes se pueden distinguir los lugares de alunizaje de las seis naves Apolo y la “basura” que dejaron sobre la superficie. Hay también en la Tierra 380 kg de rocas y material lunar que están en diversos laboratorios y museos del mundo. Han sido analizadas, y se ha podido demostrar que se trata de otro tipo de rocas, con otra composición química, y que han estado expuestas a condiciones ambientales que no se dan en la Tierra.

Otro “argumento” frecuente en favor de la teoría conspirativa es que la huella de la bota de Armstrong en la Luna no concuerda, pues allí el suelo es muy seco. No es así: el suelo lunar se parece mucho a la ceniza volcánica, casi con la textura del talco, y las botas dejaban una huella bien marcada en ella.

Por último, se argumenta que no se observa ningún cráter bajo el módulo lunar, y por la forma en que este descendió debería haber provocado uno. Eso no es correcto, pues el módulo lunar descendió a tan poca velocidad que los cohetes que lo frenaban tan solo levantaron un poco de polvo. Recordemos que la aceleración de gravedad en la Luna es solo un sexto de la aceleración de gravedad en la Tierra y, por ello, la caída hacia el suelo lunar es mucho más suave.

Estados Unidos gastó cientos de miles de millones de dólares anualmente, y en la NASA trabajaban más de 40.000 personas. No tiene sentido gastar tanto dinero (aproximadamente el 5% del presupuesto estatal) e involucrar tanta gente para armar un montaje, menos aun tomando en cuenta que después de 45 años del último Apolo en la Luna todavía nadie ha desenmascarado el timo.

El viaje a la Luna fue parte de la carrera espacial que disputaron los Estados Unidos y la Unión Soviética. Pese a la supremacía inicial soviética, el enorme apoyo a la NASA motivado por el presidente Kennedy para llevar un hombre a la Luna y traerlo sano y salvo de regreso antes de fines de los años sesenta del siglo xx, hizo que los estadounidenses llegaran primero. Los soviéticos abortaron su programa al fallar el vehículo que habría de llevarlos a la Luna, de modo que no pudieron competir con el Saturno V y el programa Apolo. Por razones de financiamiento, los soviéticos decidieron no ir a la Luna, pues era carísimo, y optaron por establecer una estación espacial, la Salyut. Los soviéticos (ahora rusos) jamás han negado la veracidad de los viajes de la serie Apolo ni los han atribuido a una invención de Hollywood. Pese a haber sido “derrotados” en la carrera espacial, nunca han negado la ida del hombre a la Luna.

Desgraciadamente, la comprensión lectora y, por extensión, la comprensión de una película o un video son básicas y pese a que las

“pruebas” de la falsedad del viaje son ilusorias, muchas personas siguen afirmando que fue Stanley Kubrick y no la NASA quien hizo que el hombre llegara a la Luna. Un amigo de mis tiempos escolares en el INBA me escribió un correo diciéndome que cómo era yo tan ingenuo de creer en el Apolo. Me mandó un link donde se podía ver un video (de más de una hora) con “la verdad” del asunto. El video es tremendamente divertido. Se ven personajes reales (Nixon, Kissinger, Rumsfeld, etcétera) hablando a la cámara de uno en uno: mientras uno dice “tenemos que tomar medidas”, el otro dice “porque esto es inaceptable”, y así se va “armando” un supuesto diálogo que a mí me recuerda a esos programas cómicos de hace veinte o treinta años, en los que se recortaban palabras y frases de distintos personajes públicos para armar una trama hilarante. Esa es una las “pruebas” de la falsedad de las misiones Apolo a la Luna.

Esto me lleva a otros mitos urbanos, como que las pirámides de Egipto fueron construidas por los extraterrestres. Hay gente que quiere negar la inteligencia de nuestros antepasados. El hombre moderno no es más inteligente que los antiguos egipcios o griegos. Hasta el día de hoy se estudia con profundo respeto a Pitágoras, Sócrates, Platón, Aristóteles o Arquímedes, que vivieron hace más de dos mil años. En Egipto se construyeron templos y grandes palacios, obras de gran belleza arquitectónica y de difícil ejecución. Los templos griegos están basados en sus antecesores egipcios. Roma imperial es una copia de Grecia y, hasta el día de hoy, muchas de las grandes construcciones de Washington, por ejemplo, son copias de templos griegos o romanos. Por ello, Egipto está en las bases de la arquitectura mundial. Las pirámides son obras conceptualmente mucho más sencillas; más que nada, requerían fuerza bruta para su ejecución, para amontonar los millones de piedras que las componen. Stonehenge, al suroeste de Inglaterra, si bien no alcanza la envergadura de una pirámide, contempla bloques de piedra de 15 o 20 toneladas que fueron transportados por más de 300 km. Aquí, más cerca, en Machu Picchu, la construcción involucró a miles y miles de artesanos de la piedra, por muchas décadas. El ser humano ha concebido hermosas y complejas obras, y no hay fundamento alguno para que el mérito sea atribuido a dioses u otros seres míticos, como supuestos extraterrestres.

Otra presencia frecuente en la prensa y en los medios son los ovnis o *ufo* (en inglés). Desgraciadamente, todo el gran edificio de la “ufología” se basa en luces que han sido vistas en el cielo y no hay nada más “sólido” que eso. De luces en el cielo a “superhumanos” de dos metros de estatura bajándose de un platillo volador, hay un salto enorme en la imaginación. Categóricamente, afirmo que no hay evidencia alguna de la existencia de platillos voladores o de humanoides. No son más que mitos, como los dioses griegos del mar (Poseidón) o del cielo (Zeus).

En relación con esto, otro de los asuntos más bizarros que podemos consignar es el de la Sociedad de la Tierra Plana (Flat Earth Society), que plantea, como dice su nombre, que la Tierra es plana. Pitágoras, en el siglo V a. C., enseñó que la Tierra es esférica; Aristóteles, en el siglo IV a. C., escribió claramente que la Tierra es esférica y dio todos los argumentos que lo llevaban a esa conclusión; incluso dio un valor para el diámetro terrestre que, si bien es un 40% mayor que el real, se le aproxima razonablemente. Durante el siglo III a. C., Eratóstenes, bibliotecario de la Biblioteca de Alejandría, midió el perímetro terrestre con un bello experimento que llevó a cabo entre las ciudades de Siena y Alejandría, y determinó el radio terrestre con gran precisión (el valor de Eratóstenes difiere del actual en menos de un 1%). Hoy, veintitrés siglos después de Eratóstenes, cinco siglos después de la circunnavegación del globo terrestre por Hernando de Magallanes y Juan Sebastián Elcano, nace una asociación que promueve la idea de que la Tierra es plana. El polo norte sería el centro de la Tierra y todos los continentes estarían desplegados en torno al polo en un disco plano. Esta bizarra visión tiene incluso una sucursal en Chile... es parte de la sociedad del desconocimiento.



Foto de la Tierra tomada desde la Luna por el Apolo 8. En esta imagen, la Tierra no parece ser plana, como declara la Flat Earth Society. Para los tierraplanistas estas fotos están alteradas por la NASA; todos los planetas y la Luna son esféricos, pero la Tierra es plana. Al menos así lo dicen.

4. LOS HITOS DEL PROYECTO APOLO

Las teorías conspirativas son un universo insondable que ha dado de comer y algo más a un buen número de charlatanes, por eso no debemos perder tiempo en buscar lógica ni coherencia a sus argumentos. Mejor volvamos a lo que verdaderamente ocurrió.

El presidente de los Estados Unidos, John F. Kennedy, ante el Congreso estadounidense el 25 de mayo de 1961 —un mes y medio después del vuelo orbital de Yuri Gagarin—, expresó: “I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before the decade is out, of landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth. No single space project in this period will be more impressive to mankind, o more important in the long-range exploration of space; and none will be so difficult or expensive to accomplish” (“Yo creo que esta nación debería comprometerse con la meta de, antes de que la década termine, aterrizar un hombre en la Luna y traerlo de vuelta sano y salvo a la Tierra. Ningún proyecto espacial en este período será más impresionante para la humanidad o más importante en el largo plazo de la exploración espacial; y ninguno será más difícil o más caro de conseguir”).

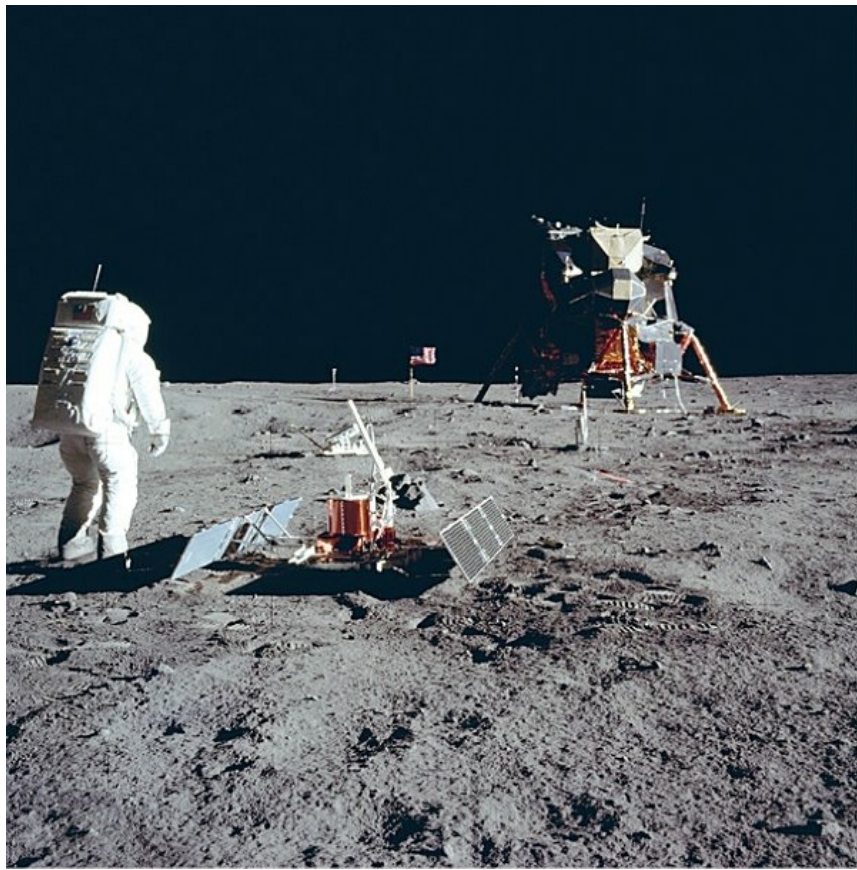
El 12 de septiembre del mismo año, el presidente Kennedy hizo un discurso en el cual reiteraba sus argumentos: “We choose to go to the Moon. We choose to go to the Moon in this decade and to do other things, not because they are easy, but because they are hard; because that goal will serve to organize and measure the best of our energies and skills; because that challenge is one that we are willing to accept, one we are unwilling to postpone, and one we intend to win...” (“Hemos elegido ir a la Luna. Hemos elegido ir a la Luna en esta década y hacer otras cosas, no porque sean fáciles, sino porque son muy difíciles; porque ese objetivo servirá para organizar y medir lo mejor de nuestras energías y habilidades; porque el desafío es uno que estamos dispuestos a aceptar, uno que no queremos posponer y uno que intentamos ganar...”). Las palabras del presidente Kennedy fueron inspiradoras para el pueblo estadounidense. El gobierno invirtió enormes sumas de dinero en la NASA buscando lograr el éxito del proyecto Apolo. Desgraciadamente, Kennedy no vivió para ver cumplida su promesa. El liderazgo del presidente Kennedy fue crucial para llevar a cabo esa epopeya.

Cronología de los hitos del proyecto Apolo:

Apolo 1. El proyecto Apolo se inauguró con una tragedia. El 21 de febrero de 1967, Virgil “Guss” Grisson, Edward H. White y Roger B. Chaffee murieron en un incendio en la cápsula Apolo durante un entrenamiento en Cabo Cañaveral.

Apolo 8. Los primeros astronautas en viajar a la Luna fueron los del Apolo 8. Entre el 21 y el 27 de diciembre de 1968, los astronautas Frank Norman, James Lovell y William Anders viajaron a la Luna y volvieron. Era la primera vez que el ser humano se desligaba de su planeta madre.

Apolo 11. Entre el 16 y el 24 de julio de 1969, los astronautas Neil Armstrong, Michael Collins y Buzz Aldrin viajaron a la Luna. Armstrong y Aldrin fueron los primeros seres humanos en pisar la Luna. Estuvieron en suelo lunar 2 horas y 31 minutos. Trajeron de regreso a la Tierra 21,55 kg de rocas lunares. Por primera vez seres humanos ponían un pie sobre un cuerpo celeste distinto de la Tierra.



Apolo 11. Aldrin junto al Conjunto del Experimento Sísmico Pasivo con la cápsula Eagle de fondo.

Apolo 12. Entre el 14 y el 24 de noviembre de 1969, los astronautas Charles “Pete” Conrad, Richard F. Gordon y Alan L. Bean viajaron a la Luna. Conrad y Bean descendieron a la superficie lunar. Estuvieron en suelo lunar 7 horas y 45 minutos. Trajeron 34,3 kg de rocas. Alan Bean falleció recientemente, el 26 de mayo de 2018.

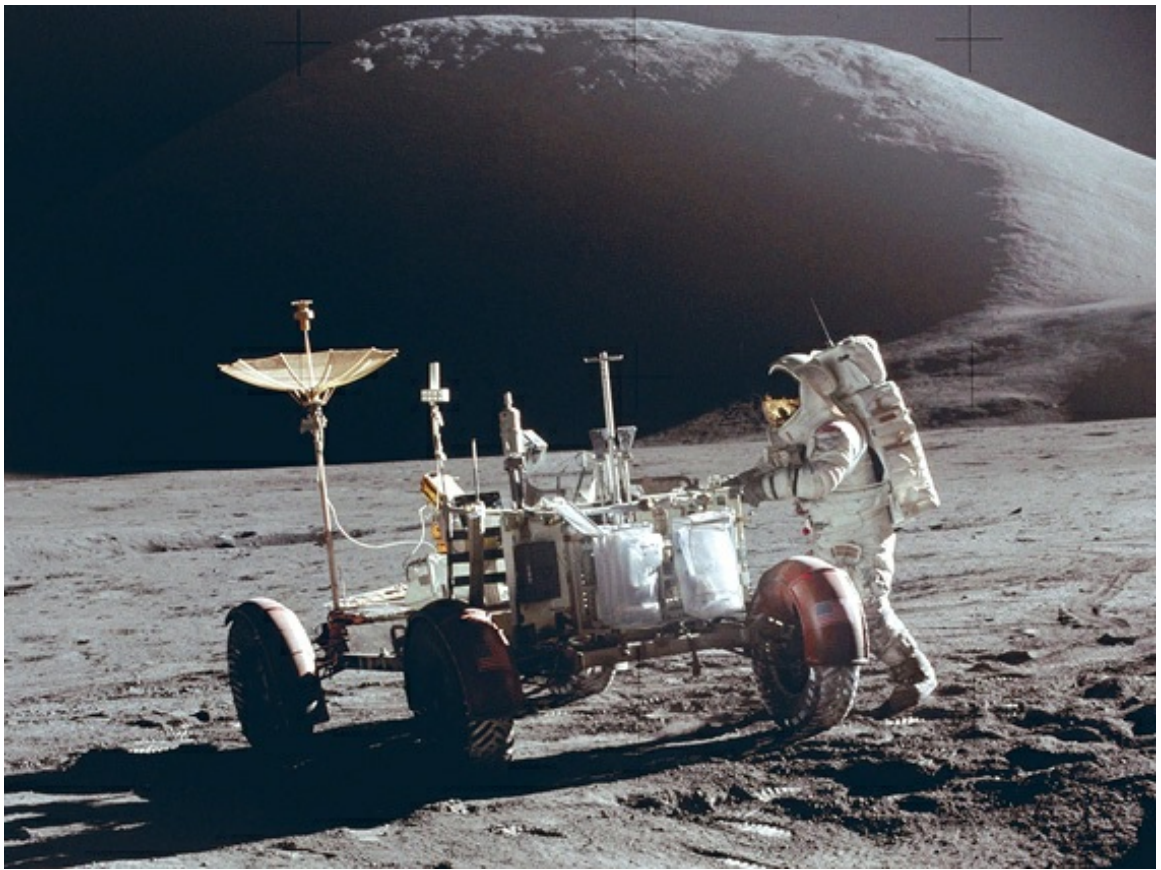
Apolo 13. Entre el 11 y el 17 de abril de 1970, James Lovell, Jack Swigert y Fred Haise viajaron a la Luna. Por una falla en el módulo de servicio la misión regresó a la Tierra sin haber alunizado. Usaron el módulo lunar como “bote salvavidas” para volver a la Tierra.

Apolo 14. Entre el 31 de enero y el 9 de febrero de 1971, los astronautas Alan Shepard, Stuart Roosa y Edgar Mitchell viajaron a la Luna. Shepard y Mitchell pisaron suelo lunar. Estuvieron 9 horas y 21 minutos. Trajeron de regreso 42,8 kg de rocas. Shepard había sido el primer estadounidense en viajar al espacio en un vuelo suborbital, durante 1961.



Tripulación del Apolo 14. De izquierda a derecha: Stuart Roosa, Alan Shepard y Edgar Mitchell. Shepard y Mitchell pisaron suelo lunar.

Apolo 15. Entre el 26 de julio y el 7 de agosto de 1971, los astronautas David R. Scott, Alfred M. Worden y James B. Irwin viajaron a la Luna. Scott e Irwin pisaron suelo lunar. Estuvieron 18 horas y 33 minutos. Llevaron un vehículo lunar: el Lunar Roving Vehicle. Trajeron de regreso 76,70 kg de rocas lunares.



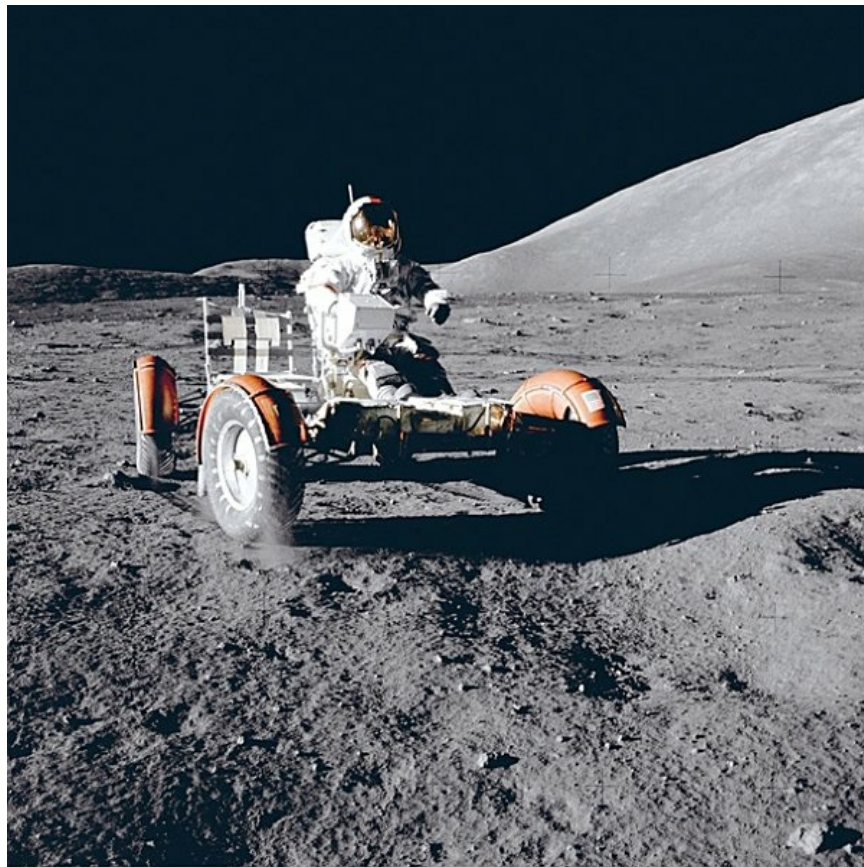
Apolo 15. El vehículo lunar con el astronauta James B. Irwin. Foto de Scott.

Apolo 16. Entre el 16 y el 27 de abril de 1972, los astronautas John Young, T. Kenneth Mattingly y Charles Duke viajaron a la Luna. Young y Duke bajaron a suelo lunar. Llevaron un *rover*. Estuvieron 20 horas y 14 minutos. Trajeron 95,7 kg de rocas lunares.



Apolo 16. El astronauta John Young saluda la bandera de Estados Unidos. Se ve el módulo lunar y el rover en que viajaron por la superficie de la Luna. Foto de Duke.

Apolo 17: Entre el 7 y el 19 de diciembre de 1972, los astronautas Eugene A. Cernan, Ronald E. Evans y Harrison H. Schmitt viajaron a la Luna. Llevaron un *rover*. Cernan y Schmitt estuvieron en suelo lunar por 22 horas y 4 minutos. Trajeron a la Tierra 110,52 kg de rocas lunares.



Apolo 17. El astronauta Eugene A. Cernan viaja por la superficie selenita en el rover de la misión. Schmitt tomó la imagen.



Bella imagen de la Tierra tomada desde la nave Apolo 17. Llamada The Blue Marble, la canica azul. La punta de África y la isla de Madagascar están perfectamente visibles. Arriba se ve el cuerno de África y el mar Mediterráneo. Abajo se ve claramente la Antártica.

Con el Apolo 17 se cierra el ciclo del programa Apolo. Pese a haberse programado para los viajes de las naves 18, 19 y 20, la misión lunar terminó con el Apolo 17. El 4 de enero de 1970 se suspendió el vuelo del Apolo 20 para usar ese impulsor (Saturno V) y poner en órbita el SkyLab, un laboratorio en órbita. Finalmente, el 2 de septiembre de 1970 fueron cancelados los vuelos de los Apolo 18 y 19. El presidente Nixon quiso incluso cancelar los vuelos del Apolo 16 y 17, pero, afortunadamente, esas cancelaciones no ocurrieron.

A partir de 1973 el apoyo al programa espacial disminuyó considerablemente y se consideró que los Saturno V eran vehículos muy costosos de operar. Se optó por los transbordadores espaciales: vehículos reutilizables, de mayor capacidad de carga y menor costo de operación. El programa de los transbordadores fue muy exitoso en líneas generales, pero tuvo dos graves accidentes: el del Challenger en enero de 1986 y el del Columbia el 1 de febrero de 2003 (al regresar a la Tierra). El accidente del Challenger ocurrió a pocos minutos del despegue en Cabo Cañaveral y se produjo por una falla en uno de los dos cohetes impulsores, lo que derivó en una tragedia global y la muerte de los siete astronautas tripulantes, entre ellos la doctora Judith Resnik y la profesora Christa McAuliffe, quien dictaría una clase desde el espacio. Al poco tiempo de la segunda tragedia, se tomó la decisión de cancelar el programa de los transbordadores y comenzó a operar la Estación Espacial Internacional (EEI). A partir de entonces, las naves rusas Soyuz han sido por muchos años el único vehículo que permite subir y bajar astronautas y cosmonautas de la EEI.

a) SkyLab, Salyut, Mir, Apolo-Soyuz

En los años setenta se desarrollaron cuatro proyectos espaciales: el SkyLab, las estaciones Salyut, la estación Mir y el proyecto Apolo-Soyuz, una colaboración entre los Estados Unidos y la Unión Soviética.

SkyLab. Fue una estación orbital estadounidense que operó entre 1973 y 1979, cuando cayó a Tierra. Contaba con un observatorio solar donde se hicieron muchos experimentos científicos. Con un peso de 77 toneladas fue puesta en órbita, sin tripulación, por el último cohete Saturno V. Se lanzó el 4 de mayo de 1973. Tres misiones tripuladas fueron al SkyLab. La primera se lanzó el 25 de mayo de 1973 y duró 28 días. Hubo una segunda misión que duró 59 días, que se lanzó el 28 de julio de 1973. La tercera y última misión duró 84 días y se inició el 16 de noviembre de 1973. La tripulación regresó a Tierra el 8 de febrero de 1974. Inicialmente, la estación estaba a una altura entre 433 y 455 km. Se

estimaba que permanecería en órbita hasta marzo de 1983, pero los cálculos fallaron. Entró en la baja atmósfera el 11 de julio de 1979 y se precipitó a Tierra sobre la costa este de Australia, no muy lejos de Perth. El laboratorio se desintegró al entrar, pero varias piezas fueron recuperadas cerca de Esperance.



SkyLab, el laboratorio espacial estadounidense.



SkyLab. Imagen tomada por los astronautas del Módulo de Comando y Servicio del SkyLab 4 durante el vuelo final.

Las estaciones Salyut. Fueron seis en total. Se desplegaron exitosamente en el espacio y fueron las primeras estaciones espaciales utilizadas por tres cosmonautas. La Salyut-1 fue la primera estación espacial orbital en una órbita a baja altura. Fue lanzada por la Unión Soviética el 19 de abril de 1971. Los astronautas de la nave Soyuz-10 debían haber sido los primeros ocupantes de la Salyut-1, pero la nave no se pudo acoplar con la estación y tuvo que regresar a la Tierra, exitosamente, pero sin cumplir con su objetivo. La Soyuz-11 logró acoplarse y los astronautas Georgy Dobrovolsky, Viktor Patsayev y Vladislav Volkov estuvieron 23 días a bordo. En su regreso a Tierra, el 29 de junio de 1971, una falla en la presurización de la Soyuz-11 causó la muerte a los tres cosmonautas. A estos cosmonautas hay que sumar a Vladimir Komarov, que en el primer vuelo de las naves Soyuz perdió la vida al fallar el sistema de paracaídas en su regreso a Tierra, lo cual lo hizo estrellarse violentamente contra el suelo. Murió el 24 de abril de 1967. Como podemos ver, en esta epopeya de la conquista del espacio muchos hombres y mujeres han arriesgado sus vidas. Algunos, desgraciadamente, las perdieron en pos del avance de la tecnología espacial. En las naves Salyut se batieron muchos récords de permanencia en el espacio: fueron la base para la investigación espacial en la nave Mir y luego en la Estación Espacial Internacional.

Apolo-Soyuz. El Apolo-Soyuz fue conducido en julio de 1975 y marca el fin de la competencia y el comienzo de la colaboración entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Cinco astronautas se encontraron en la unión de un módulo de comando y de servicio de una nave Apolo, con la Soyuz-19. Tres astronautas estadounidenses: Thomas Stafford, Vance Brand y Donald Slayton fueron en el Apolo y dos cosmonautas, Alexei Leonov y Valeri Kubásov, volaron la Soyuz-19. Fueron lanzados el 15 de julio y se acoplaron el 17 de julio. Estuvieron juntos en órbita por 44 horas, después de las cuales se desacoplaron. Los rusos permanecieron en órbita por cinco días; los estadounidenses, nueve. El propósito del Apolo-Soyuz fue de carácter político y alcanzó plenamente su objetivo.



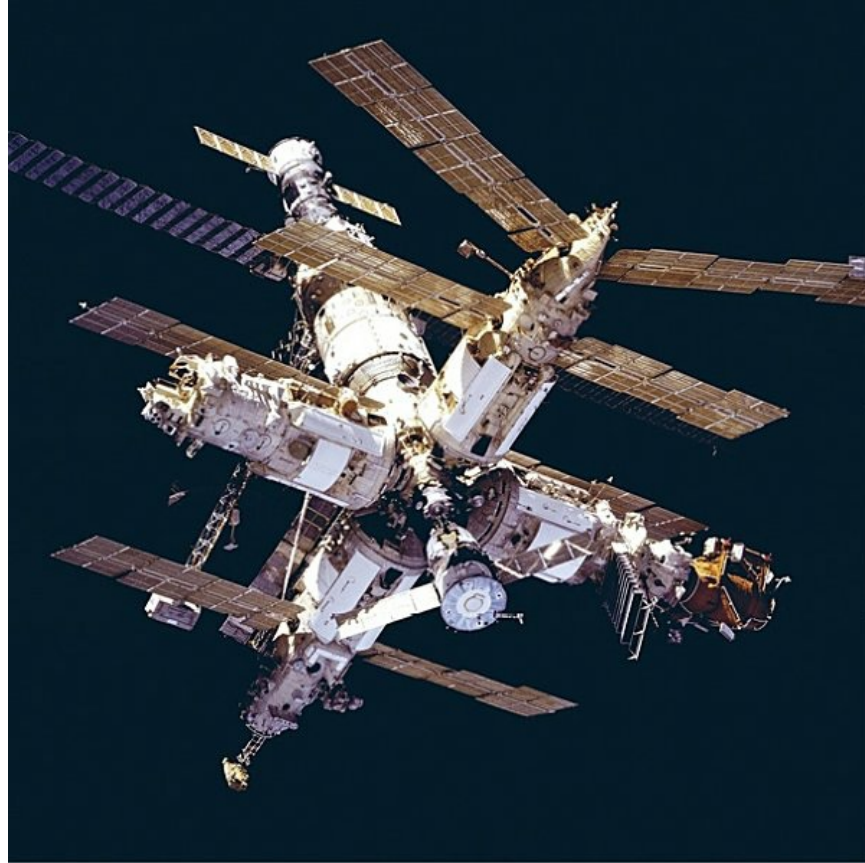
Proyecto Apolo-Soyuz.

b) Estación Espacial Mir

Entre 1986 y 2001 operó la primera estación orbital, construida por la Unión Soviética y luego operada por Rusia. Fue la primera estación orbital modular construida en el espacio y fue el más grande satélite artificial jamás construido. Estaba suspendida a una altura entre 320 y 400 km sobre la superficie. El 23 de marzo de 2001 cayó sobre el Pacífico sur.

Por 3.644 días, la estación Mir estuvo habitada en forma continua. Podía tener tres visitantes en forma permanente y más en forma ocasional. Valery Polyakov estuvo 437 días y 18 horas entre 1994 y 1995. Se mantenía en una órbita entre 296 y 421 km sobre la superficie de la Tierra, volando a una velocidad media de 27.700 km/h, completando 15,7

revoluciones en un día. El costo total del proyecto Mir fue estimado en 4.200.000.000 de dólares por Yuri Koptev, el director de la Agencia Espacial Rusa.

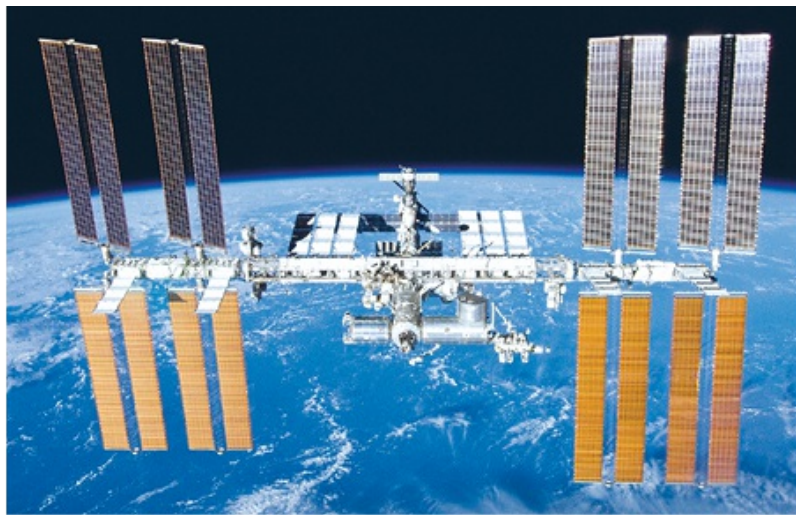


Estación Espacial Orbital Mir.

c) Estación Espacial Internacional

La Estación Espacial Internacional (EEI) se empezó a construir en 1998. Es, en la actualidad, el satélite artificial más grande orbitando a baja altura. Se mantiene a una distancia entre 330 y 435 km con maniobras de reempuje proporcionadas ya sea por el módulo ruso Zvezda o por naves visitantes. La EEI da 15,54 órbitas a la Tierra por día. Desde el 2 de noviembre de 2000, la EEI ha sido ocupada en forma continua. Recibe visitas periódicas de las naves rusas Soyuz y Progress, las naves

americanas Dragon y Cygnus, el vehículo de transferencia japonés H-II y previamente el vehículo automático de transferencia europeo. Ha sido visitada por astronautas, cosmonautas y turistas espaciales de diecisiete naciones. Las naves Soyuz son la únicas que pueden llevar astronautas a la EEI desde 2011, fecha en que se terminó el programa de los transbordadores estadounidenses. Las naves Dragon son las únicas que pueden traer carga de regreso a la Tierra. En el futuro cercano, se espera que las naves Dragon de la empresa SpaceX puedan llevar astronautas a la EEI. Por ahora (comienzos de 2018), solo pueden hacerlo las naves Soyuz.



Estación Espacial Internacional, EEI, el 23 de mayo de 2010.

En la EEI participan cinco agencias gubernamentales: NASA, Roscosmos, JAXA (Agencia japonesa), ESA (Agencia europea) y CSA (Agencia canadiense). La estación está dividida en dos secciones: el segmento orbital ruso y el segmento orbital de Estados Unidos. La parte estadounidense de la estación tiene financiamiento para operar hasta el año 2024. La agencia rusa también concurriría hasta esa fecha. Hay intentos de hacer un nuevo acuerdo para operar un reemplazo de la EEI, pero aún no hay nada definitivo. De acuerdo con el convenio firmado entre los Estados Unidos y Rusia, la EEI es un laboratorio, observatorio y fábrica en una órbita terrestre de baja altura. También pretende ser el

punto de partida para visitas a la Luna, Marte y asteroides. Los Estados Unidos le dieron, a partir de 2010, propósitos comerciales, diplomáticos y educativos.

La EEI ha llevado a cabo experimentos de astrobiología, astronomía, medicina espacial, ciencia de los materiales, ciencias físicas, ciencias de la vida, meteorología y clima en el espacio. Después de dos décadas, continúa siendo la más exitosa estación espacial orbital de la historia. Desde los años cincuenta, líderes de la exploración espacial, como el alemán Wernher von Braun, se imaginaron que una estación espacial era el punto de partida lógico para exploraciones a la Luna, Marte u otros destinos. El programa Apolo se saltó el paso de salir a una estación espacial orbital, pero posiblemente la exploración próxima de la Luna y Marte hagan uso de esa plataforma. Rusia y China, aparentemente, han conversado sobre la posibilidad de instalar una base permanente en la Luna, y como un paso previo, poner en órbita lunar una estación orbital. De ese modo, el viaje a la Luna se separaría en tres tramos: de la Tierra a la Estación Orbital Terrestre, de ahí a la Estación Orbital Lunar y, por último, la “bajada” a la Luna. “Subir” a la EEI implica alcanzar una velocidad de 27.800 km/h. Para abandonar el campo gravitatorio terrestre hay que subir a una velocidad de 39.500 km/h. La parte más difícil de salir de la Tierra está completa cuando se llega a la EEI. Ahí, los astronautas-cosmonautas pueden recargar combustible, recoger provisiones o añadir otros participantes al viaje. Naves sin tripulación pueden ir entre las estaciones orbitales y abastecer a los astronautas o ambas pueden ser abastecidas desde la Tierra. Los astronautas pueden “bajar” y “subir” de la Luna a la Estación Espacial Lunar cuantas veces quieran antes de regresar a la Tierra. Para viajar a Marte, el uso de estos pasos intermedios está aun más justificado. A fin de cuentas, el hombre ya fue a la Luna sin ellos —el proyecto Apolo dejaba una estación espacial orbital alrededor de la Luna esperando el regreso de los dos astronautas que bajaban—, pero para llegar a Marte la logística sería mucho más difícil, y la Estación Espacial Orbital terrestre y la estación marciana van a ser muy importantes. Pero de esto hablaremos en detalle más adelante.

6. ¿HABRÁ VIDA EN EL UNIVERSO?

Hoy sabemos que el Sol es parte de un sistema estelar muy grande: la Vía Láctea, que contiene 200.000.000.000 de estrellas. Con el telescopio espacial Hubble, a través de imágenes muy profundas, se puede calcular en 100.000.000.000 el número de galaxias que podrían ser fotografiadas por ese espejo. Estimaciones recientes aumentan el número en un factor de diez, hasta un billón de galaxias. Alrededor de cada estrella hay una media docena de planetas, algunos muy cercanos, como Mercurio y Venus en nuestro sistema, y otros muy alejados, como Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Sin embargo, alrededor de cada estrella debe haber, a lo menos, un planeta a la distancia justa, en la zona habitable, donde, si hubiese agua, esta podría estar líquida a una buena temperatura. Esto nos lleva a 20.000.000.000.000.000.000.000 de planetas como la Tierra, esto es, veinte mil trillones de planetas en el universo observable. Si la vida surgió en la Tierra, debe haberlo hecho también en muchos sitios más. Aquí la vida se demoró menos de 1.000.000.000 de años en surgir (la edad de la Tierra es de 4.600.000.000 de años).

El universo debe estar lleno de vida, pero como las distancias entre las estrellas son enormes, entre un planeta con vida y el siguiente más cercano debe haber aproximadamente unos ciento cincuenta años luz de distancia. La Tierra tiene 8.500.000 de especies vivas, por lo cual, cuando hablamos de planetas con alguna forma de vida, hablamos también de microbios, árboles, pájaros, peces, etcétera, no solo de mamíferos o de seres parecidos al hombre. Si el pasar de la materia inanimada a la vida fuese muy pero muy difícil y dadas las condiciones solo sucediera una vez cada mil o cada un millón; o si es más difícil aun y solo una de cada 200.000.000.000 veces se diera esa ocasión única, entonces en la Vía Láctea la Tierra sería el único planeta con vida. Como en el universo observable hay un billón de galaxias, todavía habría un billón de planetas con vida en el universo, pero separados entre sí por unos 2.000.000 de años luz. Para ejemplificar el punto, la galaxia de Andrómeda, compañera de la Vía Láctea, se sitúa a algo más de 2.000.000 de años luz. Si enviamos un mensaje por ondas de radio se demorará 2.000.000 de años en llegar a destino. Si el mensaje fuese recibido y nos enviaran una respuesta, esta llegaría 4.000.000 de años después de haber salido el

mensaje de la Tierra. El ser humano en la Tierra tiene menos de 1.000.000 de años; el hombre moderno menos de 100.000. Nuestra civilización, como civilización tecnológica, apenas 100 años. Esperar 4.000.000 de años para recibir noticias de Andrómeda, nuestra gran galaxia vecina más cercana, es indudablemente mucho tiempo.

Ojalá el ser humano logre algún día tener certeza acerca de la existencia de alguna forma de vida en otro planeta, en torno a otra estrella. Por el momento, ir a explorar la vida en otro sitio se ve como una empresa muy difícil y, por ende, muy remota. Por ahora tendremos que conformarnos con ir conociendo cada vez un mayor número de exoplanetas y tratar de averiguar si poseen atmósferas (condición esencial para que sobre su superficie exista agua líquida), y si esta se constituye de oxígeno o vapor de agua. Los próximos telescopios de gran tamaño que se construyen en el mundo hoy, particularmente en Chile, procurarán detectar y estudiar las atmósferas planetarias. La ciencia siempre va paso a paso, estos son los pasos que debemos dar en nuestros tiempos.

Los seres humanos, inicialmente, se desplazaban grandes distancias buscando alimentos y refugio en grupos o tribus. Esos largos años de movilidad llegaron a su fin cuando se descubrió la agricultura. Entonces se instalaron en los que, a la larga, llegaron a ser grandes asentamientos y aprendieron a cultivar granos que acopiaban para el año entero. Eso llevó a una organización social cada vez más compleja, pero esencialmente el humano hacía y vivía toda su vida en una pequeña región de pocos kilómetros; se movilizaba principalmente a pie o con la ayuda de caballos (o camellos). Los siglos de la Edad Media pasaron de ese modo: pequeñas ciudades amuralladas alrededor de las cuales había zonas agrícolas que se cultivaban colectiva o individualmente. Hace algo más de cinco siglos, el viaje de Colón a América cambió el panorama; grandes desplazamientos marítimos podían conducir a lugares lejanos donde la vida presentaba nuevas oportunidades. Si a ello sumamos el desarrollo de la ciencia y la Revolución industrial europea, la vida cambió para siempre. Se derribaron las murallas medievales de las ciudades para que estas se convirtieran en grandes urbes. El globo terráqueo, inmenso como es, se fue haciendo cada vez más pequeño. El siglo xx trajo nuevos adelantos de la mano de los hermanos Wright, que nos enseñaron a desplazarnos por los aires de un modo mucho más eficiente y rápido de lo que permitían los globos aerostáticos de los hermanos Montgolfier. Con el desarrollo de la aviación moderna viajes que antes duraban semanas pasaron a tomar unas pocas horas. De la vuelta al mundo en 80 días pasamos a hacerlo en menos de 80 horas. Hoy, volando a 900 km/h, podríamos darla en 45 horas. Verdaderamente ya somos terrícolas, habitantes de la Tierra.

Con el viaje del Apolo 11 en 1969 se abrió una nueva era: la exploración de nuestro vecindario cósmico. La distancia de la Tierra a la Luna es pequeña (en dimensiones cósmicas). La distancia a la Luna es solo diez veces mayor que la circunnavegación de la Tierra. El perímetro terrestre cabe diez veces en la distancia Tierra-Luna. Si en un avión nos demoráramos 45 horas en dar una vuelta a la Tierra, en ese avión, hipotéticamente, nos demoraríamos 17 días con 18 horas en llegar a la Luna. Naturalmente, un avión no sirve para ir a la Luna pues no tiene tanta autonomía ni hay atmósfera entre ambos cuerpos celestes. El cohete

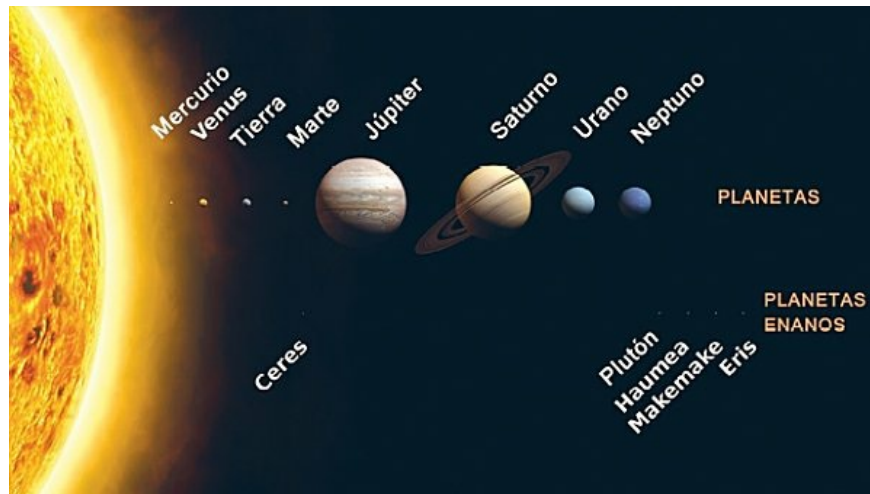
de Neil Armstrong demoró algo más de dos días en llegar a la Luna. Por la trayectoria de energía mínima uno se podría demorar algo más de seis días a la Luna (y otros tanto de regreso). La trayectoria de energía mínima es una órbita elíptica que saca a la nave de la cercanía de la Tierra, la lleva hasta la Luna y la trae de regreso a la Tierra. Se aleja de la Tierra justo hasta la “altura de la Luna” y regresa.

El sistema solar tiene ocho planetas, de los cuales la Tierra es el tercero, desde el Sol hacia fuera. En otros tiempos se dijo que el sistema solar contenía nueve planetas, pero Plutón —el último en incorporarse a la lista, en 1930— desde 2006 ha sido degradado y hoy solo se lo considera un “planeta enano”. En verdad Plutón resulta tener un tamaño seis veces menor que la Tierra (en diámetro), cuando los planetas lejanos al Sol son objetos muy grandes (Júpiter tiene un tamaño once veces mayor que la Tierra, Saturno nueve veces y media, mientras que Urano y Neptuno tienen un tamaño cuatro veces mayor). Plutón es más chico que los satélites de los planetas gigantes. Como ya se han descubierto varios objetos del tamaño de Plutón más allá de la órbita de Neptuno, y se sospecha que puede haber cientos, era mejor “degradar” a Plutón y dejarlo a él y todos sus cercanos como planetas enanos antes de hacer crecer la lista de planetas hasta el centenar. De los ocho que nos quedaron, cuatro son pequeños, densos y cercanos al Sol (Mercurio, Venus, la Tierra y Marte). Los otros cuatro son gigantes, gaseosos o de hielo, lejanos al Sol y muy fríos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno). Nosotros vivimos en el barrio de los planetas rocosos y calientes, entre Venus y Marte.

La Luna es nuestro satélite natural. Tiene un gran tamaño, en comparación con nuestro planeta. Si representamos a la Tierra mediante una pelota de fútbol, la Luna equivaldría a una pelota de tenis. Así, nuestro satélite tiene una masa de un poco más del 1% en relación con la Tierra y su radio es de 0,27 con respecto a la misma. Por ello, la aceleración de gravedad en la Luna es solo un sexto de la terrestre.

El sistema solar está compuesto por el Sol y ocho planetas. El astro rey contiene más del 99% de la masa del sistema, mientras que el resto se encuentra principalmente en los planetas gigantes: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Los planetas cercanos al Sol son muy pequeños, rocosos y

cálidos. Mercurio y Venus están más cerca del Sol que lo que está la Tierra, y Marte se encuentra un 50% más alejado del Sol que nosotros. Este es el barrio en que vivimos, entre Venus y Marte. A estos cuatro planetas rocosos y pequeños se los llama “planetas terrestres”, por ser la Tierra el más grande de ellos.



El Sol y los ocho planetas del sistema solar. La escala de tamaños está respetada, no así las distancias entre ellos y el Sol. Ceres, Plutón, Haumea, Makemake y Eris son planetas enanos. Los planetas rocosos (Mercurio, Venus, Tierra y Marte) son mucho más pequeños que los planetas gigantes (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno).

Venus y la Tierra son planetas muy parecidos en tamaño y masa. Marte y Mercurio son tan solo de la mitad del tamaño de la Tierra y poseen algo así como un 10% de su masa. La Tierra, en relación con el Sol, tiene un tamaño 100 veces menor (si la Tierra fuese como una arveja de un 1 cm de diámetro, el del Sol sería de 1,09 m). La masa del Sol supera la de la Tierra en un factor de 330.000. Si el Sol fuese una esfera hueca, podría contener en su interior 1.300.000 Tierras. La Tierra es un punto azul pálido, como la llamó Carl Sagan, al lado de este gigante local que llamamos Sol.

De los cuatro planetas terrestres, solo la Tierra y Marte tienen satélites naturales. La Tierra tiene a la Luna y Marte posee dos, pero muy pequeños: Fobos y Deimos. Fobos y Deimos son los acompañantes de Ares según la mitología griega, donde Marte es el equivalente romano de Ares. Fobos significa “miedo” y Deimos, “terror”. Como podemos ver, el

dios de la guerra iba bien acompañado. Fobos, con sus casi 21 km de diámetro, es el más grande. Deimos solo alcanza algo más de 12 km. La Luna, con sus 3.476 km, es un gigante comparado con los satélites marcianos. Fobos y Deimos, además de pequeños, están muy cerca de Marte, y por ello giran a mayor velocidad: Fobos en 7,6 horas y Deimos en 30 horas. El giro de Fobos es tan rápido que supera al del planeta, sale por el oeste y se pone por el este. Un hipotético marciano lo vería salir cada once horas. En una noche marciana, Fobos puede ser visto saliendo dos veces: al comenzar la noche y nuevamente antes de que termine. Deimos es más tranquilo y, por lo tanto, sale por el este, pero se demora 5,5 días en salir nuevamente. En una noche marciana, mientras Deimos se mueve lentamente hacia el oeste, Fobos lo hace rápidamente hacia el este (la rotación de Marte en 24 horas con 37 minutos es en sentido directo, igual que en la Tierra: Marte se mueve hacia el este y por ello las estrellas parecen moverse hacia el oeste, como en la Tierra).

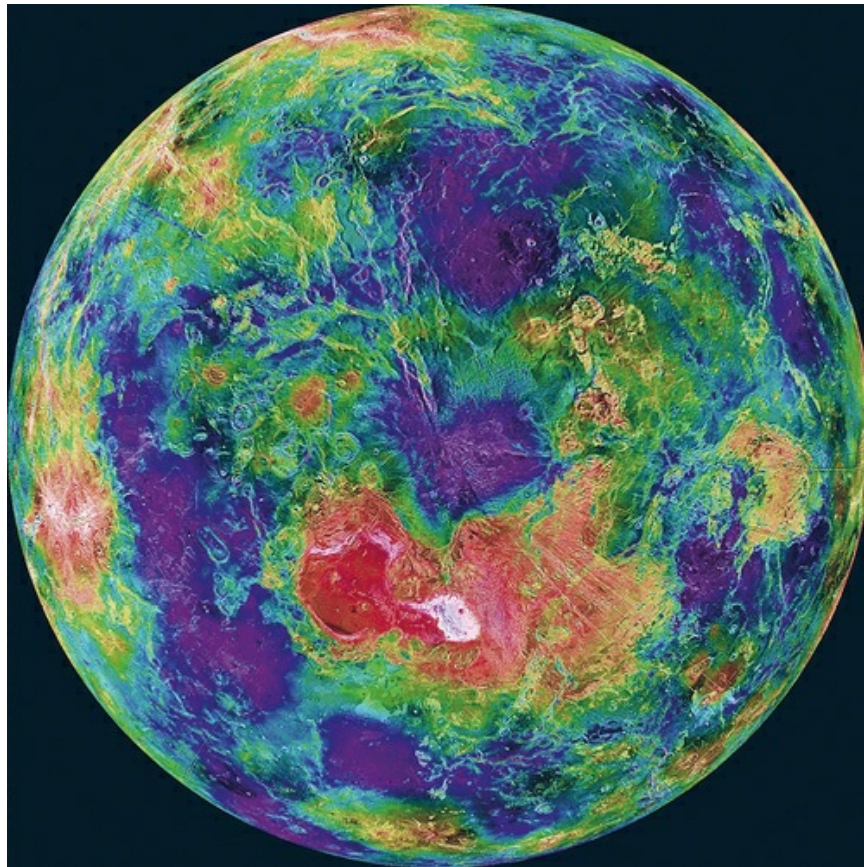
A ojo desnudo, desde la Tierra vemos nuestra Luna en el cielo con un tamaño angular de medio grado (dicho de otro modo, la Luna demora dos minutos en salir sobre el horizonte o ponerse bajo él; es decir, cabe 720 veces en el círculo que define en el cielo). En Marte, Fobos subtiende un ángulo de seis minutos, cinco veces más chico que la Luna desde la Tierra (en tamaño angular). Deimos es aun peor: subtiende un ángulo de tan solo un minuto, cinco veces más pequeño que Fobos y en el límite de resolución del ojo humano. Los terrícolas, una vez llegados a Marte, no distinguirán a Deimos como un cuerpo extendido, sino que les parecerá puntual, tal como nosotros vemos puntual a Venus, el lucero del alba o del atardecer.

Pero volvamos a la Luna, nuestro satélite natural, que fue visitado por primera vez hace 49 años. Si el hombre quisiera extender su presencia en el sistema solar, lo más cercano de visitar sería el planeta Venus, el lucero, el punto más brillante en el cielo después del Sol y la Luna. Su distancia a la Tierra, en el momento de mayor cercanía entre ambos, es de 42.000.000 km, 110 veces más lejos que la Luna. El siguiente destino sería Marte, que está, en la mejor situación, el doble de lejos que Venus. Si hiciésemos un modelo a escala y en una cancha de fútbol pusiéramos a

la Tierra en el centro de un arco y a la Luna a medio metro de la Tierra, Venus estaría algo más allá del centro del campo (pero dentro del círculo central) y Marte estaría cerca del banderín del córner del arco opuesto. Al portero (Tierra) le bastaría un pequeño paso para llegar a la Luna, pero necesitaría desplazarse 110 pequeños pasos para llegar a Venus, en el centro del campo, y unos 200 de esos pequeños pasos para llegar a Marte.

En consecuencia, nuestro siguiente destino debería ser Venus. No es nada fácil, pues un viaje a Venus demora unos cuatro meses (a Marte demora unos nueve). Sin embargo, el viaje a Venus no es difícil por el tiempo que demoraríamos en llegar, sino por las condiciones que encontraríamos en ese planeta. Venus tiene una gruesa capa de atmósfera compuesta principalmente por anhídrido carbónico, un gas de efecto invernadero. La energía solar calienta el planeta, este emite radiación infrarroja que no puede escapar debido a la atmósfera (esta es opaca a la radiación infrarroja —efecto invernadero—). La temperatura de la superficie de Venus alcanza los 460 °C. A esa temperatura, hasta el plomo se derretiría líquido sobre la superficie. La atmósfera es tan gruesa que la presión atmosférica en la superficie alcanza las 90 atmósferas (90 veces la presión atmosférica terrestre). Si aquí en la Tierra la presión atmosférica es de 1 kg/cm², en Venus es de 90 kg/cm². En el mar, a 900 m de profundidad, tendríamos una columna de agua sobre nosotros que proporcionaría una presión de noventa atmósferas. Los submarinos no pueden resistir esa presión; no pueden bajar a esas profundidades. Puede que Venus, en el pasado, haya tenido una atmósfera mucho menor, con abundantes líquidos en su superficie, pero el efecto invernadero produjo un calentamiento global catastrófico que terminó por evaporar los líquidos y subió la temperatura a 460 °C. Venus, por su cercanía al Sol, debió recibir una temperatura mayor a la de la Tierra, de 60 °C o 70 °C, de manera que tiene en los polos una temperatura muy razonable; lamentablemente, ahora no es de esa manera. La densa capa de nubes que cubre el planeta entero, día y noche, del ecuador al polo, produce una temperatura homogénea y altísima. Venus tiene una temperatura más alta que Mercurio durante el día. Mercurio alcanza los 430 °C en la tarde, pero

como no posee atmósfera, se enfría rápidamente durante la noche, llegando a unos $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Venus es la diosa romana de la belleza y el amor; es la contrapartida de la diosa griega Afrodita. En esta foto se muestra su superficie a partir de medidas de radar.

Venus tiene una rotación sobre un eje muy distinta de la terrestre y de los otros planetas: nuestra Tierra gira en 24 horas, mientras que Venus lo hace en 243 días, en forma retrógrada. El día en Venus resulta de la combinación del período de rotación con el de translación en torno al Sol, que alcanza los 223 días. El “día” de Venus dura 117 días terrestres, casi cuatro meses (dos meses de día y dos meses de noche). Es un mundo muy raro, pues siempre está totalmente nublado. Si hubiese surgido una civilización, nunca hubiese conocido el Sol, los planetas ni las estrellas. Solo al desarrollar la radioastronomía hubiesen aprendido de la existencia del Sol y el universo. Quizás hubiesen descubierto primero las leyes de

Maxwell (que describen el electromagnetismo) que las leyes gravitatorias de Newton.

En un futuro lejano, a miles de años de distancia, quizás el ser humano pueda estar preparado para intentar hacer “ingeniería planetaria” en Venus, y con ello aliviar el efecto invernadero, de modo de hacer habitable su superficie. Pese a lo parecidos que son Venus y la Tierra en cuanto a tamaño y masa, la evolución de Venus lo llevó a ser un verdadero infierno. Una lástima, pues siendo tan semejante a la Tierra habría sido ideal mantener allá una colonia. La aceleración de gravedad en su superficie es un 90% de la terrestre: los cuerpos en Venus pesan un 10% menos que en la Tierra. Un hombre de 70 kg pesaría 63 kg, por lo cual sería muy fácil adaptarse y mantenerse en buena forma física para regresar a la Tierra, incluso estando allá por períodos largos (de un año o dos). En la Luna, pesando seis veces menos, sería muy difícil mantenerse en forma para regresar. Una colonia en la Luna muy pronto generaría una raza distinta de seres humanos que no podría adaptarse fácilmente a vivir nuevamente en la Tierra.



La Luna vista desde el hemisferio sur de la Tierra. Las zonas más oscuras son los “mares” y el cráter más prominente se ve a la derecha de la imagen (cráter de Tycho).

A fines de 2017, el presidente de los Estados Unidos, Donald Trump, expresó su voluntad de ir a la Luna nuevamente, instalar una base y desde ella, eventualmente, emprender un viaje tripulado a Marte. Logísticamente, una base en la Luna es el siguiente paso en complejidad después de la Estación Espacial Internacional (EEI). Quizás, para ir y venir a la superficie de la Luna, la estrategia lleve a construir una estación espacial orbital en torno a la Luna. Así, el viaje podría tener tres tramos bien diferenciados y la logística podría ser más sencilla. Las estaciones espaciales orbitales podrían ser verdaderas áreas de servicio en el camino. Allí se podrían reabastecer de combustible, provisiones, ayuda técnica, etcétera.

Veamos ahora algunas de las características de nuestro satélite.



Imagen del Mare Imbrium tomada por el Apolo 17.

Las naves Apolo demostraron que se puede alunizar sin problemas en muchas áreas. Pese a tener cadenas montañosas, cráteres y montañas específicas de cierto tamaño (5.000 o 6.000 m de altura sobre el nivel medio), tiene suficientes áreas relativamente planas para alunizar y montar una base permanente. La Luna gira en torno a un eje en el mismo tiempo en que se traslada en torno a la Tierra: 27,3 días. El largo del día en la Luna, combinando su rotación y la traslación anual de la Tierra, resulta ser de 29,5 días. El Sol sale por el este y se eleva hacia el meridiano de un lugar selenita por unos siete días, cuando alcanza su máxima altura sobre el horizonte, terminando por ponerse quince días después de haber salido. Empieza ahí una noche que dura otros casi quince días. En una base lunar deberán definir horas de sueño, de trabajo y de descanso durante ese largo día (período con Sol) y también durante la larga noche. Posiblemente dividan “el día” de casi un mes en intervalos de 24 horas. Como esos intervalos serán arbitrarios, si en la base hay mucha gente, unos trabajarán mientras otros duermen. En la zona ecuatorial de la Luna, donde el Sol alcanza gran altura y llega muy cerca del cenit del lugar, después de diez días alumbrando, la temperatura del suelo lunar supera fácilmente los 100 °C. Cuando el Sol se pone, la falta de atmósfera hace que el suelo lunar se enfríe muy rápidamente e inmediatamente antes de la salida del Sol la temperatura sea inferior a -100 °C. Posiblemente, la mejor estrategia para una base lunar es que esté parcial o totalmente sumergida bajo el suelo, en una especie de caverna. Esto protegería a los astronautas de la intensa radiación ultravioleta y de la radiación cósmica proveniente del espacio (también de micrometeoritos y meteoritos de tamaño pequeño). En la Tierra, la atmósfera nos protege de esos peligros, pero en la Luna el traje espacial puede no ser suficiente para aislar a los viajeros, que estarán mucho mejor protegidos si ponen varios metros de piedras entre ellos y el exterior. Estas condiciones tan extremas de temperatura se aminoran asentándose en latitudes más altas (alejadas del ecuador), donde el Sol nunca se acerca demasiado al cenit. Con ello, se amortiguan las altas temperaturas de la tarde lunar, aunque no tiene

influencia positiva sobre las bajas temperaturas de la noche, que pueden ser aun más bajas.

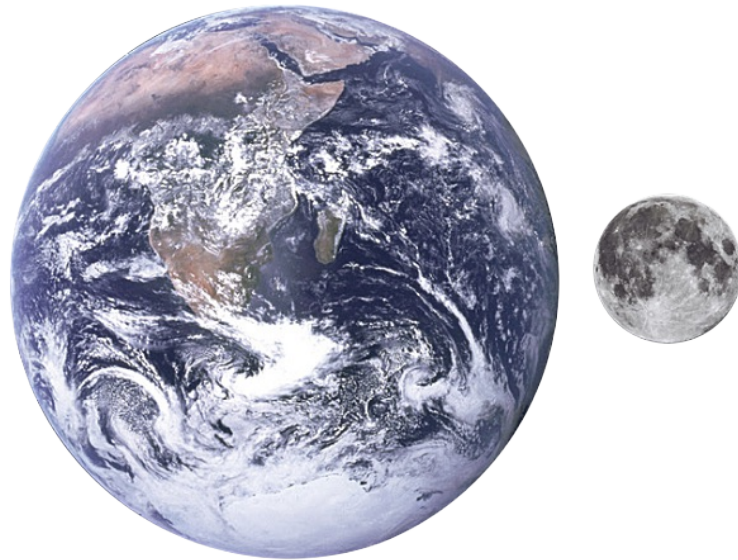
Cerca de los polos lunares se han encontrado depósitos de agua en forma de grandes bloques de hielo. Pueden ser el resultado de antiguos cometas que cayeron a la Luna durante tiempos pretéritos, en zonas que nunca son iluminadas por el Sol, y por eso han permanecido allí como hielo. Una colonia humana cercana a los polos se podría beneficiar de esos depósitos de agua. Por una afortunada coincidencia, el eje de rotación lunar está orientado casi perpendicular a la eclíptica, y por ello en los polos lunares se ve el Sol casi en el horizonte todo el tiempo. La órbita lunar está inclinada algo más de cinco grados con respecto a la eclíptica y el eje de rotación de la Luna está inclinado casi cinco grados con respecto al plano de su órbita y, por casualidad, resulta que el eje de la Luna está perpendicular al plano de la eclíptica. Como vemos “girar” al Sol alrededor de la Tierra y la Luna en el plano de la eclíptica, jamás llegará luz al fondo de un cráter en el polo lunar. En zonas de algunos cráteres nunca se ve el Sol y la temperatura puede ser menor a $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$; allí los hielos no pueden sublimarse (derretirse).

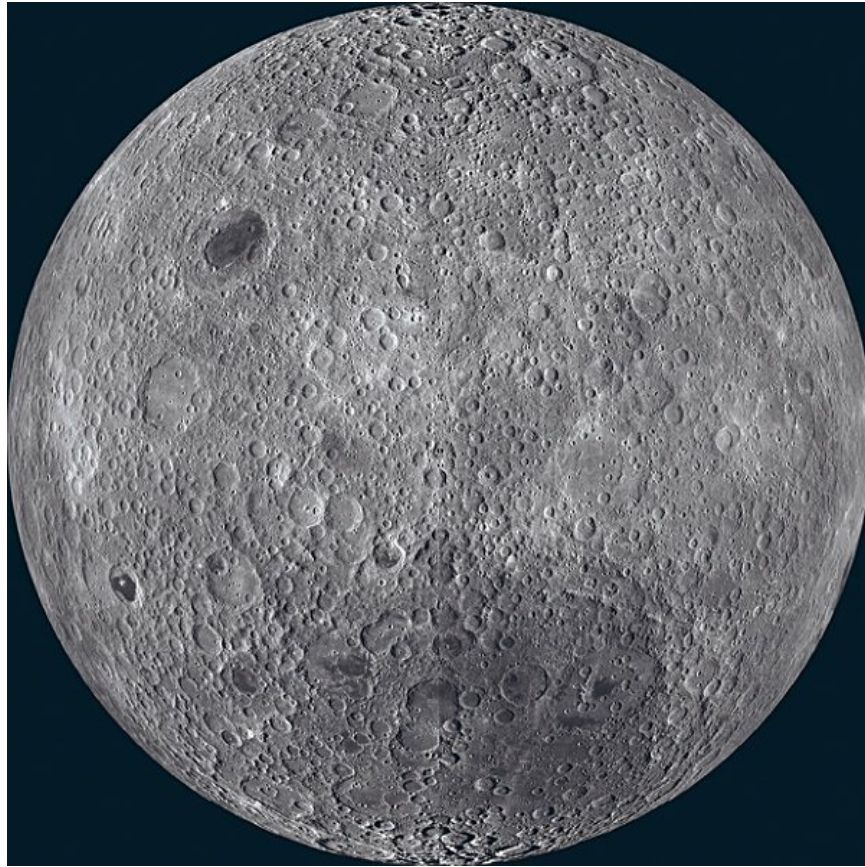
Para la astronomía, una base lunar sería extraordinaria, pues un telescopio allí tendría dos semanas continuas de observación, sin atmósfera, con un cielo totalmente negro y donde un telescopio de más de un metro de diámetro gozaría de condiciones que no existen en la Tierra. La resolución sería mejor que una décima de segundo, que es lo mejor que se logra con el telescopio espacial Hubble. Una base lunar se parecería a las bases árticas o antárticas de hoy en la Tierra, donde el personal está asignado por un año y luego regresa a su cotidianeidad. Es muy difícil que un ser humano pueda volver a vivir en la Tierra si se queda por más de un año. La adaptación a una gravedad seis veces menor le hará perder mucha masa ósea y muscular. Al regresar a la Tierra encontrará que la fuerza de gravedad terrestre es demasiada: ¡no se acostumbrará a pesar seis veces más!

Como la rotación y la translación lunar en torno a la Tierra están en perfecta sincronía, la Luna muestra siempre la misma cara a la Tierra. Por esa razón, hay una cara de la Luna que no vemos nunca (desde allá jamás

se ve la Tierra): es la llamada “cara oculta” de la Luna. Erróneamente, algunos se refieren a ella como la cara oscura de la Luna. No, el Sol va iluminando progresivamente en el curso de un mes toda la Luna y, por ello, cualquier punto de la Luna tiene la secuencia del día y la noche por igual. La cara visible está de noche en Luna nueva y la cara oculta en pleno día. Quince días más tarde, en Luna llena, la cara visible se encuentra en pleno día y la cara oculta de noche. Cuando nosotros, los terrícolas, vemos una Luna nueva, los selenitas estarían viendo una Tierra llena. Como la Tierra es casi 4 veces más grande que la Luna cubre 14 veces más cielo que lo que cubre la Luna para nosotros; por ello, la Tierra llena en la Luna es más de 10 veces más brillante que la Luna llena en la Tierra. Gracias a la iluminación de la Tierra llena, la Luna nueva presenta el fenómeno de la “luz cenicienta”, es decir, que en Luna nueva podemos ver los detalles de la superficie lunar, muy pálidos, pero los vemos pese a no estar iluminada por luz solar directa. Esta explicación de la luz cenicienta de la Luna la dio por primera vez Leonardo da Vinci. La Tierra llena debe ser un espectáculo fantástico para observar en la Luna, porque es muy brillante y se debe ver sobre un cielo negro, ya que no existe atmósfera en la Luna. En la Tierra, la Luna llena ilumina el cielo nocturno (la atmósfera terrestre) disminuyendo el contraste entre ella y el cielo.

La Tierra y la Luna en la misma escala; el tamaño de la Luna equivale al 27% de las dimensiones de la Tierra.



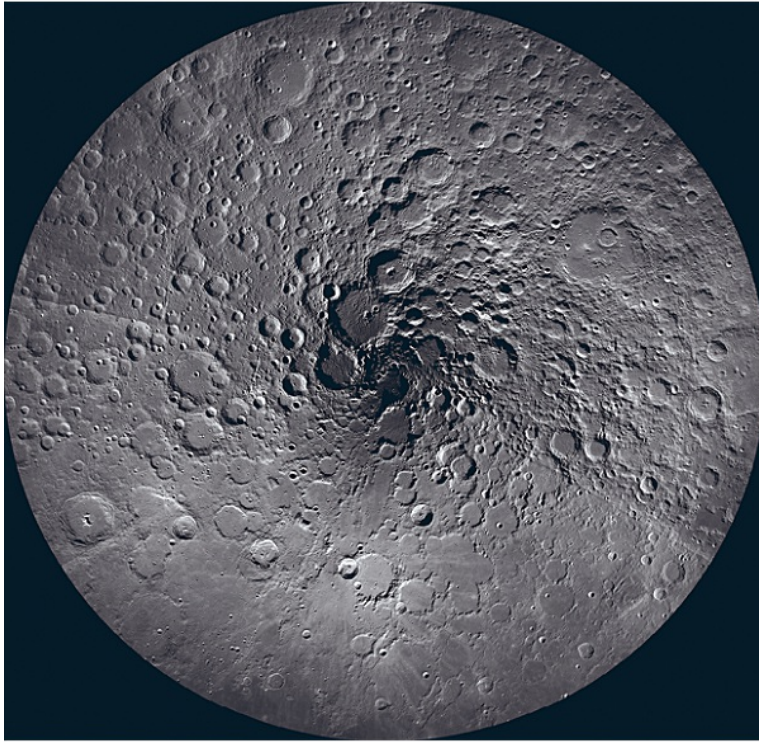


Mosaico del lado oculto de la Luna. Los “mares” lunares solo están presentes en la cara visible.

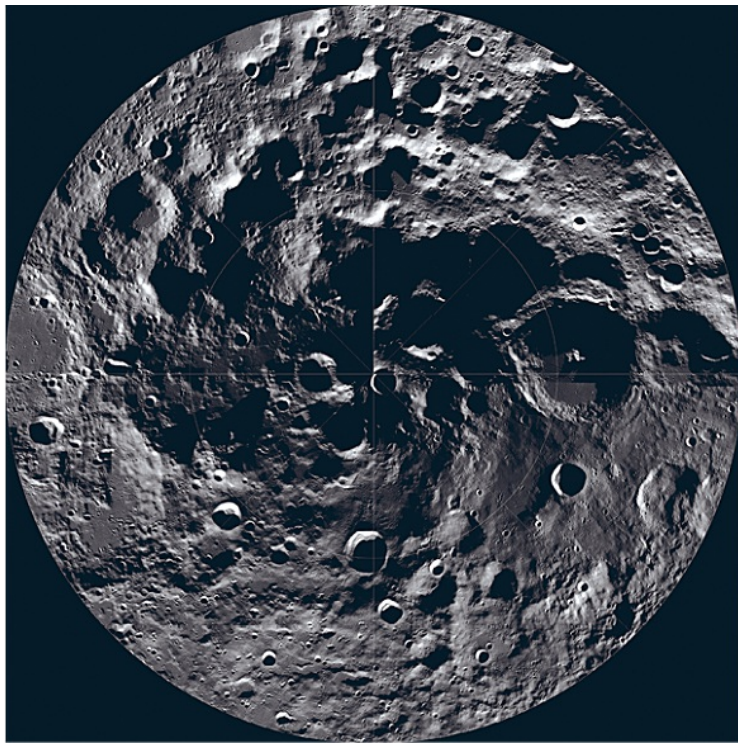
Para evitar la luz de la Tierra llena habría que poner un telescopio en la cara oculta de la Luna; desde allí no se vería nunca la Tierra y, por ende, las noches serían perfectas para la astronomía. En el centro de la cara visible de la Luna la noche empezaría con Tierra en cuarto creciente; a la medianoche tendría Tierra llena y cuando la Tierra esté en cuarto menguante saldría el Sol y comenzaría el día. Al mediodía se vería Tierra nueva y al llegar al cuarto creciente empezaría la noche nuevamente. Hay que notar que desde la Luna la Tierra se ve suspendida más o menos en el mismo punto del cielo todo el tiempo; la veríamos cambiar de iluminación, pero la Tierra ni saldría ni se pondría para los ojos de un selenita. En la parte central de la cara visible de la Luna se vería muy alta, cerca del cenit lunar. Por otro lado, en los bordes de la cara visible, la Tierra se mostraría cerca del horizonte todo el tiempo, siempre suspendida e inmóvil.

Si se confirma categóricamente la existencia de agua sólida (hielo) en los polos lunares, habría buenas razones para instalar cerca de ellos una base permanente. Si se establecen satélites sincrónicos para telecomunicaciones en la Luna para telecomunicaciones, no habría problema alguno en instalar la base en la cara oculta de la Luna. Un satélite que gire con la misma velocidad angular que la Luna (que tenga un período de 27,3 días) estaría muy alto sobre el suelo lunar, y con tres de ellos se podría cubrir perfectamente la comunicación desde la Tierra con cualquier base lunar.

Una base lunar cerca del polo, idealmente en la cara oculta de la Luna, sería un laboratorio formidable. La observación astronómica y la investigación en general se beneficiarían enormemente de ese laboratorio único. Ojalá fuese un esfuerzo internacional, tanto o más amplio que el de la EEI. China e India hoy se incorporan al mapa de las potencias tecnológicas que no participan en la EEI; sin duda, durante las próximas décadas jugarán un rol primordial en la investigación espacial.



Mosaico del polo norte lunar.



Mosaico del polo sur lunar.

9. MARTE: LA PRÓXIMA FRONTERA

Con sólidos argumentos, hemos descartado a Venus como nuestro objetivo más allá de la Luna. El siguiente paso en la exploración tripulada del sistema solar es el planeta Marte. El cuarto de los planetas terrestres tiene grandes potencialidades. En cuanto a tamaño es más pequeño que la Tierra, su diámetro es solo un 53% del terrestre y su masa —su cantidad total de materia— es un 11% de la Tierra. Está más alejado del Sol y recibe solo un 43% del calor solar por metro cuadrado que recibimos en la Tierra, por lo que cabe esperar un clima bastante más frío. Las zonas polares de Marte son muy frías, con temperaturas que llegan a los -100°C , pero las regiones ecuatoriales tienen temperaturas muy razonables para nosotros, entre 10°C y -10°C .

Marte tiene una rotación en torno a un eje muy parecida a la de la Tierra. El día marciano es de 24 horas con 40 minutos. Además, el eje está inclinado con respecto a la perpendicular a la órbita en $25,2^{\circ}$, mientras que el eje de la Tierra está inclinado en $23,5^{\circ}$. Como esa inclinación es la que determina las estaciones, existen en Marte, al igual que en la Tierra: primavera, verano, otoño e invierno. La diferencia es que las estaciones en Marte duran el doble, porque el año marciano es de 687 días, casi dos años terrestres. Las estaciones duran en promedio 172 días, es decir, casi seis meses terrestres cada una. Como la órbita de Marte es bastante más elíptica que la terrestre, las estaciones cerca del perihelio duran bastante menos que las que ocurren en la parte opuesta. Las estaciones “cortas” duran entre 146 y 160 días, mientras que las “largas” duran entre 182 y 199 días. La secuencia día/noche en Marte es tan parecida a la de la Tierra que el ritmo circadiano de los terrícolas que se avvicinden en Marte no se va a ser alterado por esos 40 minutos de diferencia. El ritmo circadiano tiene que ver con los períodos de vigilia y de sueño de los seres humanos, asociados al día de 24 horas, que se traducen en ligeros cambios cíclicos en la temperatura corporal.

En 1609 Galileo Galilei construyó el primer telescopio, siguiendo las indicaciones que le fueron proporcionadas por un amigo acerca de un

instrumento que se había construido en Holanda en 1608. Galileo hizo descubrimientos extraordinarios con su modesto telescopio: cráteres lunares, cuatro satélites de Júpiter, el “cuerpo triple” de Saturno, las fases de Venus, las estrellas que componen la Vía Láctea, las manchas solares. Galileo no adelantó demasiado en el estudio de Marte, pero parece haber notado sus fases en 1610. Según Giovanni Battista Riccioli, las fases fueron descubiertas por Francesco Fontana en 1634. El mismo Fontana reconoce manchas en la superficie en 1636 y 1638. Deduce que el planeta posee rotación. En 1666 el científico inglés Robert Hooke comunica a la Royal Society la confirmación de la rotación marciana. En Italia, Giovanni Domenico Cassini confirma la rotación y determina un período de 24 horas con 40 minutos. Los telescopios de Cassini eran muy superiores a los de Galileo. Hacia fines del siglo XVIII, el músico y astrónomo alemán-británico William Herschel, entre 1777 y 1779, determinó un período diario de 24 horas, 39 minutos y 21,67 segundos, y descubrió además la inclinación del eje de rotación y estimó el achatamiento del planeta.

Al continuar los avances instrumentales, tanto en los objetivos como en los oculares, los estudios de Marte se fueron haciendo cada vez más precisos. Se reconocieron diversos accidentes geográficos permanentes, incluyendo los casquetes polares, montañas y volcanes. En el siglo XIX los telescopios alcanzaron un enorme desarrollo, primero con Joseph von Fraunhofer en Alemania y luego con Alvan Clark y su hijo en los Estados Unidos, en la segunda mitad del siglo. Con la introducción de la fotografía en astronomía a partir de 1880, los estudios planetarios se objetivaron. Hasta ese momento los astrónomos observaban a simple vista y dibujaban lo que veían. Las placas fotográficas pasaron a ser un registro objetivo y permanente.

La atmósfera terrestre está en permanente movimiento y ello limita la resolución —la calidad— de las imágenes. En una fotografía la turbulencia de nuestra atmósfera siempre reduce los detalles de Marte, haciéndolos difusos. Al mirar durante largo rato con el ojo en un ocular, las imágenes se ven muy bien por un instante y el cerebro del astrónomo puede registrar finos detalles que muy difícilmente son percibidos por una

fotografía. Con películas fotográficas más sensibles, adaptando cámaras de cine al telescopio o ahora con detectores digitales, se toman miles de imágenes y se seleccionan las mejores, una de cada veinte o treinta. Luego, las seleccionadas se suman para producir una imagen que muestre muchos más detalles que cualquiera de las imágenes individuales.

Cuando Marte se encuentra en oposición a la distancia mínima de la Tierra —57.200.000 km— el planeta subtende un ángulo de 25", algo menos de medio minuto de arco. El ojo humano tiene un límite de resolución de un par de minutos, por lo que Marte siempre aparece como un objeto puntual cuando lo contemplamos sin ayuda telescópica. Se necesita un telescopio de más de diez aumentos para empezar a percibir el disco de Marte. Con cien aumentos, a través de un telescopio, veremos a Marte un poco más grande que la Luna a simple vista. Por ello podremos apreciar, como en la Luna, zonas más oscuras, sus casquetes polares, pero sin distinguir aún mayores detalles. Como la atmósfera terrestre, por su turbulencia, no permite resoluciones mejores que un segundo de arco, veremos el planeta con 25 x 25 elementos de resolución o píxeles, esto es, 625 píxeles. Cuando las cámaras fotográficas de los teléfonos celulares tienen 6, 8 o más megapíxeles (millones de píxeles) y para registrar Marte bastarían 625, notamos que la resolución es extremadamente pobre. Un segundo de arco, sobre la superficie marciana, corresponde a 280 km en una oposición muy favorable. No vemos detalles topográficos menores a 200 km ni en los instantes de mayor estabilidad atmosférica. Hoy, con el telescopio espacial Hubble, se logran resoluciones de 0,1"; por ello, Marte se ve con 250 x 250 elementos de resolución, esto es, 62,5 kilopíxeles, algo un poco más razonable: se pueden ver detalles de unos 30 km en la superficie marciana.

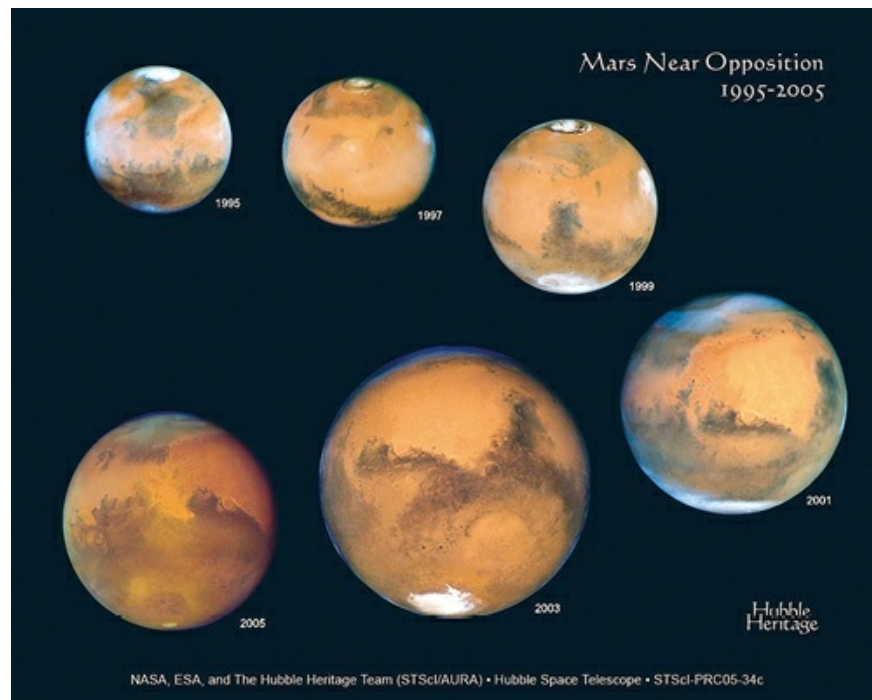
Para tener imágenes detalladas de la superficie marciana fue necesario esperar la visita que hicieron al planeta las primeras sondas espaciales, como los Mariner y luego los Viking. Actualmente se han enviado sondas robóticas que han operado por mucho tiempo desplazándose por la superficie y estudiando la composición del suelo.

Oposiciones de Marte

Marte demora 687 días en recorrer su órbita; la Tierra, 365,25 días. Cada 780 días, en promedio, la Tierra adelanta en una vuelta al planeta Marte y vuelve a repetirse una nueva oposición (un planeta está en oposición cuando está en dirección opuesta al Sol, esto es, se ve en el meridiano de un lugar, a la medianoche). Las oposiciones se repiten aproximadamente cada dos años y dos meses. Como la órbita de Marte es bastante más excéntrica que la de la Tierra, en ciertas oposiciones Marte está cerca de la Tierra (unos 60.000.000 km), y en otras la distancia supera los 100.000.000 km. Cada quince años se vuelven a repetir las oposiciones favorables. En 2018 Marte estará en oposición, el 27 de julio, a tan solo 57.000.000 km, mientras que en 2020 la oposición todavía será bastante buena (62.000.000 km), pero las siguientes no serán así (ver tabla). Para ir a Marte hay una ventana de oportunidad cada dos años y dos meses, cuando recurren las oposiciones, pero cada quince años las circunstancias más favorables vuelven a repetirse. El hombre debería pensar en ir a visitar Marte en 2033 o particularmente en 2035. Nos quedan solo 17 años, y como no es nada fácil, debemos apurarnos. La siguiente oportunidad realmente favorable no vendrá hasta 2050.

Año	Oposición	Distancia (en millones de kilómetros)
2010	29 enero	99,33
2012	3 marzo	100,78
2014	8 abril	92,39
2016	22 mayo	75,28
2018	27 julio	57,59
2020	13 octubre	62,07
2022	8 diciembre	81,45
2025	16 de enero	96,08
2027	19 febrero	101,43
2029	25 marzo	96,0
2031	4 mayo	82,5
2033	28 junio	63,9
2035	15 octubre	57,10

La situación no es tan mala como se puede creer a partir de la tabla. Una nave en curso a Marte se va alejando de la Tierra lentamente, adelantándola en su curso alrededor del Sol y abriéndose hasta llegar a la órbita de Marte (y eventualmente al planeta). En ese curso, siguiendo una trayectoria elíptica, recorrerá más de 600.000.000 km y se separará de la órbita terrestre, en un caso 60.000.000 y en el peor 100.000.000 km. La diferencia en el tiempo de viaje es de 8 meses a 9,5 meses. Para realizarlo en menos tiempo la nave debe acelerar más y alcanzar una mayor velocidad, pero luego debe “frenar” para llegar a Marte a la velocidad con que Marte se desplaza en el sistema solar (de 24,2 km/s). Para acelerar y frenar la nave debe gastar combustible, que es siempre un bien escaso. El problema con el viaje “de energía mínima” es que tomará cerca de dos años entre la ida y el regreso. Eso representa un enorme desafío para la salud de los astronautas, pues en la nave la protección que tendrán de los rayos cósmicos será deficiente.



Aquí se aprecia el tamaño aparente de Marte, a escala, en diversas oposiciones. En las de 1995 y 1997 Marte estaba muy alejado de la Tierra, en cambio en 2003 estaba mucho más

cerca.

La nave Viking 1 tocó suelo marciano el 20 de julio de 1976 en Chryse Planitia, el hemisferio norte marciano. La nave Viking 2 amartizó (aterrizó en Marte) en Utopia Planitia el 3 de septiembre de 1976. El Mariner 9 fotografió todo Marte durante 1972, descubriendo volcanes y cañones. El volcán monte Olimpo es tres veces más alto que el monte Everest en la Tierra, y el cañón Valles Marineris tiene una profundidad de 6.500 m, un ancho de 240 km y una longitud de más de 2.000 km.

Giovanni Schiaparelli (1835-1910) fue un notable astrónomo italiano, historiador de la ciencia y senador del reino de Italia. Se lo recuerda especialmente por su trabajo sobre el planeta Marte. Estudió en la Universidad de Turín, donde se graduó en Ingeniería, Arquitectura e Hidráulica. Posteriormente estudió astronomía, matemáticas y lenguas. En 1857 partió a Berlín a estudiar astronomía con Johann Encke, donde estuvo dos años. También viajó a Rusia al observatorio de Pulkovo, bajo la dirección de Otto Wilhelm von Struve. En 1860 regresó a Italia a trabajar en el observatorio de Brera, en Milán. Entre 1864 y 1900 se desempeñó como director del observatorio.

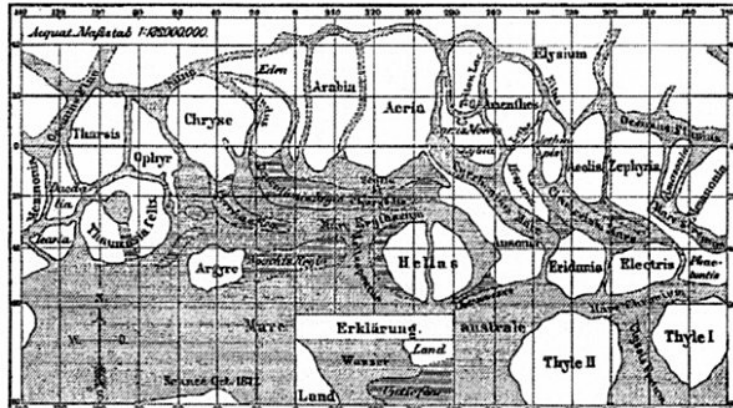
Schiaparelli asoció la lluvia de estrellas —conocida como las Leónidas— con el cometa Tempel-Tuttle. Esta asociación entre lluvias de estrellas y cometas ha demostrado ser muy acertada. Los cometas son objetos pequeños, de alrededor de 10 km, compuestos de hielo (principalmente de agua, pero también de metano, anhídrido carbónico y amoníaco) y partículas de polvo, granitos de arena y pequeñas piedras. Al acercarse al Sol, la superficie del cometa se sublima (pasa de sólido a vapor sin pasar por líquido) y forma una coma alrededor del núcleo que puede alcanzar dimensiones de unos 100.000 km (una diez veces el tamaño de la Tierra). La radiación y el viento solar arrancan de la coma una enorme cola que puede alcanzar los 100.000.000 km (casi la distancia de la Tierra al Sol). Como el núcleo del cometa es muy pequeño, la coma y la cola se desligan de él y continúan viajando en la órbita del cometa, pero ahora como un

enorme conjunto de partículas libres. Al sublimarse, el agua desprende partículas que forman una especie de tubo en la órbita del cometa. Con el paso del tiempo ese tubo se va ensanchando; las moléculas se van disipando, pero las partículas continúan en la órbita del cometa. Cuando la Tierra, en su curso anual, pasa cerca de la órbita de un cometa, cruza ese “tubo” de partículas y se produce el fenómeno que se conoce como “estrellas fugaces” o “lluvia de estrellas fugaces”. Cuando una partícula entra en la alta atmósfera se calienta con el roce del aire y termina por quemarse, produciendo un destello de luz. Normalmente, pueden verse tres o cuatro estrellas fugaces por hora. Cuando el número llega a las 60 estrellas fugaces por hora (una por minuto) se habla de una lluvia de estrellas. En algunas de ellas (como las Leónidas de 1833) se cree que ese número superó las 100.000 por hora (30 por segundo).

Schiaparelli, durante la oposición de Marte de 1877, observó la superficie del planeta y encontró que estaba cubierto por una red de estructuras lineales que llamó *canali*. La errónea traducción al inglés como *canals* (que tiene el sentido de un canal construido por el hombre, como el canal de Suez o de Panamá, y no como un *channel*, que es uno natural) dio origen a una amplia gama de especulaciones acerca de hipotéticos habitantes de Marte, que habrían construido esos canales para llevar agua desde los polos al ecuador, para enfrentar una enorme sequía global que sufriría el planeta rojo.

Los canales de Marte fueron siempre sospechosos. El propio Schiaparelli los describe así: “Más que verdaderos canales, de la forma para nosotros más familiar, debemos imaginar depresiones del suelo, no muy profundas, extendiéndose en dirección rectilínea por miles de kilómetros, con un ancho de 100, 200 km o más. Ya he señalado una vez más que, de no existir lluvia en Marte, estos canales son probablemente el principal mecanismo mediante el cual el agua (y con ella la vida orgánica) puede extenderse sobre la superficie seca del planeta” (Schiaparelli, 1895). Schiaparelli nunca le dio el sentido de obras construidas por seres inteligentes, pues, obviamente, para mover agua sobre la superficie no tiene ningún sentido “hacer” canales de 100 km de ancho (Schiaparelli veía los supuestos canales como líneas sobre la superficie del planeta

Marte y, como ya hemos dicho, por la poca resolución que se logra con un telescopio no se pueden apreciar detalles de menos de 100 km sobre la superficie del planeta; canales de 100 m de ancho jamás los hubiera podido observar Schiaparelli).



Mapa de Marte dibujado por Schiaparelli.

El millonario estadounidense Percival Lowell, astrónomo aficionado, fue uno de los más locuaces partidarios y sostenedores de la idea de canales artificiales y de vida inteligente en el planeta rojo. Lowell construyó en Arizona un observatorio profesional con su patrimonio, que en 1930 descubriría el planeta Plutón, y que funciona hasta nuestros días en Flagstaff, Arizona.

No todos los astrónomos de la época aceptaron la idea de los canales marcianos. El italiano Vincenzo Cerulli fue el primero en proponer que los canales de Schiaparelli eran ilusiones ópticas, como se demostró posteriormente. El astrónomo inglés Edward Walter Maunder y el naturalista —también inglés— Alfred Russel Wallace criticaron los canales. Wallace sostuvo que la temperatura y la presión atmosférica en Marte son demasiado bajas como para que el agua pueda existir en forma líquida.

Las primeras imágenes de la superficie del planeta rojo, tomadas por la sonda Mariner 4 en 1965 y los mapas del Mariner 9 de 1971, mostraron que Marte tiene una superficie árida, desértica, con cráteres de impacto y diversas formaciones volcánicas. No existen los *canali*, y nunca pudieron

fotografiarse desde la Tierra. Parece ser que solo los veía el ojo de Schiaparelli, aunque Percival Lowell también creía verlos. Trabajos de hace algunos años sugieren que lo que Schiaparelli vio fue un reflejo en el ocular del telescopio de su fondo de ojo y que los *canali* eran simplemente las venas de la retina de este. Los dibujos de Schiaparelli guardan una enorme semejanza con fotografías de la retina de diversos pacientes. Como el ocular tiene tres lentes de cristal es posible que la luz de Marte que iluminaba su ojo le mostrara un reflejo de este en el ocular. Esta es una de las mejores explicaciones que se han dado acerca de los canales de Marte.

Al comenzar el siglo xx el imaginario popular no dudaba de la existencia de “los marcianos”. Se escribieron libros, artículos, canciones. Una canción nos decía “Los marcianos llegaron ya...”, mientras otra más romántica nos invitaba a pensar en una “marcianita, linda y bella”. Desgraciadamente, la exploración espacial del planeta rojo puso un violento final a esas especulaciones. Las imágenes nos lo muestran como un gran desierto, con una atmósfera muy tenue, que “casi” no tiene agua y que no tiene hoy las condiciones para albergar forma de vida alguna. Pero antes de seguir hablando del planeta rojo, veamos cuáles son hoy sus características más importantes.

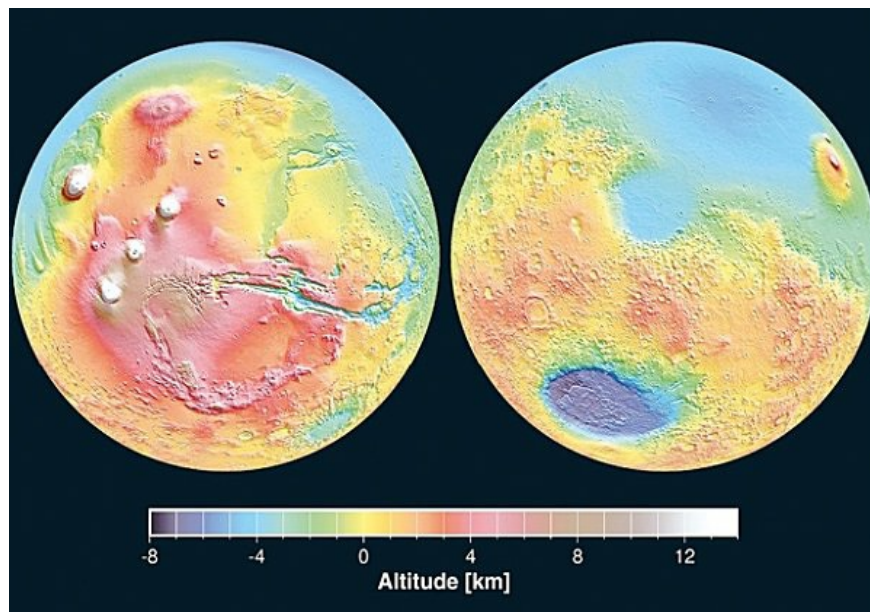
En general, las estrellas y los planetas a ojo desnudo se ven de color blanco, salvo unas pocas excepciones. En particular, el planeta Marte se ve de un color rojo muy notorio. Por ello, las civilizaciones antiguas lo asociaron con la sangre y la guerra, y lo representaron como el dios de la misma. Los romanos le dieron ese nombre, de quien era hijo de Júpiter, dios supremo. Marte fue siempre motivo de interés para los astrólogos que buscaban en el cielo presagios de futuros enfrentamientos. Como Marte gira alrededor de las constelaciones zodiacales cada dos años, y en su curso está varias veces en conjunción con la Luna y los otros planetas (Júpiter, Venus, Saturno), siempre fue uno de los objetos más observados del cielo.



Imagen de Marte tomada por el telescopio espacial Hubble, cerca de la oposición de 2016. Se ven hielo y nubes cerca de los polos (en la parte superior e inferior), y nubes cerca del ecuador marciano, a la derecha.

Marte es rojo porque el hierro presente en sus rocas se oxidó hace mucho tiempo, cuando el planeta contenía mucha más agua que hoy, y su atmósfera era más densa y tenía más oxígeno. Marte posee agua en los polos y bajo la superficie. Si toda el agua se derritiera y quedara en forma

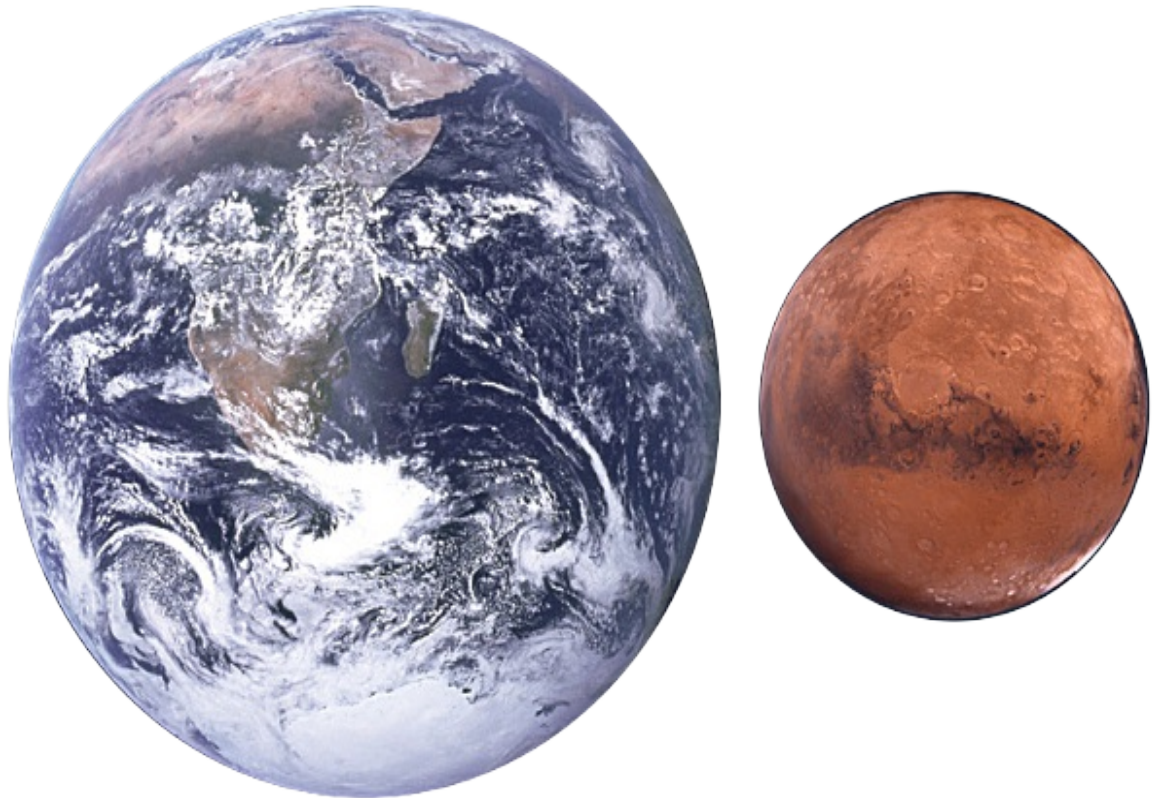
líquida, podría cubrir el planeta entero con 35 metros, esto si el planeta fuese una esfera perfectamente suave. Los científicos piensan que Marte pudo haber tenido océanos, lagos y ríos hace 3.500.000.000 de años, cuando la presión atmosférica y la temperatura del suelo marciano eran más altas. La atmósfera hoy contiene un 96% de anhídrido carbónico, CO_2 , mientras el argón y el nitrógeno hacen un 3,8% con solo trazas de oxígeno y vapor de agua. La atmósfera marciana es unas cien veces menos densa que la de la Tierra, por lo que la presión atmosférica de la superficie de Marte es muy baja, y corresponde apenas a un 1% de la presión atmosférica en la superficie terrestre. Por eso, la presencia de líquidos en la superficie del planeta rojo es imposible; sin presión atmosférica o con una muy baja los líquidos pasan a vapor directamente. Solo puede haber materia sólida o gaseosa en Marte. Por la falta de líquidos (agua) y de oxígeno en su atmósfera, la presencia de cualquier forma de vida en Marte se ve muy difícil o simplemente imposible. En Marte pudo haber habido vida, cuando había agua líquida, pero hoy no.



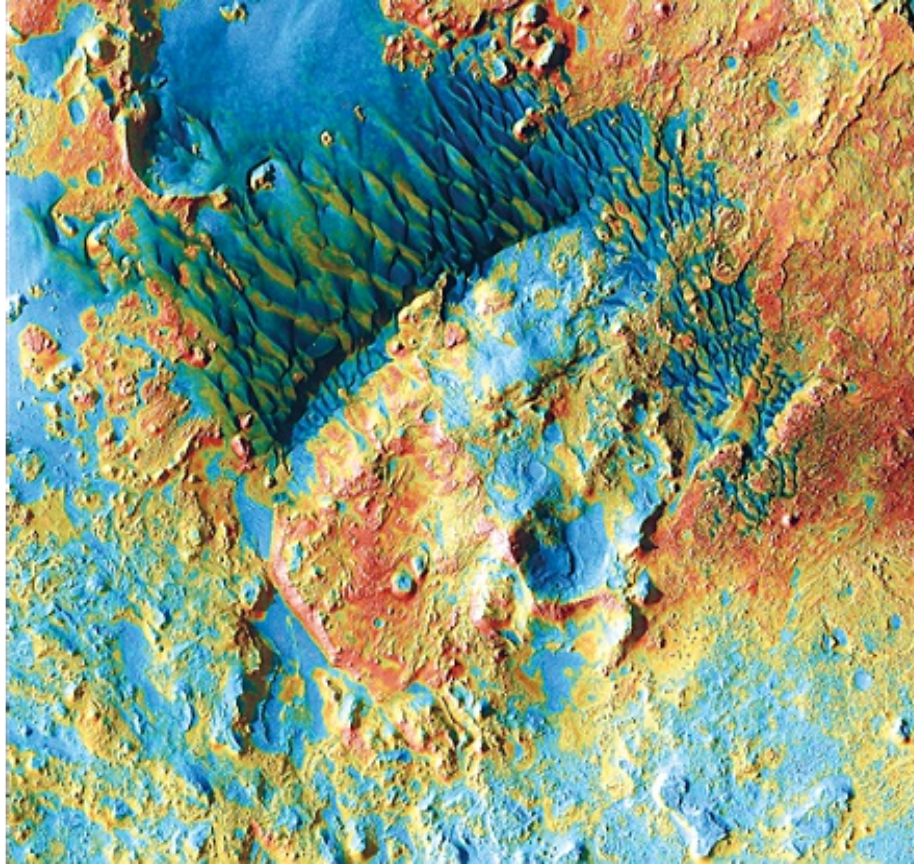
Topografía marciana en falso color que muestra las zonas altas en rojo y las más bajas en azul. El hemisferio norte tiene zonas de menor altura, mientras en el hemisferio sur solo la cuenca Hellas es lo más bajo (en la parte inferior de la imagen de la derecha). En la imagen izquierda se aprecia la zona de Tharsis, que contiene tres volcanes a lineados y un cuarto cerca del borde de la foto. Es el volcán Olimpo, el más alto del sistema solar con casi 25 km.

El tamaño físico de Marte es de solo la mitad del tamaño de la Tierra (6.794 km de diámetro; la Tierra tiene 12.756,3 km). Su masa es de solo el 11% de la masa terrestre ($6,42 \times 10^{23}$ kg contra $5,97 \times 10^{24}$ kg de la Tierra). La aceleración de gravedad en la superficie marciana es de $3,7 \text{ m/s}^2$, un 38% de la aceleración de gravedad en la Tierra, que es de $9,8 \text{ m/s}^2$. Con ello, el peso de cualquier objeto sobre la superficie marciana es de solo un 38% del peso en la Tierra. Por ejemplo, una persona de 70 kg en la Tierra, en Marte pesará tan solo 26 kg. Esto es muy favorable, pues los astronautas deberán cargar un pesado traje con oxígeno para respirar en sus caminatas sobre la superficie. Por pesado que sea el equipo, el astronauta más su equipo pesarán menos en Marte que lo que el astronauta solo pesa en la Tierra, por lo que podrá caminar perfectamente. La hipotética exploración de un planeta con una aceleración de gravedad mucho mayor que la terrestre podría hacer las cosas muy difíciles para los astronautas, que podrían caminar apenas unos pocos pasos. Un astronauta en Marte podrá saltar mucho más que en la Tierra; en principio, tres veces más alto. En el futuro lejano, cuando el planeta Marte esté habitado, habría que organizar Juegos Olímpicos diferenciados por planetas, pues en Marte se lograrían resultados de otro nivel.

Comparación a escala de la Tierra y Marte. El diámetro de Marte equivale a un 53% del de la Tierra.



La distancia media de Marte al Sol es un 50% mayor que la distancia media de la Tierra al Sol. Por ello, Marte recibe dos veces menos “calor” por unidad de superficie que la Tierra, y las temperaturas resultantes son más bajas: van desde -140°C hasta los 35°C . Tal como en la Tierra, las temperaturas máximas se producen en el ecuador y las más bajas en los polos. Como la inclinación del eje terrestre produce las estaciones en la Tierra, análogamente la inclinación del eje marciano produce estaciones en Marte. Como el año marciano dura casi dos años, sus estaciones duran en promedio casi seis meses. Hay una diferencia entre la Tierra y Marte en lo que se refiere a las estaciones: en la Tierra solo influye la oblicuidad de la eclíptica (la inclinación del eje) y la excentricidad de la órbita terrestre no tiene influencia alguna: la Tierra en el perihelio (distancia mínima al Sol) recibe un 7% más de radiación y calor del Sol, lo que no alcanza a hacer que el verano del sur, que ocurre en el perihelio, sea más caluroso que el verano del norte que ocurre en el afelio. En cambio, en el perihelio Marte recibe un 45% de más radiación solar, por lo que el verano del hemisferio austral de Marte, que ocurre cerca del perihelio marciano, debe ser más caluroso que el del afelio. Además, en la Tierra hay océanos, enormes masas de agua que aminoran los cambios estacionales, en cambio en Marte no existen.

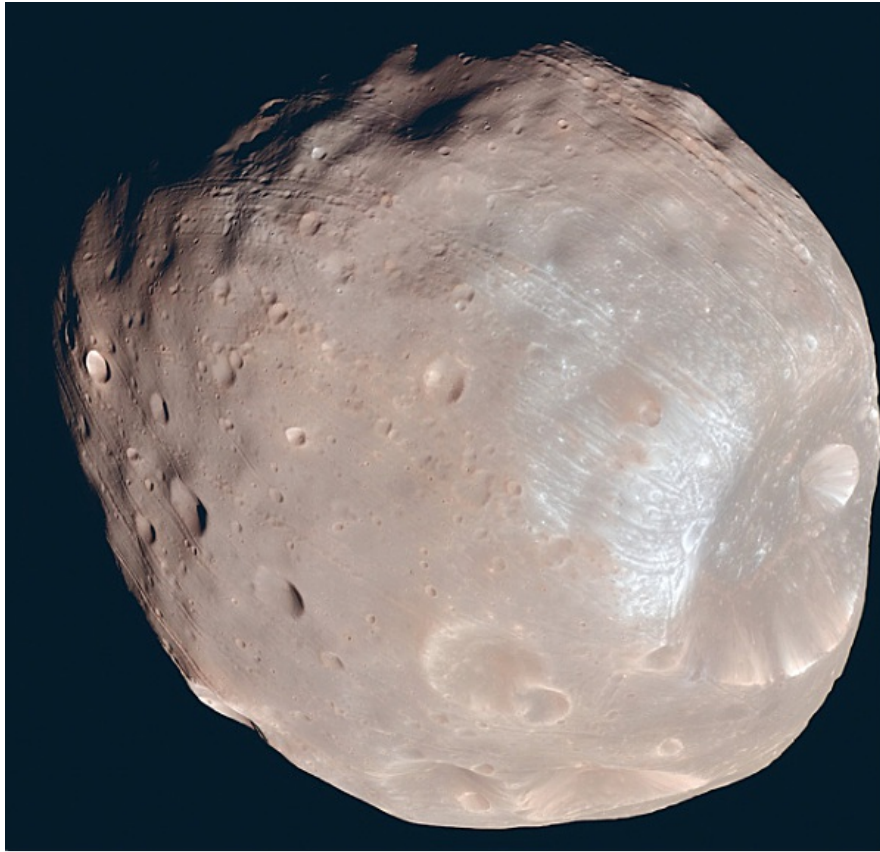


Tierra de Arabia en Marte. Es una de las zonas más antiguas de la corteza marciana y está llena de cráteres. Esta imagen combina fotos ópticas e infrarrojas. Las zonas con arena o material fino se enfrían más rápido y se ven azules, mientras que las rocosas se enfrían más lento y se ven rojas. Es fácil imaginar que en el pasado fluyó agua por la superficie marciana. Créditos: NASA/JPL Caltech/University of Arizona/HI-RISE.

Sin embargo, en el hemisferio en que el verano ocurre en el perihelio (ahora el hemisferio austral), este es mucho más breve que las otras estaciones porque el planeta se mueve con más rapidez en su órbita en el perihelio que en el afelio. Además, el invierno ocurrirá en el afelio y será mucho más frío y largo. En el hemisferio norte el verano transcurrirá en el afelio, y por ello, será mucho menos caluroso (si podemos aplicar esa descripción), pero más largo; y el invierno ocurrirá en el perihelio, con lo cual será mucho más suave. El día en Marte tiene 24 horas con 39 minutos y 35 segundos. El año marciano tiene 668,6 días marcianos (Sol). En días marcianos las estaciones australes (primavera, verano, otoño, invierno) tienen 142, 156, 177 y 193 días, respectivamente. Si usted

quiere, amigo lector, comprar una parcelita en Marte, piénselo bien donde la quiere. Debería ser cerca del ecuador, pues la temperatura hacia los polos puede llegar a los $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el invierno. La “zona habitable” de Marte es la comprendida entre lo que en la Tierra llamamos los trópicos (el trópico de Cáncer en $23,5^{\circ}$ y el trópico de Capricornio en $-23,5^{\circ}$). Los trópicos marcianos estarán a $25,2^{\circ}$ y, por tanto, entre $25,2^{\circ}$ y $-25,2^{\circ}$, por lo que es la zona en que es razonable intentar poner una colonia en el planeta rojo. Las estaciones antárticas operan en condiciones más extremas de temperatura que la zona ecuatorial marciana. Allá la temperatura no será el mayor problema: la falta de una atmósfera importante sin oxígeno, la extrema radiación ultravioleta y la radiación cósmica serán los verdaderos obstáculos. Tanto en la Luna como en Marte las instalaciones deberían ser semisubterráneas para proteger a los astronautas/colonos de la radiación cósmica, la radiación UV y los micrometeoritos.

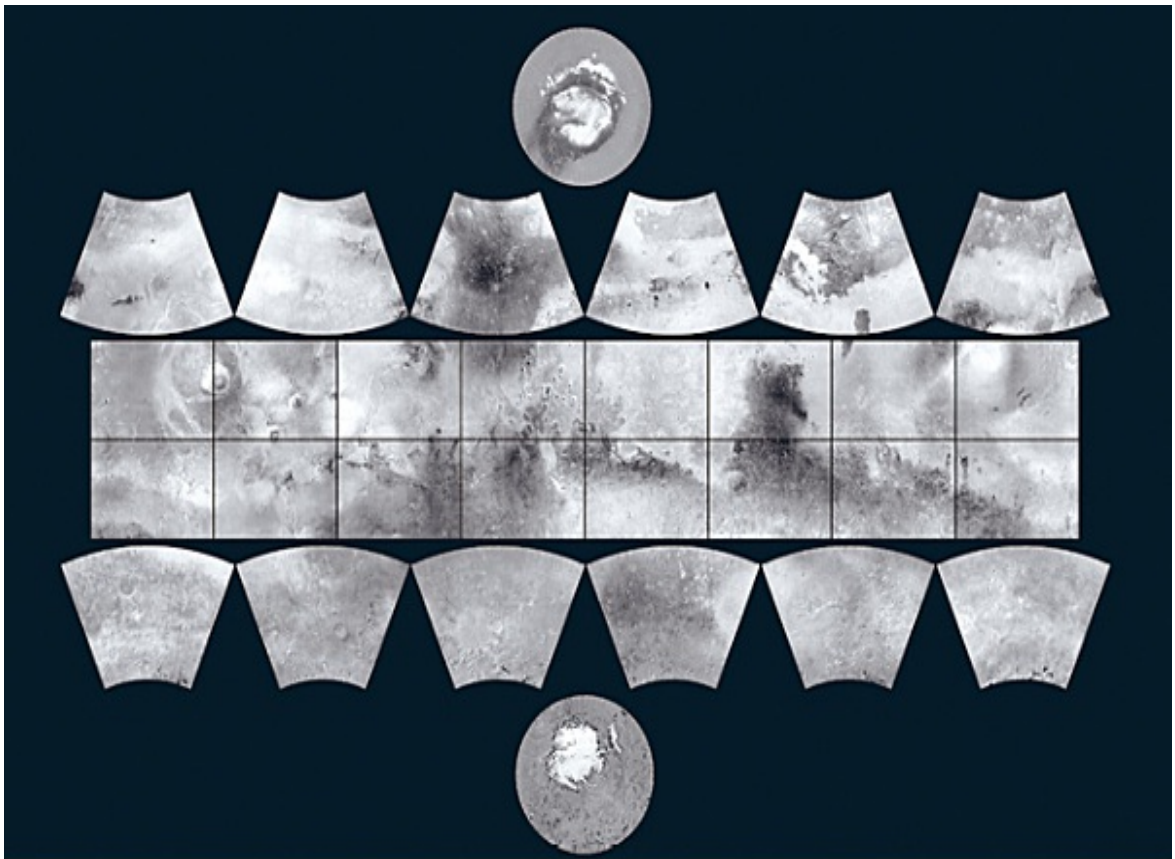
El sistema solar está compuesto por el Sol y ocho planetas divididos en dos grandes familias. Los planetas gigantes, encabezados por Júpiter y Saturno y que completan Urano y Neptuno, están lejanos al Sol, y son muy fríos, gaseosos o de hielo. La segunda familia de planetas la componen Mercurio, Venus, la Tierra y Marte, todos pequeños, rocosos, cercanos al Sol. Entre ambas familias existe una enorme laguna que no contiene planeta alguno, pero que está poblada por cientos de miles de pequeños cuerpos celestes, llamados pequeños planetas o asteroides. Ese verdadero cinturón de asteroides está situado entre Marte y Júpiter, entre $230.000.000\text{ km}$ del Sol y $780.000.000\text{ km}$, con una concentración de ellos entre $400.000.000$ y $500.000.000\text{ km}$. Al día de hoy hay más de 700.000 asteroides catalogados, y su número total puede superar los $2.000.000$. Marte se ubica en el borde interno del cinturón de asteroides, por lo que está permanentemente amenazado por objetos que se le acercan peligrosamente. Su superficie muestra las huellas de una infinidad de impactos.



Fobos es el mayor de los satélites de Marte. Tiene unos 21 km de tamaño y su superficie está severamente dañada por impactos de asteroides. Se cree que ambas lunas marcianas son asteroides capturados por la gravedad del planeta.

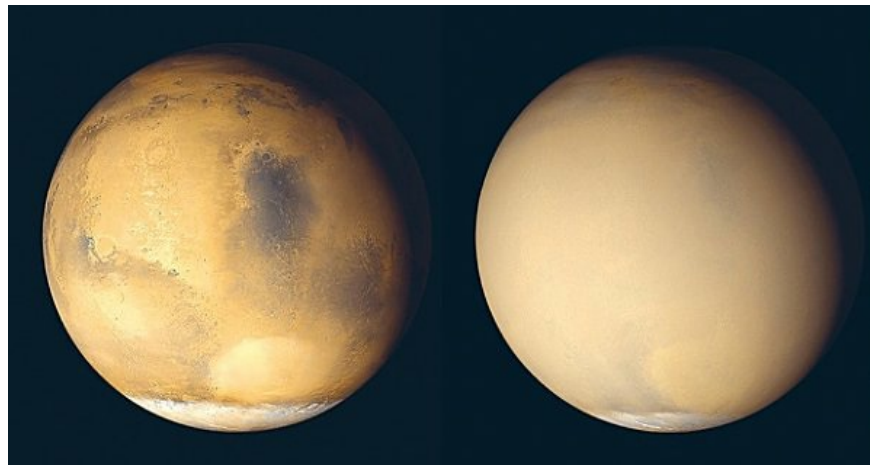


Deimos es el segundo satélite de Marte. Su tamaño es de apenas 12 km.



Cartografía de la superficie marciana hecha por el United States Geological Survey. El ecuador marciano está en el centro de la figura. Los 16 rectángulos centrales muestran la zona habitable de Marte.

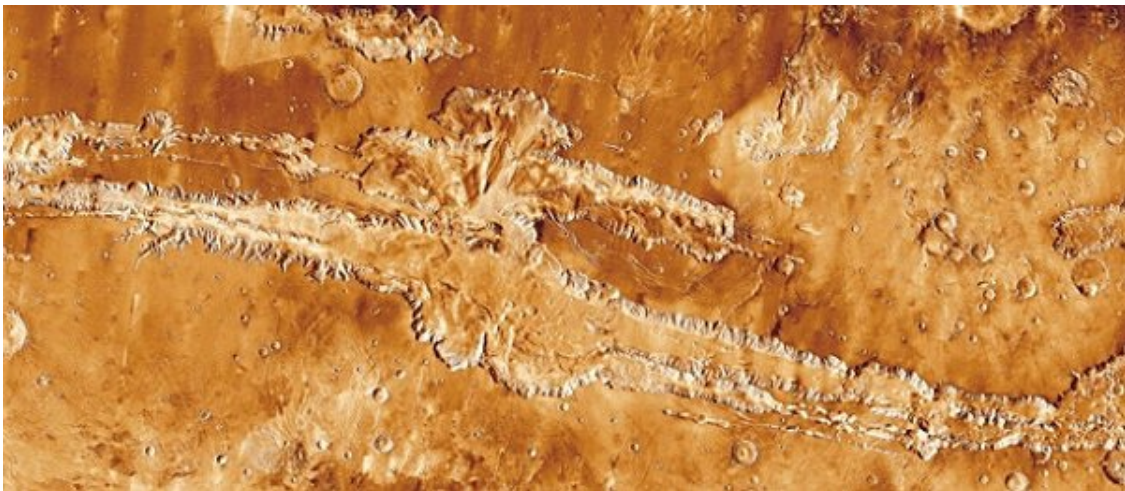
Marte tiene las mayores tormentas de arena del sistema solar. Pese a que su atmósfera es muy tenue, se generan fuertes vientos de hasta 100 km por hora. Esos vientos levantan arena del suelo y producen una tormenta que en ocasiones cubre el planeta entero por meses. Las tormentas de arena deben ser tenidas en cuenta a la hora de pensar en operar una colonia en Marte. Como la energía de toda la colonia debe venir principalmente de paneles solares, en una tormenta de arena la efectividad de los paneles tendrá una merma significativa, por lo que será necesario tener un plan de contingencia. También habría que tener un plan de contingencia para la eventualidad de una tormenta de arena en el momento de un “aterrizaje” en la superficie marciana; más allá de la enorme merma en visibilidad, la entrada en la atmósfera es distinta si el aire está con polvo en suspensión o sin él. Como las tormentas pueden durar meses, la entrada y aterrizaje de una nave debería tener un procedimiento, quizás distinto, para hacerlo durante una tormenta de arena.



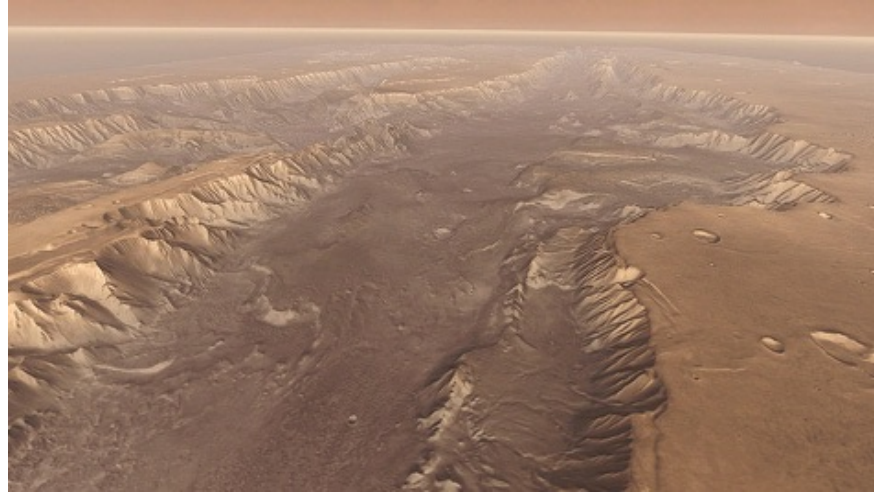
A la izquierda: una foto de Marte captada en junio de 2001 muestra cerca del polo sur una tormenta local en forma ovalada. A la derecha: Marte durante el mes de julio de 2001, cuando la tormenta de arena se ha extendido a escala global. El polvo llega hasta 60 km de altura.

La conquista de Marte tiene un sinnúmero de complejidades que comienzan por lograr aterrizar allí, o más bien, “amartizar”. La atmósfera es muy tenue, muy poco consistente y por ello un paracaídas no trabaja

bien. Una tonelada es lo máximo que puede soportar un paracaídas (o un sistema de paracaídas), pero para instalar una base en Marte será necesario “bajar” 20 o 30 toneladas de enseres, y no es posible con paracaídas, a menos que se separe en docenas de envíos. Se está desarrollando un sistema que han llamado LDSD (*Low-density supersonic decelerator*), una especie de platillo volador inflable que frenará el vehículo a velocidades supersónicas (más rápido que la velocidad del sonido en la atmósfera marciana) para luego abrir un paracaídas. Este sistema se ha probado en fase experimental en la Tierra, pero deberá ser comprobado por experiencias en el lugar antes de darlo por un método seguro para amortizar instrumentos delicados.



Valles Marineris de Marte. Con una longitud de 4.000 km, un ancho de 200 km y una profundidad que bordea los 7 km, es el “gran cañón del sistema solar”. Es un enorme detalle en la topografía marciana.



Valles Marineris en sentido longitudinal; se aprecia la profundidad del cañón.

Otro gran obstáculo para la vida en Marte es el control de temperatura del astronauta. La NASA tiene experiencia controlando temperaturas extremas con astronautas en trajes espaciales que están externamente en el vacío. En Marte hay un aire tenue, pero hay aire. Si la temperatura exterior es de $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, no es lo mismo en el vacío o en la atmósfera marciana. En la Estación Espacial Internacional (EEI), cuando un astronauta está en una caminata en el exterior y el Sol incide en su traje, se puede elevar notoriamente la temperatura al interior del atuendo; inversamente, en la sombra, la temperatura puede llegar a ser muy baja. La brisa en Marte pone una dificultad adicional al control térmico del astronauta. El traje deberá estar presurizado y ser cómodo y flexible; en Marte los diseños deberán contemplar la existencia de un aire tenue en el exterior.



Terraformación de Marte. El planeta rojo y desértico de hoy pasaría a ser como la Tierra en cerca de un siglo. En el proceso, hay muchos parámetros que solo se conocen muy débilmente. Esta ilustración de cuatro etapas, partiendo arriba a la izquierda y terminando abajo a la derecha, resume la conquista de Marte y oculta los miles de miles de dificultades que habrá que vencer para hacer esto posible.

La agricultura en Marte no es simple. Los astronautas no pueden depender de verduras y hortalizas traídas desde la Tierra; deberán cultivar *in situ*. Para tener verduras se necesita de anhídrido carbónico, CO₂, que puede ser suministrado por el aire que exhalan los astronautas. Pero lo que exhalan cuatro astronautas no es suficiente para cultivar hortalizas para cuatro. En el MIT de Estados Unidos se ha mostrado que el CO₂ producido por los astronautas sirve para cultivar hortalizas para la mitad de ellos. Sería necesario obtener CO₂ a partir de la delgada atmósfera marciana, pero eso no es nada de fácil. La atmósfera marciana tiene un 95% de CO₂, pero el tema es cómo introducirlo en los hábitats agrícolas.

Nunca se ha cultivado con la gravedad marciana. El suelo parece servir, pero ¿cómo influye la gravedad marciana en el crecimiento de las plantas? Las plantas producirán oxígeno, indispensable para la respiración de los astronautas, pero ojo: la producción de oxígeno debe ser justo la adecuada. Un exceso del vital elemento puede ser muy dañino, al igual que produce riesgo de explosión. El cuerpo humano respira oxígeno al 21% en la atmósfera terrestre y en altura puede aumentar el oxígeno hasta 28%, pero por arriba de esas cifras se puede producir una intoxicación por oxígeno (efecto Paul Bert) con daño celular por oxidación. La máquina Moxie desarrollada por el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) propone producir oxígeno a partir de CO₂ de la débil atmósfera marciana, generando oxígeno y monóxido de carbono CO (Moxie: *Mars In-Situ Resource Utilization Experiment*). Si esta máquina funciona (una versión pequeña de ella será llevada a Marte por la próxima nave robótica estadounidense, planeada para 2020), la generación de oxígeno no dependerá de lo exitosa o no que sea la agricultura marciana. Tener una provisión de oxígeno para mucho tiempo es fundamental para la vida en Marte (o en una estación en la Luna). El oxígeno líquido es la mejor manera de almacenarlo, ya que un litro de oxígeno licuado se puede transformar en 840 litros de oxígeno gaseoso, a una presión normal de una atmósfera a 20 °C. Una persona consume, en reposo, alrededor de dos gramos de oxígeno por minuto, esto es, unos 3 kg al día, equivalentes a 2,6 litros de oxígeno licuado. Para un viaje de tres años, cuatro personas

consumirán 11.500 litros de oxígeno (13 toneladas del precioso gas). Generarlo y almacenarlo en la base marciana deberá ser una de las primeras tareas de los astronautas al llegar a Marte (el consumo en el viaje es también considerable).



El robot Mars 2020 que llevará una pequeña versión de Moxie.

La vida en Marte entraña muchos peligros, pero antes de enfrentarlos los astronautas deberán sobrevivir al viaje. La radiación cósmica que se debe soportar al abandonar la Tierra es muy peligrosa (también lo es la radiación ultravioleta proveniente del Sol y la radiación asociada al viento solar). Mutaciones, trastornos cerebrales y cáncer son los peligros más inmediatos que se deben enfrentar. La radiación tiene un efecto acumulativo en el organismo. A los astronautas de la Estación Espacial Internacional se les prohíbe volver a subir cuando ya han sido expuestos a una radiación que les ha hecho aumentar en 3% el riesgo de cáncer. En la EEI, a 400 km de altura, los astronautas están expuestos a un mayor nivel de radiación que en la superficie terrestre, pero aún están parcialmente protegidos por el campo magnético terrestre. En el viaje a Marte, si demora cerca de dos años, se pueden exceder ampliamente esos niveles. Además, las primeras naves que trasladarán astronautas serán de pequeñas dimensiones y deben llevar diez o doce pasajeros que compartirán espacios muy reducidos por dos años. El viaje a Marte, a diferencia de uno a la Luna, representa un enorme reto para el grupo humano que lo

intente. Deben viajar dos expertos en *software*, dos en *hardware*, uno ingeniero químico y otro mecánico, un comandante, dos médicos, un biólogo, un geólogo y un astrónomo. La dinámica y el comportamiento de la tripulación serán fundamentales. Por ello, acortar el viaje a tres meses de ida y otros tantos de regreso será fundamental. Muchos de los peligros del viaje crecen enormemente con la duración.

En Marte, en un año, los astronautas estarán expuestos a la radiación que en la Tierra una persona recibe en veinte años. ¿Cómo protegerse? Una posibilidad es construir habitáculos subterráneos en cuevas preexistentes, o cubrir con regolito marciano las construcciones. Con impresoras 3D se puede fabricar material, a partir de suelo marciano, que ofrezca una buena protección contra la radiación.



Lanzamiento del cohete Falcon 9 de SpaceX desde Cabo Cañaveral.

Elon Musk, el líder de Tesla Motors y de SpaceX, cree que su compañía enviará la primera misión robótica a Marte en 2020 y la primera misión tripulada en 2024. Un gran paso en esa dirección lo dio SpaceX con el lanzamiento del cohete Falcon Heavy el 6 de febrero de 2018, el más poderoso desde el Saturno V. Son tres cohetes Falcon 9 puestos a trabajar juntos. A bordo incluyó un automóvil Tesla, modelo Roadster, que va en ruta a Marte y tomará una órbita alrededor del Sol: el primer automóvil que girará en torno a él. La órbita del Roadster y su tripulante, un muñeco

llamado Starman, es tal que en el perihelio se acercará a la órbita de la Tierra y en el afelio a la de Marte. Se cree que estará orbitando el Sol por un millón de años. El Falcon 9 tiene nueve motores Merlin, desarrollados hace ya un tiempo para el Falcon 1. Desde hace varios años que Elon Musk acaricia la idea de transformar nuestra sociedad en una biplanetaria. Según él, los riesgos que corremos en el planeta Tierra son tales que debemos a la brevedad transformarnos en una sociedad multiplanetaria para asegurar nuestra continuidad frente a diversas catástrofes que pueden asolarnos aquí en la Tierra. La más notoria es la caída de un meteorito como el que mató a los dinosaurios y el 85% de las especies vivas en la Tierra hace 65.000.000 de años. Si algo así volviese a ocurrir, y la civilización humana estuviese afincada en la Tierra y en Marte, después de la catástrofe el ser humano podría volver a recolonizar la Tierra, cuando las condiciones ambientales volviesen a ser normales. La idea de Elon Musk es poner a un millón de seres humanos en el planeta Marte en un siglo. Con una civilización de un millón de personas, repartidas en diversas “ciudades” marcianas, los marcianos serían autosuficientes en todo sentido. Podrían viajar a la Tierra por turismo o negocios, pero también podrían vivir allá en forma permanente. Al cabo de pocas generaciones, los marcianos serían una raza muy diferente a los terrícolas, pues que la aceleración de gravedad en Marte sea de solo un 38% de la terrestre producirá cambios notables en la estructura ósea y muscular de los marcianos (recordemos que pesarán solo el 38% de lo que pesamos nosotros). Un marciano de cepa, nacido y criado en Marte, no experimentará ningún placer conociendo *in situ* la Tierra ni recorriendo esos lindos lugares que le mostraron en su educación primaria y secundaria. Preferirá seguir viendo videos del Amazonas, del cañón del Colorado, de los Andes, de la torre Eiffel, etcétera. El turismo posiblemente funcione de mejor manera desde la Tierra hacia Marte. Cuando las naves solo tarden unos pocos días en hacer el camino de ida y regreso, un terrícola podría tomar unas lindas vacaciones de dos semanas en Marte. Se sentirá muy liviano por unos días y luego regresará a su hogar.



Falcon Heavy en la plataforma 39^a de Cabo Cañaveral.

Pues bien, el sueño de Elon Musk y su empresa espacial SpaceX es poner un millón de personas en Marte en un siglo. Como ya hemos dicho, la “temporada” para ir a Marte es cada dos años, en cada oposición. Por ello, a lo largo de un siglo hay solo cincuenta temporadas para viajar. Si se quiere llegar a un millón de personas en un siglo, habría que llevar 20.000 personas por temporada. Como se cree que las naves para transportar personas podrían llevar entre 100 y 500 personas cada vez, habría que hacer varias docenas de viajes en una temporada. El viaje es relativamente largo: nueve meses tradicionales, aunque se habla de reducirlo a solo tres meses o quizás algo menos. Aun así, la misma nave no alcanzaría a hacer varios viajes en una temporada. Sería necesario tener una verdadera flota de naves para cumplir con las 20.000 personas por temporada.

Por supuesto, la colonización de Marte tendrá que ir haciéndose por etapas; los colonos deberán preparar el lugar donde vivirán los colonos de la temporada siguiente. Arquitectos, ingenieros y toda clase de técnicos serán indispensables en las primeras temporadas en el planeta rojo; así también ingenieros agrónomos y biotecnólogos, quienes deberán preparar la comida y el oxígeno para los siguientes invitados. Por primera vez tendremos la posibilidad de planear ciudades incluyendo todos sus aspectos, desde cero. Los técnicos deberán vivir cerca de donde se está

construyendo, los maestros de las escuelas, las escuelas cerca de los niños, las zonas de esparcimiento cerca de las casas, etcétera.



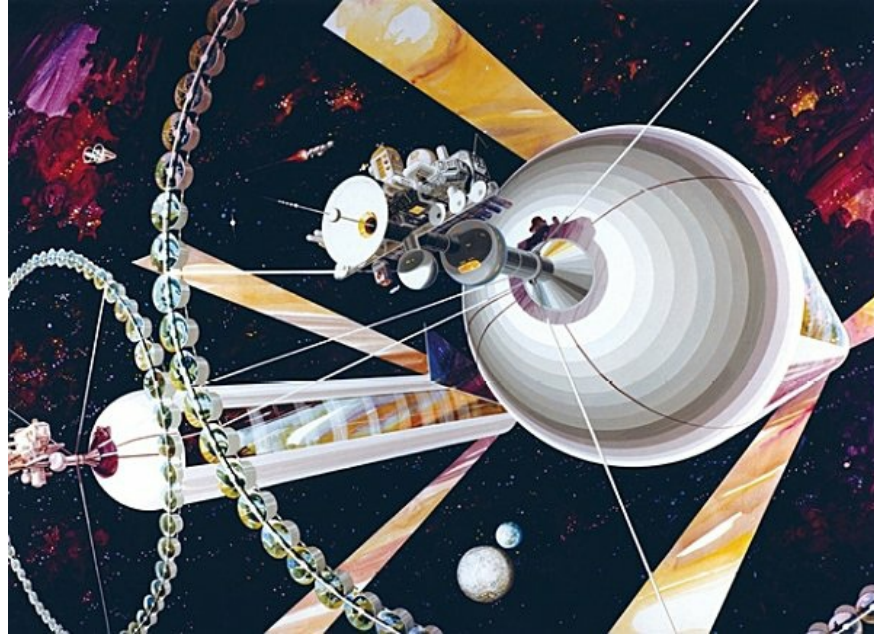
El Falcon Heavy despegando el 6 de febrero de 2018 desde el Cabo Cañaveral. En su vuelo de prueba, puso en órbita solar un Tesla modelo Roadster, con un muñeco a bordo: Starman.



Starman enfrentando las estrellas.

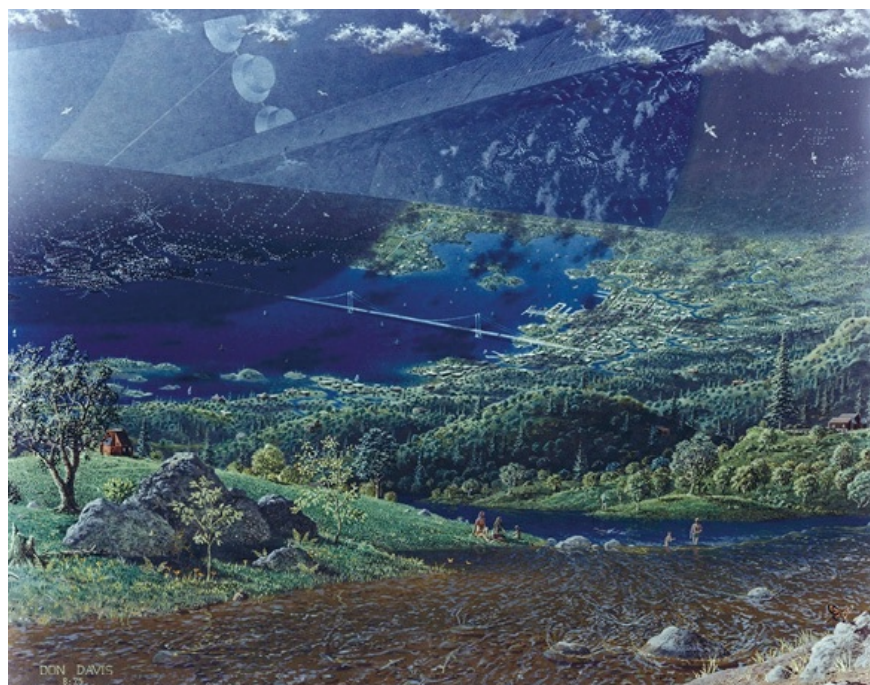
Como la temporada para ir a Marte será de no más allá de medio año cada dos, por un año y medio habrá en la Tierra una disponibilidad de naves espaciales que permitirán conectar los puntos más apartados del globo en no más de 50 minutos. Viajar a las antípodas tomará menos que lo que hoy toma trasladarse al interior de una ciudad grande. De Nueva

York a Tokio se podrá viajar en 25 minutos. La colonización de Marte traerá grandes cambios a la vida en la Tierra. En las comunicaciones, en la producción de frutas y verduras, en la sociología (nos dividiremos en terrícolas y marcianos). Esto no es ciencia ficción: es lo que el futuro nos traerá sí o sí. Puede ser en un siglo, como lo piensa Elon Musk, o tal vez en un milenio; ciertamente el ser humano tendrá grandes asentamientos en Marte, en la Luna y eventualmente en el espacio. Hace ya décadas el físico estadounidense de la Universidad de Princeton Gerard K. O'Neill (1927-1992) propuso un hermoso proyecto que llamó *The High Frontier*. Consiste en instalar en el espacio, entre la Tierra y la Luna, enormes cilindros que podrían constituir pequeñas ciudades autovalentes. Quizás la Estación Espacial Internacional cumple hoy, en pequeña escala y a baja altura, una función parecida a la de las ciudades que imaginaba O'Neill. Los cilindros de O'Neill o una variante de ellos, como los toros de Stanford, pueden permitir una colonización del espacio propiamente dicho. Los cilindros de O'Neill son estructuras huecas que tienen un diámetro de 8 km y una longitud que puede alcanzar los 30 km. Estarían rotando sobre su eje, con lo cual se generaría una pseudogravedad. El cilindro está dividido en seis zonas longitudinales, tres de "suelo" y tres de cielo, alternadas. Los toros de Stanford son estructuras toroidales (de la forma de una dona) de grandes dimensiones y que estarían rotando de modo de generar una pseudogravedad en la cara interna de la dona. En el centro de la estructura habría espejos que introducirían luz en el habitáculo. Toros o cilindros obtendrían energía de la radiación solar. Se puede llegar a visualizar, en un futuro remoto, tantos cilindros orbitando el Sol o toros que absorban la energía del Sol y que permitan la vida de millones de seres humanos. Poblando todo ese espacio, constituiríamos lo que se ha llamado una esfera de Dyson, en honor a Freeman Dyson, quien propuso que las civilizaciones técnicamente avanzadas constituirían una esfera alrededor de su estrella, utilizando de ese modo toda la energía de ella. Las esferas de Dyson solo serían detectables por el calor que producen (radiación infrarroja).

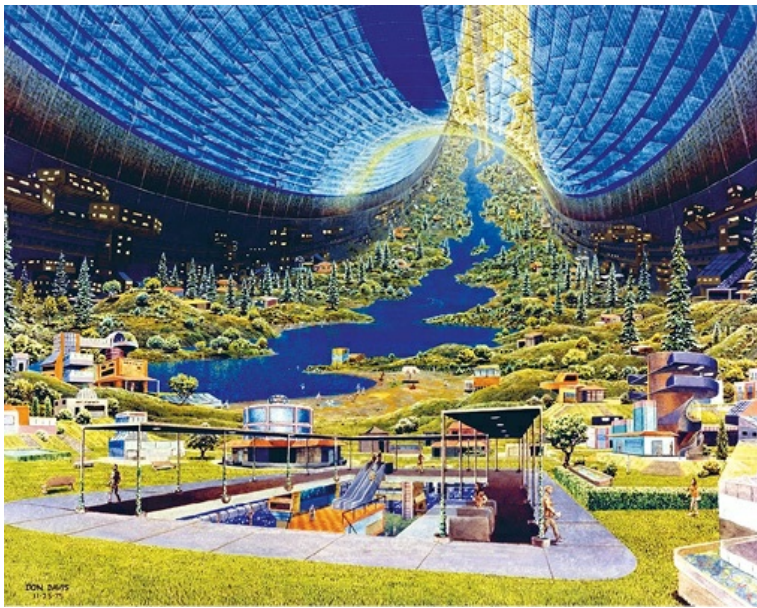


Estructuras cilíndricas en rotación propuestas como habitáculos para varios cientos de personas en el espacio. En la estructura tipo rueda de Chicago habría zonas agrícolas que proporcionarían en diferentes momentos las frutas y verduras para la vida en el cilindro. Grandes paneles solares proporcionarían la energía necesaria. El eje de los cilindros apuntaría al Sol. Así es la propuesta de O'Neill.

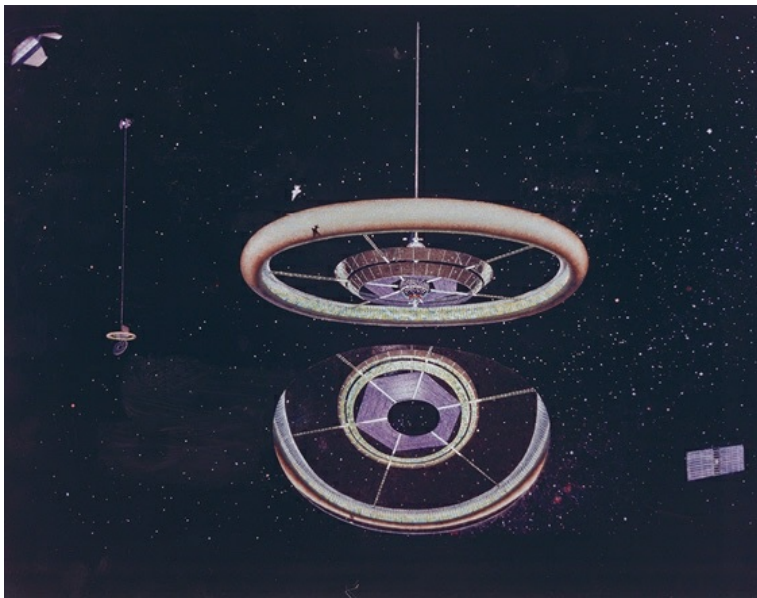
En 2015 Charles Bolden, administrador de la NASA, dijo ante el comité de la Cámara de Representantes de los Estados Unidos de Norteamérica que no cree que las empresas comerciales puedan llegar a Marte sin la ayuda de la NASA. Tanto SpaceX como Blue Origin, empresa del multimillonario Jeff Bezos, dueño de Amazon, hablan seriamente de llegar a la Luna y a Marte por sus propios medios. Musk siempre ha criticado a la NASA por gastar cantidades desproporcionadas de dinero para construir cohetes y naves. Según Musk, a ellos les costó 500.000.000 de dólares desarrollar el Falcon Heavy, mientras que la NASA ha gastado 32.000.000.000 en desarrollar un cohete equivalente. Desde la distancia, a los precios de NASA es muy difícil que la conquista del espacio no sea procrastinada por los gobiernos una y otra vez. Sin embargo, empresas como Space X y Blue Origin parecen tener mayores probabilidades de éxito donde NASA y ESA parecen estar aún algo estancados.



Interior de un cilindro de O'Neill. Como muestra esta ilustración, podría ser un lugar idílico.



Toro de Stanford, una variante del cilindro de O'Neill.



Toro de Stanford. El toro (la rueda) gira produciendo gravedad en su interior. El cielo del toro mira hacia el eje que apunta al Sol, y una serie de espejos proyectan el Sol hacia el interior de la rueda para hacer el día. Para la noche, los espejos cambian de ángulo.

En el libro *El marciano*, del autor Andy Weir, se describe como ficción lo que podría ocurrir en un hipotético futuro viaje a Marte. En la ficción, el astronauta Mark Watney (Matt Damon en la adaptación fílmica de Hollywood) debe sobrevivir por sí mismo en ese planeta, cuando lo dan por muerto y su nave parte de regreso a la Tierra sin él. Seis astronautas viajan a Marte en una nave que queda en órbita marciana mientras ellos bajan al planeta. En suelo marciano los espera otra nave que les servirá para regresar a la nave en órbita. Una repentina tormenta de arena los hace abortar la misión y en el caos de la tormenta pierden a uno de los suyos (Mark Watney). Este se cura de las heridas y deberá sobrevivir por más de un año hasta que lleguen, posiblemente, a rescatarlo. Esto que por ahora es ficción, quizás en el futuro nuestra descendencia lo vea como algo común, un acontecimiento más narrado en las noticias.

Hace ya muchos años, en 1950, el autor estadounidense Ray Bradbury nos narraba en sus *Crónicas marcianas* las aventuras de terrícolas que deben abandonar la Tierra y establecerse en el planeta rojo. Con su magistral pluma, Bradbury nos adentra en el cerebro y el corazón de los marcianos y su sociología, dejando de lado los aspectos técnicos de naves o artilugios. Marcianos originarios y colonos terrícolas que se quieren establecer protagonizan diversas historias. Este libro se enmarca en la idea prevalente en buena parte de la primera mitad del siglo xx de que Marte está habitado por seres que han debido construir canales para llevar agua de los polos a las zonas ecuatoriales.

Hace 4.000.000.000 de años Marte era un planeta “tibio”. El agua corría por ríos y lagos bajo una buena atmósfera. Algo ocurrió y la atmósfera esencialmente desapareció, el planeta se enfrió y se transformó en el árido desierto que es hoy. La atmósfera fue absorbida por el mismo planeta o se “voló” con el viento solar. La respuesta más probable para el enigma parece ser esta última. Tomó quizás cien millones de años, pero parece ser que el viento solar es el principal culpable.

El viento solar contiene protones que interactúan con las moléculas de la atmósfera marciana y que “roban” electrones, dejándolas cargadas eléctricamente, lo que hace más fácil que el viento solar se las lleve. La pérdida de la atmósfera es literalmente causa de “lo que el viento se llevó”, en este caso, el viento solar. La nave estadounidense Maven, que estudia la atmósfera marciana, ha medido la pérdida del argón-36 y el argón-38, dos isótopos del gas inerte argón (uno con 18 neutrones y el otro con 20; el argón siempre tiene 18 protones). Como los elementos livianos son arrastrados con mayor facilidad en la atmósfera, la concentración relativa de Ar-36 y Ar-38 con la altura da una idea clara del proceso. Se cree que el 66% de la atmósfera se ha perdido en los últimos 4.000.000.000 de años. Ver la situación del CO₂ es mucho más importante, pero aun más difícil, pues el CO₂ tiene un comportamiento estacional: se congela en el invierno cerca de los polos y se sublima en el verano. También reacciona para formar otras moléculas. Para hacer “terraformación” en Marte sería ideal si todo el CO₂ se hubiese congelado o hubiese sido absorbido por el suelo. Desgraciadamente, la mayor parte de anhídrido carbónico se fue de Marte en los últimos 4.000.000.000 de años. Por ello, no es posible hacer terraformación en Marte solamente con los elementos encontrados allá.

En la Tierra se ha detectado que los terremotos contribuyen a la emanación de hidrógeno a la atmósfera. La fricción entre placas libera hidrógeno. Como el hidrógeno puede proveer energía para la vida, se piensa que los terremotos en Marte podrían aportar suficiente hidrógeno para permitir la existencia de microbios; no así el suficiente como para abastecer a los exploradores futuros del planeta. Para asegurar una fuente confiable de hidrógeno, sería mejor recurrir a la electrólisis del agua. Así

obtendríamos hidrógeno y oxígeno, dos componentes vitales para las actividades de los colonos.

Para que exista vida en Marte necesitamos agua y oxígeno. La débil atmósfera contiene un 95% de anhídrido carbónico. El desafío de tener una colonia en Marte autosustentable es formidable. Las soluciones van desde la ingeniería genética a nuestra descendencia para hacerlos más resistentes a altos niveles de radiación, hasta ingeniería a una escala global en el planeta para hacer terraformación con una mayor y mejor atmósfera, un clima más templado y con la posibilidad de tener líquidos (agua líquida) en la superficie. Hoy, en las tardes de verano en el ecuador marciano, la temperatura puede llegar a 20 °C y hasta a 30 °C, pero en la noche la temperatura se desploma hasta los -70 °C. En los polos, en el invierno, la temperatura puede llegar a -120 °C.

Para mejorar las condiciones en Marte, un grupo de la NASA encabezado por Jim Green ha sugerido instalar un escudo magnético que proteja la atmósfera del planeta. Marte perdió su campo magnético y ello llevó lentamente a la destrucción de la atmósfera. El escudo magnético se instalaría en el punto L1 de Lagrange de la órbita de Marte. Un alambre enrollado muchas veces, armando una figura parecida a una dona, por el cual circule una corriente eléctrica, generará un campo magnético que puede ser intenso y de grandes dimensiones, como el dipolo del campo magnético terrestre. Un dipolo en ese lugar podría proteger al planeta entero de los efectos del viento solar. Se cree que ese escudo magnético podría aumentar la temperatura de Marte en unos a 4 °C, y con ello fundir parte del hielo seco de los polos, aumentando el efecto de invernadero y eventualmente fundir el hielo de los polos inundando parte del hemisferio norte con agua líquida. Se estima que esto podría ocurrir en unos cien años más. El dipolo magnético tendría que generar entre 10.000 y 20.000 gauss de campo magnético. Se estima que un séptimo de los antiguos océanos se encuentra como hielo en los polos. El punto L1 de Lagrange es uno de cinco puntos de equilibrio en el giro de una masa con respecto a otra. El punto L1 es el que queda en la línea que conecta a las dos masas y donde la fuerza de ambos se iguala. El punto L1 queda a 160 diámetros de Marte, esto es, a 1.100.000 km de Marte. La corriente eléctrica para

generar el dipolo magnético sería suministrada por paneles solares. Como referencia, la Luna está a 380.000 km de la Tierra; el dipolo magnético quedaría tres veces más lejos de Marte que lo que está la Luna, y por grande que fuese, y por grande que fuesen sus paneles solares, sería un punto casi invisible a simple vista desde la superficie del planeta rojo. Con ese dipolo, Marte, el dios de la guerra, combatiría al viento solar y podría recuperar parcialmente su atmósfera.

Reponer la atmósfera marciana en un siglo sería un enorme triunfo de la ingeniería a escala planetaria. Por otra parte, si Marte perdió su atmósfera a manos del viento solar ¿qué sentido tendría regenerar una nueva atmósfera si igualmente podría perderse otra vez? El tema es la escala de tiempo. Se puede regenerar en un siglo y perderse en 100.000.000 de años. Aunque se pierda a la larga, en el corto plazo funcionaría divinamente. 100.000.000 de años da un plazo ampliamente suficiente para buscar nuevas tecnologías para reponer la atmósfera, en caso de que el escudo magnético no funcione tan bien como se piensa. Si el ser humano aprende a hacer ingeniería global en la atmósfera de Marte, obviamente la podrá hacer en la atmósfera terrestre; aquí el problema es evitar que se siga calentando el planeta, todo lo contrario de lo que pretendemos hacer en Marte.

Volvamos a la máquina Moxie, que generará oxígeno a partir del CO_2 de la atmósfera marciana actual. En el proceso se genera CO, monóxido de carbono, gas altamente venenoso para el ser humano. Habrá que tener cuidado de no envenenar la atmósfera marciana tratando de obtener oxígeno. En todo caso, la máquina Moxie generaría pequeñas cantidades de oxígeno, suficiente para que respiren unas pocas personas, no para oxigenar la atmósfera completa. A la larga, el oxígeno planetario en Marte deberían generarlo algas y plantas. La atmósfera marciana, con una presión menor o igual al 1% de la terrestre, equivale a nuestra atmósfera a 100.000 pies de altura (unos 30.000 metros), tres veces la altura a la que vuelan los aviones comerciales. Moxie separará por electrólisis el CO_2 , muy abundante en la atmósfera marciana, en CO y O_2 . Si la prueba de Moxie en el 2020 resulta exitosa, se podrá con ella producir oxígeno para que respiren los astronautas; así también el oxígeno líquido utilizado

como carburante para el regreso a la Tierra (hidrógeno líquido y oxígeno líquido son los dos principales componentes de los motores de la mayoría de los cohetes).

Una variante de la máquina Moxie podría ser utilizada en la Tierra para absorber el CO₂ que está produciendo el calentamiento global de la Tierra. Algún día, en el futuro, cada país debería limpiar la atmósfera de todo el CO₂ que está lanzando a ella por procesos industriales, emisión de vehículos, aviones, etcétera. Así podremos mantener un equilibrio de los gases de efecto invernadero en la Tierra.

Larry Troups y Stephen Hoffman, de NASA, distinguen cuatro zonas distintas para las colonias marcianas:

- **Zona habitada:** el corazón de la base. Donde viven los astronautas/colonos, se hace investigación, almacenamiento logístico y unidades para hacer agricultura.
- **Zona de potencia:** plantas nucleares o solares deben estar aisladas de la tripulación y del resto de la infraestructura, particularmente si son plantas nucleares.
- **Zona de despegue y aterrizaje:** de donde despegan y aterrizan (amartizan) las naves. Eventualmente se pueden fabricar los combustibles para impulsar los cohetes.
- **Zona de aterrizaje de carga:** ubicada más cerca del área habitada, estas zonas son áreas de transporte para la carga que está llegando a la colonia.

Diversos robots ayudarán a los astronautas en la exploración y estudio del planeta rojo. Robots-insectos voladores, robots-canguros que se desplacen a saltos, robots-serpientes que se deslicen por el terreno y otras formas ayudarán en a explorar el planeta. Las primeras instalaciones serán muy simples para luego ir aumentando y mejorando a medida que vayan llegando más astronautas o colonos. Las caminatas sobre la superficie no

serán nada sencillas, pues deben prepararse en una zona especial, con el traje: presurizarlo y adaptar la respiración para poder trabajar con las condiciones de presión del traje. Además, el regolito marciano tiene percloratos que son tóxicos para las bacterias y los microorganismos; también lo son para los seres humanos, por lo que tendrán que tener especial cuidado con el equipo después de la caminata para no contaminar toda la base/ciudad con percloratos.

Las primeras dos tripulaciones en Marte construirán un laberinto de habitaciones parcialmente sumergidas y conectadas por áreas de almacenamiento que contendrán combustibles, alimentos y líquidos para apoyar la vida. Los combustibles y líquidos se obtendrán de la superficie marciana, de glaciares y de la atmósfera. El agua se reciclará para cultivar verduras. Con el paso del tiempo, la tecnología que se desarrolle allá los debería liberar de la dependencia de la Tierra. En un plazo aun más largo deberían proporcionar productos que puedan ser utilizados en la Tierra. Las impresoras 3D, que han sido probadas exitosamente en la EEI, podrían ser de tremenda ayuda en Marte. Incluso se habla de impresoras 3D de alimentos. Esa tecnología, que hoy se desarrolla muy rápidamente, en diez años estará sin duda mucho más avanzada.

En 2015, un concurso de proyectos organizado por la NASA y el National Additive Manufacturing Innovation Institute, de un total superior a 165 propuestas, dio por ganador al proyecto “La casa de hielo” de Marte, una estructura habitacional diseñada como un gran iglú. Construido de material local, deja pasar la luz y protege de la radiación (cinco centímetros de espesor en el hielo del iglú dan una muy buena protección para la radiación cósmica). Otras soluciones proponen construir a partir del regolito marciano, la utilización de impresión 3D y la fabricación de estructuras inflables que luego se recubren con regolito para proteger del frío y la radiación.

¿Se debe construir primero una base lunar para ganar experiencia? ¿Se debe ir directo a Marte? La Agencia Espacial Europea, la ESA, piensa que

con una base lunar aprenderíamos muchas cosas antes de intentar el viaje a Marte. Tener impulsores de gran capacidad y gran confiabilidad es esencial. Contar con una buena nave que nos pueda llevar alrededor de la Luna sin problemas es muy importante. Posiblemente la solución que se adopte se hará paso a paso.

En el ártico canadiense, precisamente en la isla de Devon, existe un cráter de impacto, el cráter Haughton, de casi 23 km de diámetro y que tiene 39.000.000 de años. Se cree que el meteorito que lo produjo tenía unos 2 km de diámetro. Se ubica a 75° de latitud norte. El lugar es desolado y frío, seco, pero no tan seco como Marte, y casi sin vegetación: es “Marte en la Tierra”. El Mars Institute y el SETI Institute operan allí el Haughton-Mars Project. Desde 1997 funciona allí una misión internacional, la que se ha convertido en el experimento financiado por la NASA de más largo tiempo en la superficie terrestre. La estación de investigación del proyecto es un cúmulo de pequeños habitáculos y constituye un modelo de cómo podría funcionar una ciudad marciana. Un habitáculo central, llamado Estación X-1, está conectado radialmente con una serie de carpas en una configuración de estrella. Diez residentes viven allí todo el verano, con la visita ocasional de otros miembros del proyecto. La idea es tratar de reproducir la vida de una colonia marciana en condiciones climáticas y geológicas muy parecidas a las que encontrarán en el planeta rojo. El financiamiento anual del proyecto proviene de fondos de la NASA, en un 50%, y de donaciones y financiamiento de diversas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Disponen además de un Humvee especialmente adaptado para salir (el Humvee es un vehículo militar cuya versión civil se conoce como Hummer). Por dos décadas han estudiado, entre otras cosas, la sociología de un grupo frente al encierro en condiciones de cierto hacinamiento.

Un proyecto de índole semejante se lleva a cabo en la isla grande de Hawái en la ladera del volcán Mauna Loa, a una altura de 2.500 m sobre el nivel del mar. Se trata del proyecto Hi-Seas, de la universidad de Hawái, financiado por la NASA. Entre 2015 y 2016 un grupo de seis “astronautas” estuvieron encerrados en 111 m² solo podían salir a hacer

una pequeña caminata en el exterior cada dos días con un traje especial de “sobrevivencia” (como lo harían en Marte).

Nuestro país cuenta con condiciones extremas, donde ciertamente se podría emular un ambiente marciano y experimentar con diversas técnicas que posibiliten el éxito de un viaje a Marte. El desierto de nuestro norte, el altiplano, la cordillera, los confines australes, la Antártica, podrían prestarse perfectamente para estudiar este tema.

12. ¿POR QUÉ IR A MARTE?

A modo de conclusión, trataré de responder algunas preguntas relevantes: ¿para qué el hombre quiere llegar a Marte y establecer allá una colonia?

Hace casi cincuenta años el hombre llegó a la Luna. Ello trajo consigo la mayor revolución tecnológica de los últimos cien años. Se crearon empresas como la Texas Instruments, la Hewlett Packard, la Microsoft, la Apple y luego el Silicon Valley; se innovó en computadores personales, teléfonos celulares, internet, redes sociales, televisión vía satélite, GPS, control automático, digitalización y robotización. Viajar a la Luna en los años sesenta y setenta nos cambió la vida para siempre. Hoy, el desafío es poner una base permanente o una colonia en la Luna y/o ir a Marte e intentar instalar allá una colonia permanente. El reto de Marte hoy es tan grande como el que fue ir a la Luna hace medio siglo. El viaje demorará meses y desarrollar la logística será mucho más complejo que lo que representó el viaje a la Luna. Tendremos que aprender a hacer agricultura en un ambiente muy hostil, aprender a utilizar el agua con una precisión extraordinaria y crear nuestro oxígeno para poder respirar. En Marte *todo* será muy difícil y esa es la belleza del desafío. Nada será gratis, nada será fácil. Tendremos que pensar muy bien cómo hacer todo, desde lo más común, como respirar y alimentarnos, hasta abastecernos de energía solar.

¿Es realmente necesario, en esta etapa del desarrollo de la civilización, ir a establecerse en Marte?

Evidentemente no es necesario; se puede postergar para los próximos cincuenta años o para el próximo siglo. ¿Era necesario para Colón venir a América? No, no lo era, pero abrió una ruta que cambió el curso de la historia. Cambió la navegación, el comercio, la alimentación, la sociedad, etcétera. Ir a Marte es el gran desafío de nuestra época, es la próxima epopeya. ¿Era necesario para Hernando de Magallanes circunnavegar el globo terrestre? ¿Era necesario el viaje de Darwin? La historia grande de la humanidad está llena de epopeyas que “no eran necesarias”, pero que nos fueron alejando del mono cada vez más. Preocuparnos solo de la UF, del crédito, del PIB, del PIB per cápita, del pago no nos aleja del mono, solo nos hacer girar como en un carrusel.

La conquista de Marte es inevitable desde un punto de vista histórico. La pregunta es si la queremos emprender nosotros o se lo dejaremos a nuestros hijos o nietos. Podemos procrastinar todo lo que queramos, pero no me cabe ni la menor duda de que en mil años más van a vivir en Marte millones de seres humanos (verdaderos marcianos, extraterrestres).

¿Qué podríamos obtener de una colonia en Marte?

Un cúmulo de conocimiento científico-tecnológico. La agricultura en Marte será muy difícil, pero cuando se logre, podremos cultivar tomates y cebollas para la ensalada chilena en pleno desierto de Atacama o del Sahara, si así lo queremos. La construcción en Marte será también muy demandante. Las ciudades marcianas serán como un gran centro comercial moderno, con cientos o miles de estructuras separadas e interconectadas por túneles. La construcción se hará utilizando impresoras 3D para crear paneles, estructuras, etcétera. Esas técnicas podremos luego aplicarlas a la construcción de viviendas en la Tierra (esto ya se está haciendo en la Tierra). La energía sería extraída del Sol con paneles solares y tendríamos que desarrollar eficientes sistemas de almacenamiento para obtener energía en la noche. La energía eólica es también una alternativa atractiva en Marte, pero el viento marciano es muy diferente. Las plantas químicas para separar componentes del suelo marciano tendrán que funcionar muy bien. Cuando una nueva tecnología permita la vida en Marte de un millón de personas, esa misma tecnología beneficiará en la Tierra a 7.000.000.000 o 10.000.000.000 de personas. Marte será un laboratorio para los terrícolas. ¿Está llamado Chile a esta aventura? Yo creo que sí. Por ejemplo, la agricultura de nuestro norte, del altiplano, podría ser un punto de partida para experimentar en agricultura marciana de condiciones extremas. Agricultura en bases antárticas chilenas también serían un gran aporte. La minería en Marte será fundamental; nosotros tenemos en ello gran experiencia. Las telecomunicaciones, la robótica, etcétera. Chile, en una década, contendrá el setenta por ciento de toda la capacidad de observación del universo del planeta. El norte chileno es la gran ventana al universo. La Luna y Marte son nuestros vecinos más inmediatos, por lo mismo, no podemos

ignorarlos. Cuando Colón llegó a América, hace algo más de quinientos años, encontró en estas latitudes un verdadero paraíso. Hoy vivimos en este continente más de 1.000.000.000 de personas. Las cosas en Marte serán aun más diferentes; todo habrá que trabajarlo intensamente, pero cuando lo superemos no habrá problema que en la Tierra no podamos solucionar. Se dice que en quinientos años las condiciones de la Tierra serán tan difíciles por el calentamiento global que quizás la vida no sea posible. Si en esa época el hombre ya hubiese llegado a Marte y hecho terraformación allá, y ya tuviésemos ríos y lagos marcianos y una bella atmósfera, rica en oxígeno y vegetación cubriendo el planeta, se podrá trabajar desde allá para solucionar los problemas que la torpeza de nuestra generación está provocando en la Tierra. La codicia y la ambición del ser humano han hecho mucho daño en nuestro planeta, pero no me cabe la menor duda de que la inteligencia del ser humano, a la larga, prevalecerá.

Agradecimientos

Al Departamento de Astronomía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, por haber sido mi casa por cinco décadas y el lugar donde he realizado toda mi carrera profesional.

Al Centro de Astrofísica y Tecnologías Afines, CATA, centro de financiamiento basal de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Conicyt, de la República de Chile. Gracias al CATA he realizado una multitud de actividades de divulgación que condujeron a la escritura del presente libro.

A mi familia, mi madre Margarita, mis hijos y en particular a mi señora, Mariela, por su constante apoyo. Una mención especial a mis nietos canadienses Emma y Ben, a la distancia, y a mis nietos Antonia y José: estos últimos me distraían mientras yo procuraba escribir.

A Karen Monsalve y a Juan Manuel Silva de la editorial Planeta, por su constante apoyo; Juan Manuel, como editor, mejoró notablemente la prosa de este libro.

A Julio Durán, por recuperar los datos del disco de mi computador, que falló durante el proceso de escritura del libro.

ENCUÉTRANOS EN...



OTROS TÍTULOS DE LA COLECCIÓN

SOMOS POLVO DE ESTRELLAS



UN VIAJE A LAS IDEAS

ANDRÉS NAVAS

UN
33 HISTORIAS
VIAJE
MATEMÁTICAS
A LAS
ASOMBROSAS
IDEAS


 Planeta

LUCES AL FIN DEL MUNDO

NICOLÁS ALONSO

LUCES AL FIN DEL MUNDO

Relatos de ciencia en Chile

 Planeta