

Vuelta a la exploración del espacio

JAVIER GÓMEZ-ELVIRA

Director del Departamento de Cargas Útiles.
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

SUMARIO

LA PRIMERA ETAPA DE LA EXPLORACIÓN DE LA LUNA
P. 14

LAS ESTACIONES ESPACIALES. LABORATORIO DE EXPERIMENTACIÓN
P. 16

LA SEGUNDA ETAPA DE LA EXPLORACIÓN DE LA LUNA
P. 17

EL CAMINO HACIA MARTE
P. 18

CONCLUSIONES
P. 21

Desde tiempos inmemoriales el ser humano se ha imaginado fuera de la Tierra, explorando otros mundos. Uno de los primeros relatos data del siglo II d.C., Luciano de Samosata escribía un libro en el que sus personajes llegaban a la Luna gracias al impulso de un remolino de viento y allí desarrollaban sus aventuras. Desde entonces se pueden encontrar numerosas novelas o relatos de ciencia ficción que discurrían en la Luna, en Marte, otros cuerpos de nuestro Sistema Solar o incluso más allá. De alguna forma todos ellos perdieron un poco de su ficción a mediados del siglo pasado, con los primeros pasos de un astronauta en nuestro satélite. Aunque desgraciadamente lo que parecía el inicio de una nueva era no fue más allá de 5 misiones a lo largo de 2 años.

LA PRIMERA ETAPA DE LA EXPLORACIÓN DE LA LUNA

La primera etapa se inició cuando el presidente Kennedy pronunció su famosa frase: “We choose to go to the Moon... We choose to go to the Moon in this decade and do the 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, and the others, too”¹. Aunque quizás en el comienzo estaba escrito el final: el único objetivo era demostrar que EE.UU. eran los líderes tecnológicos por encima de la URSS, y cuando esto se consiguió el proyecto se paró.

La carrera especial comenzó en 1957 con el lanzamiento del primer satélite artificial por los soviéticos, lo que supuso un revés para EE.UU. A esto le siguió que los soviéticos llevaron a cabo el vuelo del primer astronauta, el primer paseo espacial y la primera unión de dos naves en órbita. Todo ello en el marco de la Guerra Fría. EE.UU. necesitaba demostrar al mundo su capacidad de liderazgo y encontró en la Luna su objetivo perfecto.

Los soviéticos siguieron una política de demostración de capacidades con una organización interna deficiente en la que incluso competían distintas entidades dentro del propio Estado. La urgencia en mostrar sus desarrollos les llevó a grandes fracasos que acabaron frustrando sus opciones de mandar astronautas a la Luna.

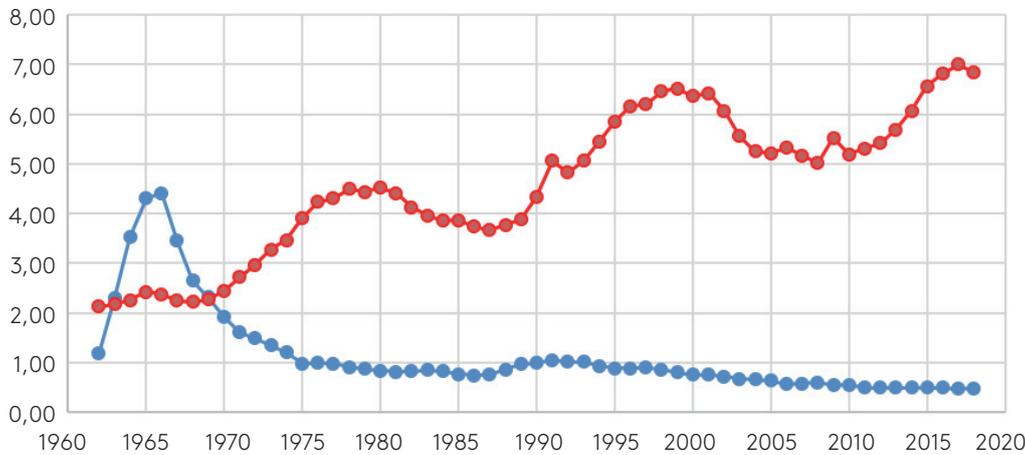
Para conseguir el objetivo de la Luna el gobierno americano realizó un esfuerzo descomunal. La Figura 1 muestra la evolución del presupuesto de la NASA frente al total de la administración, en ella se puede ver que en 1996 llegó a alcanzar el 4,4%, casi doblando los gastos en defensa. En dólares constantes (2018) el presupuesto sería del orden de los 48.000 millones de dólares, más del doble del que tuvo la NASA en 2018, que fue de cerca de los 20.000 millones.

Toda esa enorme inversión tuvo su recompensa en las imágenes de los primeros pasos de Neil Armstrong en la Luna: aparecieron en todos los periódicos de mayor tirada del mundo y unos 500 millones de telespectadores los siguieron por TV. El reto lanzado por el presidente se había alcanzado.

El ritmo de gasto era imposible de mantener y al no haber otro objetivo científico o industrial que justificase el programa de exploración de la Luna, se canceló. A partir de entonces se inició la carrera de las estaciones espaciales en lo que se volvió a competir con la URSS.

El programa Apollo requería un esfuerzo tecnológico enorme y para ello se desarrollaron una serie de programas preparatorios,

FIGURA 1. GRÁFICO CON LA EVOLUCIÓN DEL PRESUPUESTO (EN PORCENTAJE) DE LA NASA (AZUL) Y DEPARTAMENTO DE DEFENSA (ROJO) CON RESPECTO AL RESTO DE AGENCIAS Y DEPARTAMENTOS DE LA ADMINISTRACIÓN DE EE.UU.



Elaborado con los datos de la Oficina del Presupuesto de Estados Unidos².

que fueron: Mercury (1960-1963), Gemini (1964-1966), Ranger (1961-1965) y Surveyor (1966-1968). El coste aproximado de los Mercury fue 1.856 millones de dólares; de los Gemini, 8.352 millones³; de los Surveyor, 3.580 millones⁴, y de Ranger, 1.470 millones⁵ (todo en dólares equivalentes de 2019).

El programa Mercury fue el primero que puso un hombre en órbita y constó de 9 misiones. Sirvió para ver el comportamiento del ser humano en órbita. En esa época se desconocía totalmente cómo era la respuesta de nuestro organismo en ingravidez.

Las 12 misiones Gemini se pusieron en órbita con el lanzador Titan. Con este programa se aprendió a operar en el espacio. Se realizaron maniobras de acoplamiento y paseos espaciales para evaluar las capacidades de trabajo en ambiente de falta de gravedad y con las limitaciones de los trajes espaciales.

Las misiones Ranger (9 misiones, aunque las 6 primeras fallaron), no tripuladas, eran orbitadores que exploraron la superficie lunar buscando potenciales lugares de aterrizaje. Las Surveyor (7 misiones) fueron las primeras naves que llegaron a la superficie lunar; su objetivo era recoger información de sus características

EL COSTE DE LA LLEGADA A LA LUNA FUE DE 210.858 MILLONES DE DÓLARES. EL ADMINISTRADOR DE LA NASA ESTIMA ENTRE 20.000 Y 40.000 MILLONES EL COSTE DE VOLVER A LA LUNA CON EL PROGRAMA ARTEMIS

mecánicas fundamentalmente: datos totalmente necesarios para el diseño del módulo de aterrizaje de las Apollo. Estas últimas también recogieron datos de cómo era el entorno lunar para los astronautas.

En base a todo el conocimiento adquirido se planteó el programa Apollo, que constó de 17 misiones con un coste total de aproximadamente 163.000 millones de dólares⁶ (dólares de 2008; 195.600 millones de dólares de 2019⁷). Si se suma a los programas anteriores se podría decir que el coste de la llegada a la Luna fue del orden de 210.858 millones de dólares. Por poner una comparación, el administrador de la NASA estimaba entre 20.000 y 40.000 millones el coste de volver a la Luna con el programa ARTEMIS.

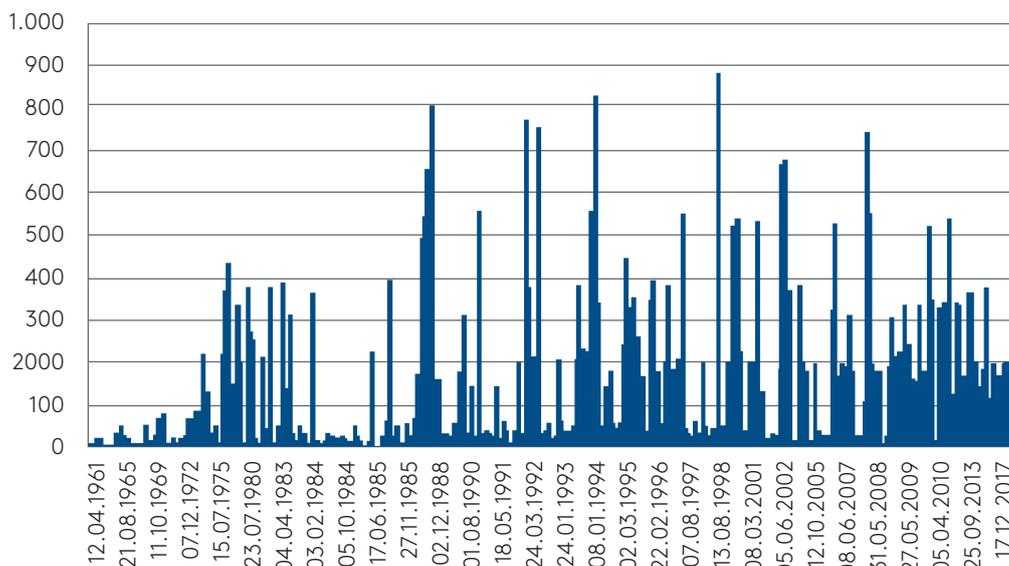
La diferencia de coste es sustancial pero hay que tener en cuenta que en el periodo 1960-1972 (última misión Apollo 17) se desarrollaron gran parte de las infraestructuras que todavía se están utilizando y los lanzadores (la familia Saturno) sigue teniendo el récord de la nave más pesada puesta en órbita.

Todo este esfuerzo tuvo también su impacto en la sociedad civil⁸, muchas de las tecnologías que se desarrollaron han tenido

repercusión en nuestras vidas; podemos fijarnos solamente en tres ejemplos: paneles solares, dispositivos inalámbricos y microelectrónica. Los paneles solares comenzaron a usarse en la exploración espacial y fue precisamente con los programas que se ha mencionado anteriormente como recibieron un gran impulso, aunque no fueron las únicas fuentes de energía, pues también se utilizaron células de combustible hidrógeno-oxígeno de gran interés actualmente. Igualmente, la necesidad de utilizar herramientas para la toma de muestras en la superficie lunar hizo que la NASA encargase a la compañía Black & Decker el desarrollo de herramientas recargables. El Apollo 11 fue el primero en utilizar un circuito integrado en el sistema de navegación y control, desarrollados por la empresa Fairchild: dos años después salió al mercado el Intel 4004, el primer microprocesador desarrollado por personal que salió de Fairchild. Aunque no hay una vinculación directa, el esfuerzo tecnológico realizado para la llegada a la Luna repercutió en el comienzo de la era de la microelectrónica.

Por sus dimensiones el programa Apollo requirió un gran esfuerzo de organización por parte de la NASA⁹. Crear una estructura con delegación de responsabilidades a los distintos centros que participaban en el proyecto para poder controlar a los numerosos subcontratistas que participaron en el proyecto. Se generó una forma de gestión que todavía se mantiene al menos en el sector espacial.

Si desde el punto de vista técnico el balance del programa es absolutamente positivo, desde el punto de vista de exploración humana, en el sentido de acumular experiencia para el futuro, no dio grandes rendimientos. Las estancias en la Luna fueron cortas y el tiempo acumulado fue bastante reducido: para hacerse una idea en las actividades extravehiculares (EVA, en inglés) en Apollo 11 duraron 2 horas y en el último, Apollo 17, 22 horas.

FIGURA 2. DURACIÓN, EN DÍAS, DE LAS ESTANCIAS ACUMULADAS EN EL ESPACIO

En el eje horizontal se muestra la fecha de la primera misión del astronauta correspondiente. El record lo tiene el ruso Genadi Pedalka con 878 días en 6 misiones. El record en una única misión Valery Polyakov con 437,7 días en la estación MIR, en la ISS la estancia más larga ha sido de Scott Kelly con 340,4 días.

LAS ESTACIONES ESPACIALES. LABORATORIO DE EXPERIMENTACIÓN

En 1973 la URSS lanzó la primera estación espacial del programa SALLIUT, a la que le siguieron 4 más. De todas ellas, 3 tuvieron fines civiles y 2 militares. EE.UU. también inició este camino en 1973 con las estaciones Skylab: 3 misiones que estuvieron operando 28, 69 y 84 días respectivamente.

Se inició con estos dos programas una nueva era del ser humano en el espacio, en el que además de hacer tareas científicas o militares se pretendía conocer con más detalle el impacto de largas estancias fuera de la tierra, desde el punto de vista fisiológico, psicológico y de su capacidad de trabajo.

La continuación soviética fue la estación Mir que estuvo en órbita desde 1986 a 1999. Por parte de la EE.UU., se formó un consorcio internacional liderado por la NASA para poner en órbita la Estación Espacial Internacional (ISS, en inglés). El proyecto se inició en 1998 y es un ejemplo de cooperación internacional. La ISS es una colaboración entre EE.UU., Rusia, la Agencia Espacial Europea (ESA),

Italia, Japón, Canadá y Brasil. La mayor contribución, con mucho, es la estadounidense, seguida por la rusa y el resto lo hacen con módulos pequeños, salvo Canadá que contribuye con un robot exterior y Brasil con pequeña plataforma. Hasta la fecha actual la han visitado 288 astronautas de 19 países, incluidos 7 turistas (en la Figura 2 se muestra el tiempo en el espacio de las diferentes tripulaciones).

La ISS ha sido, y sigue siendo, una plataforma de experimentación científica en campos muy diversos, como la biología o los materiales, pero quizás el aspecto más relevante es que se trata del mejor laboratorio para estudiar el comportamiento de los seres humanos en el espacio exterior. No en todos los aspectos, pues por la altura de su órbita, aproximadamente de 400 km, el campo magnético de la Tierra es suficientemente intenso como para proteger a sus ocupantes de la radiación exterior.

De la experiencia acumulada hasta la fecha se sabe que desde el punto de vista psicológico hay una serie de situaciones que pueden desencadenar alteraciones del comportamiento, como son:

TODAVÍA QUEDA POR CONOCER Y POR SOLUCIONAR MUCHOS ASPECTOS RELACIONADOS CON LA VIDA EN AUSENCIA DE GRAVEDAD Y DENTRO DE UN ENTORNO REDUCIDO COMO SON LAS NAVES ESPACIALES

rotura de biorritmos (cada día hay 15 amaneceres); problemas de sueño, típicos de los primeros días aunque ha habido casos en los que se han extendido a lo largo de toda la misión; falta de autonomía, dado que cualquier pequeño percance puede ser un problema por la escasez de medios; fatiga derivada del trabajo diario; relaciones con el resto de la tripulación (la convivencia en un lugar pequeño puede llegar a suponer el fallo de la misión); factores ambientales, como ocurre en la ISS con el ruido ambiente derivado de los sistemas de soporte de vida que obliga a llevar en algunos casos protecciones en los oídos.

Desde el punto de vista fisiológico, la ausencia de gravedad genera numerosos problemas, como son: pérdida de masa muscular, fuerza, resistencia, circulación sanguínea¹⁰, reducción de glóbulos rojos, reducción de oxígeno en la sangre, diabetes, problemas en el sistema de regulación de la temperatura corporal, problemas oculares, etc. La nutrición es otro de los aspectos más relevantes: estadísticamente está comprobado que la mayoría de los astronautas pierde peso en sus estancias en la ISS, pues el tipo de comida, su preparación o su palatabilidad son elementos que influyen enormemente.

Los trajes espaciales también son fuentes de problemas. Se trata de pequeños habitáculos que protegen al astronauta de la radiación exterior, de la temperatura y del vacío, y mantienen unas condiciones aptas para el ser humano. Todas estas condiciones hacen que su diseño tenga que ser muy robusto y por tanto limita enormemente la movilidad y las capacidades de actuación.

De todos los miles de horas en órbita en la ISS sabemos que todavía queda por conocer y por solucionar muchos aspectos relacionados con la vida en ausencia de gravedad y dentro de un entorno reducido como son las naves espaciales.

Como se decía antes, la ISS está libre del efecto de la radiación. El

Sol y el entorno de nuestra galaxia son fuentes de partículas de alta energía capaces de atravesar las paredes de los vehículos espaciales actuales y que pueden ser el origen de numerosos problemas fisiológicos, como diferentes tipos de cánceres. La protección contra la radiación no es un tema resuelto tecnológicamente hasta la fecha actual y su impacto en misiones de larga duración está por conocer.

LA SEGUNDA ETAPA DE LA EXPLORACIÓN DE LA LUNA

Aunque en estos días se está hablando de la vuelta a la Luna no es la primera vez que ocurre desde las misiones Apollo. En 1987, durante la presidencia de Ronald Reagan, se elaboró un documento titulado *Leadership and America's future in Space*¹¹ en el que se planteaban 4 objetivos entre los que estaba colocar una base en la Luna. En el proyecto se planteaban tres fases: búsqueda del lugar de instalación de la base (década de los 90); la segunda fase (2000-2005) en la que se hacían vuelos desde la ISS que aterrizaban en la superficie lunar, y la última fase (2005-2010) en la que ya se establecía una base permanente.

El sucesor del presidente Reagan, George H. W. Bush, continuó con el impulso y la NASA volvió a elaborar otro documento¹² en esa misma línea. Planteaba la exploración de la Luna como una oportunidad para un mejor conocimiento del origen de la Tierra, de los posibles recursos naturales que pudiese tener, como lugar para colocar plataformas para el estudio de astrofísica y como laboratorio para estudiar el efecto en los humanos de la gravedad reducida, la radiación, etc.

Al presidente Bush le siguió Bill Clinton, que no coincidía con las expectativas de su antecesor, de forma que todas las actividades relacionadas con la exploración de la Luna se pararon. Aunque no por mucho tiempo porque su sucesor George W. Bush retomó el interés de su padre e impulsó de

nuevo la vuelta a la Luna. El objetivo¹³ que se fijó fue volver a pisar la superficie de la Luna en el año 2020, para lo cual se planteó el desarrollo de una nueva familia de lanzadores. El coste estimado para la iniciativa era de 12.000 millones de dólares.

De nuevo la política volvió a cambiar el rumbo de la exploración. El presidente Obama estaba más por la exploración robótica y paró de nuevo la llegada a la Luna.

Evidentemente, la primera conclusión que se puede extraer de todos estos vaivenes es que la política ha influido enormemente en la vuelta a la Luna. Los intereses de las distintas administraciones han ido cambiando y los objetivos también. Asociado a esto está el elevado coste del proyecto y que la obtención de resultados va más allá de la permanencia en el cargo de un presidente (más de ocho años), y quizás también que la sociedad no apoya el proyecto de una forma tan decidida como lo hizo con las misiones Apollo.

Con la administración actual vuelve a repetirse la historia. El presidente Trump ha propuesto poner una astronauta en la Luna en 2024 (último año de su mandato en caso de ser reelegido), para lo cual ha lanzado el programa Artemisa¹⁴.

No obstante, hay que poner de relieve un par de diferencias con los intentos anteriores: internacionalización e intereses comerciales. La internacionalización se ha conseguido a través de un grupo de coordinación denominado International Space Exploration Coordination Group (ISECG)¹⁵ formado 18 agencias nacionales y la ESA. Con ello se trata de coordinar todas las actividades relacionadas con la exploración, incluidos Marte y la Luna (en la Figura 3 se puede ver la planificación actual). La cooperación internacional es un aspecto importante para dar estabilidad en el tiempo a los proyectos: el caso más claro en este sentido es el de la ISS, que gracias a esa colaboración sigue en operación.

¿CÓMO ESTÁ ORGANIZADA ACTUALMENTE LA VUELTA A LA LUNA? SE COMPONE FUNDAMENTALMENTE DE: SPACE LAUNCH SYSTEM, CÁPSULA ORION, ESTACIÓN LUNAR GATEWAY, LUNAR LANDERS Y UNA NUEVA GENERACIÓN DE TRAJES ESPACIALES

Muestra de este interés es la resolución¹⁷ de la reunión ministerial de la ESA celebrada en noviembre de 2019 en Sevilla, en la que se destaca el interés de los estados en participar con la NASA en el proyecto Luna Gateway y también en la misión Mars Sample Return y en que los acuerdos a firmar se basen en la experiencia de la colaboración en la ISS.

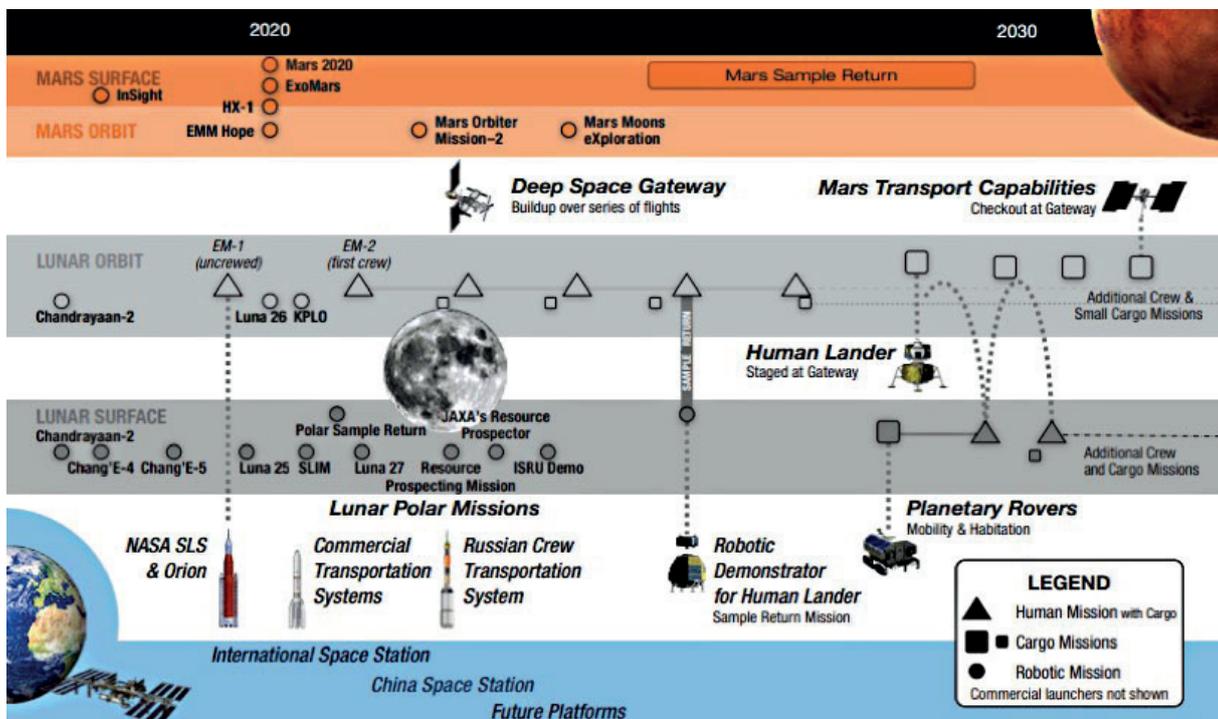
El otro aspecto relevante es el potencial atractivo del sector privado en la exploración/uso de la Luna. Aunque de acuerdo con el tratado de uso del espacio ultraterrestre¹⁸ firmado en el ámbito de la ONU nadie puede adueñarse de la Luna, sí se permite hacer uso de ella. Así, ha habido interés por el parte de diferentes compañías estadounidenses para desarrollar programas turísticos, aunque por ahora únicamente para orbitar a su alrededor por cierto tiempo. También se ha planteado su uso para la obtención de materiales escasos en nuestro planeta o elementos (agua, oxígeno) que pueden ser usados como recursos para misiones en asteroides, el mismo Marte o incluso en posibles bases en su superficie.

¿Cómo está organizada actualmente la vuelta a la Luna? Se compone fundamentalmente de: Space Launch System, cápsula Orion, estación Lunar Gateway, Lunar Landers y una nueva generación de trajes espaciales.

El Space Launch System es un nuevo cohete que tiene una capacidad de lanzamiento de cerca de 26 toneladas fuera de la órbita de la Tierra, ligeramente superior a las capacidades del legendario Saturno V. Es el elemento imprescindible para enviar grandes equipamientos tanto a la Luna como a Marte. Aunque no es el único lanzador que podría ser usado para este propósito, pues el Falcon Heavy, de Space X, llega a ser comparable al SLS (en las versiones más ligeras), con algunas ventajas por parte del desarrollo del Falcon, como es su bajo coste y la capacidad de ser reusable. El coste estimado de cada lanzamiento es del orden de 2.000 millones de dólares¹⁹.

COMO SE PUEDE VER HAY QUE HACER MUCHOS DESARROLLOS PARA VOLVER DE NUEVO A LA LUNA Y EL OBJETIVO DE 2024 PARECE MUY AMBICIOSO Y DIFÍCIL DE CUMPLIR. ESPEREMOS QUE UNA NUEVA ADMINISTRACIÓN ESTADOUNIDENSE NO VUELVA A CAMBIAR DE OBJETIVOS

FIGURA 3. ESTRATEGIA PLANTEADA POR ISECG PARA LA EXPLORACIÓN DE LA LUNA Y MARTE EN LA PRÓXIMA DÉCADA¹⁶



Se pueden encontrar aquí las distintas misiones robóticas planteadas, así como el Deep Space Gateway; todavía no está contemplada el programa Artemis de la NASA.

La cápsula Orion es un desarrollo conjunto de la NASA y de la ESA. Es el elemento para el transporte de los astronautas a la Luna Gateway. Se compone de dos elementos: el módulo de la tripulación y el de servicio (la contribución de la ESA). El coste estimado del desarrollo de la NASA es del orden de los 18.000 millones de dólares.

La estación Luna Gateway es la heredera del proyecto Deep Space Gateway y se trata de un laboratorio para la simulación de viajes de larga duración en un ambiente similar al del espacio profundo (en términos de radiación fundamentalmente). En su desarrollo participan además de la NASA, la ESA, Roscosmos (Rusia), la agencia espacial japonesa y la canadiense. Actualmente está en desarrollo y se tiene planeado que la primera misión tripulada llegue en 2024.

El Luna Gateway servirá también de puerto para las naves Lunar Landers²⁰ que llevarán a los astronautas a la superficie lunar. Astronautas y *landers* se lanzarán separadamente, atracarán a la Ga-

teway y desde allí bajarán y subirán. Actualmente no se ha comenzado ningún desarrollo y se está pendiente de que la NASA ponga en marcha los contratos correspondientes.

El último desarrollo es la renovación de los trajes espaciales. Estos elementos básicos para moverse en la superficie apenas habían evolucionado desde la época Apollo. Se busca sobre todo seguridad, pero también mayor movilidad, mejores comunicaciones, mejor soporte de vida y con capacidad para ser reconfigurados según las necesidades.

Como se puede ver hay que hacer muchos desarrollos para volver de nuevo a la Luna y el objetivo de 2024 parece muy ambicioso y difícil de cumplir. Esperemos que una nueva administración estadounidense no vuelva a cambiar de objetivos.

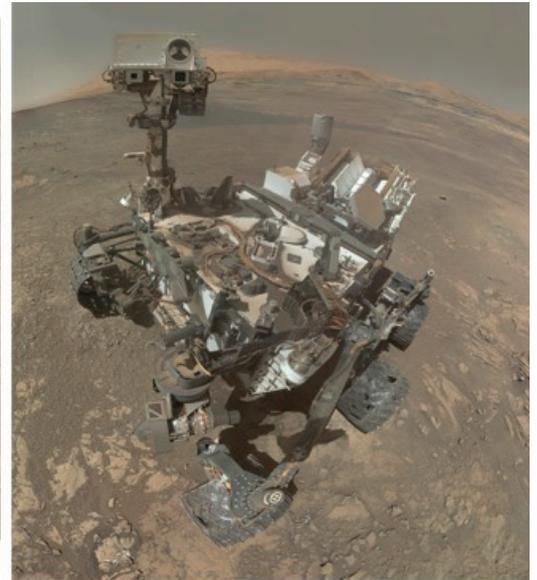
EL CAMINO HACIA MARTE

Marte, científicamente, es mucho más atractivo que la Luna. Sabe-

mos que su evolución ha sido muy semejante a la de la Tierra a lo largo de los primeros millones de años. Fue un planeta con una atmósfera mucho más densa que la que tiene actualmente, con agua abundante y con vulcanismo. Por razones que todavía se desconocen, la atmósfera cambió drásticamente y ahora es muy liviana, lo que ha traído una transformación sustancial de su superficie y en sus condiciones ambientales. Actualmente es extremadamente seco y frío. En su superficie se pueden ver restos de cauces, de volcanes y una atmósfera cargada de polvo en la que se generan tormentas que pueden llegar a cubrir completamente el planeta.

Si existió alguna vez vida en Marte, lo cual no es una hipótesis demasiado atrevida teniendo en cuenta que cuando apareció la vida en nuestro planeta los dos eran semejantes, la búsqueda de sus restos o de algún nicho en el que todavía pudiese mantenerse es extremadamente interesante. La capacidad de exploración

FIGURA 4. LA IMAGEN DE LA IZQUIERDA CORRESPONDE AL CRÁTER GALE EN EL QUE ESTÁ DESARROLLANDO SU INVESTIGACIÓN EL ROVER CURIOSITY, MOSTRADO A LA DERECHA



Uno de los instrumentos del rover es español, se denomina REMS (Rover Environmental Monitoring Station) y está liderado por el Centro de Astrobiología (INTA-CSIC); también una de las antenas de comunicaciones con la tierra fue desarrollada en España, por un consorcio formado por Airbus y Sener (Fuente: NASA/JPL/MSSS).

robótica tiene sus limitaciones y por ello la participación de seres humanos parece un objetivo necesario.

En todos los planes que se han mencionado anteriormente sobre la exploración de la Luna siempre se contemplaba que la llegada a Marte sería el siguiente paso. Ahora mismo la situación es similar. Aunque como en el caso de la Luna han aparecido actores del sector privado que también han puesto sus ojos en Marte.

Uno de los proyectos privados que tuvo más impacto mediático fue Mars One²¹. Promovida por una fundación holandesa, el objetivo era establecer una colonia en Marte con voluntarios que aceptaban la condición de no volver a la Tierra. Se hizo una convocatoria global de voluntarios, con gran éxito, haciendo una primera selección. El problema fue la falta de fondos. La planificación era extremadamente optimista. Actualmente la fundación que soportaba el proyecto está en bancarota.

Space X, la empresa de Elon Musk, ha mostrado reiteradamente sus planes de llegar a Marte, aterrizar en su superficie y es-

MARTE, CIENTÍFICAMENTE, ES MÁS ATRACTIVO QUE LA LUNA. LA EXPLORACIÓN ROBÓTICA TIENE SUS LIMITACIONES Y POR ELLO LA PARTICIPACIÓN DE SERES HUMANOS PARECE UN OBJETIVO NECESARIO

tablecer una colonia en la década del 2050. A diferencia del proyecto anterior, en este caso el promotor es una empresa que desarrolla lanzadores y que tiene capacidad tecnológica, y financiación, para hacer los desarrollos tecnológicos correspondientes²². En cualquier caso, por ahora son planes a muy largo plazo, que sirven fundamentalmente para atraer el interés del gran público.

Independiente de quién realice el proyecto en la exploración de Marte las posibles misiones tienen que contemplar necesariamente: el sistema de transporte y los sistemas a desplegar en superficie.

En la Figura 5 se muestra un esquema de cómo se podría planear una estancia de 500 días en la superficie de Marte, que constaría de tres fases: lanzamiento y puesta en operación de la infraestructura necesaria para sobrevivir en Marte, el envío de la tripulación y la vuelta a la Tierra. Aunque este planteamiento fue realizado en 2009 todavía se mantiene vigente.

La primera fase de transporte comienza con el ensamblaje en órbita terrestre de las dos naves

de carga que transportarán del orden de 100 toneladas de material destinadas a la superficie de Marte; para ello serían necesarios 5 lanzamientos a lo largo de 4 meses. El vehículo de transporte debe estar equipado con motores suficientemente potentes para librarse de la atracción de la tierra y poder frenarse para ser capturado por Marte. En este caso se pensaba en usar motores térmicos nucleares todavía no operativos.

Una vez en Marte el proceso de descenso tiene que diseñarse por completo, porque nunca se ha aterrizado con cargas extremadamente pesadas. La experiencia de la Luna o la de los últimos rovers enviados a Marte no es aplicable. El nuevo sistema deberá estar basado en las técnicas que utilizan los lanzadores Falcon para recuperar sus primeras etapas.

La nave para transportar a la tripulación sería muy similar a la de carga, pero con un módulo habitable que protegiese a la tripulación de la radiación exterior y que incluso pudiese generar gravedad artificial para evitar los problemas derivados de su ausencia. En esta nave irían todos

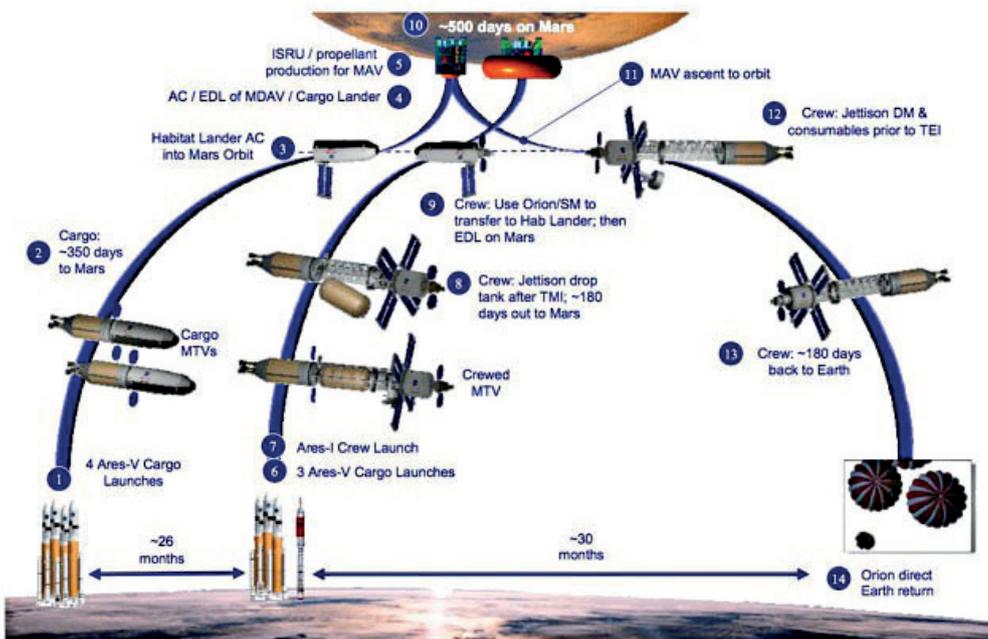
FIGURA 5. POSIBLE ARQUITECTURA DE UNA MISIÓN DE EXPLORACIÓN DE MARTE²³

FIGURA 6. IMAGEN DE UNA SIMULACIÓN REALIZADA POR LA NASA (PROYECTO DESERRAT) EN EL QUE SE SIMULABA UNA BASE DE ATERRIZAJE Y DOS VEHÍCULOS PRESURIZADOS PARA LARGOS DESPLAZAMIENTOS



Fuente: NASA.

los consumibles necesarios por la tripulación. Por dar una idea, se estima que sería necesario transportar 13 toneladas de alimentos para el viaje de ida, vuelta y posibles contingencias.

SE NECESITARÍAN 13 TN DE ALIMENTOS PARA EL VIAJE

La infraestructura en superficie estaría compuesta por una base fija, una especie de *motor-home* para largos desplazamientos, un vehículo presurizado pequeño para desplazamientos cercanos

a la base y un robot teleoperado para llegar a zona difíciles (en la Figura 6 se muestra una simulación realizada por la NASA). Además debe haber sistemas de generación de potencia, posiblemente basados en una combinación de paneles solares y un RTG (termo-generador radiactivo) por sus reducidas dimensiones, así como equipamiento para obtener del oxígeno del ambiente exterior, tanto para los astronautas como para generar combustible para el despegue de vuelta. La zona de aterrizaje estaría cerca de un área en la que se pudiese obtener agua del subsuelo o en su caso de los minerales hidratados que forman el regolito marciano.

Los vehículos de transporte tipo *motor-home* estarían pensados para desplazamientos del orden de 15 días. Deberían ser presurizados y con esclusas para poder salir y entrar, con capacidad para transportar alimentos, con protección contra la radiación, etc.

Una vez finalizada la misión, la tripulación volvería a la nave de transporte e iniciaría la vuelta a la Tierra. El aterrizaje sería en una capsula similar a las que se utilizarán para la vuelta de las misiones lunares.

En el estudio que se menciona antes (nota 15) se identifican diversos retos tecnológicos. En el área de la salud de los astronautas: protección contra la radiación, medidas para contrarrestar el efecto de la falta de gravedad, problemas médicos, sistemas de soporte de vida, problemas derivados del comportamiento; en los sistemas de transporte: lanzadores con alta capacidad de carga, sistemas de propulsión química, de propulsión radioactiva, entrada-descenso-aterrizaje en Marte; en los sistema de superficie: habitabilidad de la base fija y los sistema de movilidad, acceso al subsuelo (obtención de agua), sistemas de generación de potencia, obtención de recursos in-situ.

Muchas de los retos tecnológicos se encuentran lejos de estar resueltos, no porque no existan

los conocimientos suficientes para resolverlos, sino porque no se han dedicado los recursos adecuados en términos monetarios y de recursos humanos.

Como se puede imaginar, evaluar el coste de una empresa de este tipo es extremadamente complicado; no obstante, en 2019 la NASA encargó a un grupo independiente la estimación de coste²⁴. La conclusión es que una misión de estas características no sería posible antes de 2033, pero podría ser factible en 2037, con un coste estimado del orden de 217.000 millones de dólares.

UNA MISIÓN DE ESTAS CARACTERÍSTICAS NO SERÍA POSIBLE ANTES DE 2033, PERO PODRÍA SER FACTIBLE EN 2037, CON UN COSTE DE 217.000 MILLONES DE DÓLARES

CONCLUSIONES

Como hemos visto, la vuelta al espacio es un problema fundamentalmente político generado por el altísimo coste que lleva consigo. La llegada a la Luna parece que está cercana, por lo menos sí existe por ahora un interés de la administración de EE.UU., de la Agencia Espacial Europea y el de otras agencias nacionales. Por lo contrario, la exploración humana de Marte parece mucho más lejana, además de por razones de desarrollo tecnológico por la falta de conocimiento de cómo los astronautas pueden afrontar misiones

de varios años fuera del entorno protector de la Tierra.

No obstante, hay un factor que puede acelerar un poco todos estos desafíos y es la entrada de empresas comerciales. El interés comercial de llegar a la Luna y a Marte puede acortar los plazos, aunque quizás aumentando los riesgos. La inversión en investigación para proteger al astronauta no parece estar en el campo comercial, que por ahora parece que está más polarizada en la búsqueda de sistemas de transporte y posibles vehículos de aterrizaje.

NOTAS

1. Texto del discurso del Presidente John Kennedy en el Rice Stadium <https://er.jsc.nasa.gov/seh/ricetalk.htm>.
2. Office of Management and Budget Historical Tables <https://www.whitehouse.gov/omb/historical-tables/>
3. <http://claude.lafleur.qc.ca/Programcosts.html>. Revisada 2.1.2020. Dólares 2019
4. <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1966-045A>, Revisada 2.1.2020. 469 M\$ en el periodo 1966-1968
5. <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1962-055A>. Revisada 2.1.2020. 170 M\$ periodo 1961-1965
6. <https://christopherrcooper.com/blog/apollo-program-cost-return-investment/>. Revisada 2.1.2020
7. <https://www.dineroeneltiempo.com/dolar?valor=1&ano1=2008&ano2=2019>. Revisada 2.1.2020
8. NASA Facts. Benefits from Apollo: Giant Leaps in Technology. FS-2004-07-002-JSC
9. Mision-oriented R&I policies: in-depth case studies. Case Study Report Apollo Project (US). https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/mission_oriented_r_and_i_policies_case_study_report_apollo_project-us.pdf
10. Recientemente se ha informado de un problema no identificado hasta la fecha actual. Se detectó en un astronauta de un coágulo en la vena yugular producido por el estancamiento de la sangre por la falta de gravedad. El riesgo era importante por la falta de medicamentos adecuados para su tratamiento. (Información adicional en: K. Marshall-Goebel et al. Assessment of Jugular Venous Blood Flow Stasis and Thrombosis During Spaceflight. JAMA Network Open. 2019;2(11):e1915011
11. NASA Leadership and America's Future in Space. <https://history.nasa.gov/riderep/main.PDF>
12. Report of the 90-Day Study on Human Exploration of the Moon and Mars https://history.nasa.gov/90_day_study.pdf
13. https://www.nasa.gov/missions/solarsystem/bush_vision.html, revisada 2.1.2020
14. <https://www.nasa.gov/specials/artemis/> revisado 10.01.2020
15. <https://www.globalspaceexploration.org/> revisado 10.01.2020. El ISECG está formado por representantes de las agencias espaciales de: Italia, Australia, Francia, China, Canadá, Israel, Alemania, India, Japón, Corea, EE.UU., Polonia, Rumania, Rusia, Suiza, Ucrania, Unión de Emiratos Árabes, Reino Unido y la Agencia Espacial Europea.
16. The Global Exploration Roadmap. January 2018 https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/isecg/GER_2018_small_mobile.pdf
17. Resolution on ESA programmes: addressing the challenges ahead https://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/Resolution_3_Space19+Final-28Nov-12h30.pdf
18. Tratados y Principios de la Naciones Unidas sobre el Espacio Ultraterrestre <https://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11S.pdf>
19. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/10/shelby-mega-approps-10-23-19.pdf>
20. Se denomina *lander* al vehículo utilizado para aterrizar sobre la superficie de un cuerpo y que no dispone de ninguna movilidad.
21. <http://www.mars-one.com/>
22. https://www.spacex.com/sites/spacex/files/making_life_multiplanetary-2017.pdf
23. Human exploration of Mars. Design Reference Architecture 5.0. July 2009. NASA SP 2009-566. https://www.nasa.gov/pdf/373665main_NASA-SP-2009-566.pdf
24. Evaluation of Human Mission to Mars by 2033. Science and Technology Policy Institute <https://www.ida.org/-/media/feature/publications/e/ev/evaluation-of-a-human-mission-to-mars-by-2033/d-10510.ashx>