

# Aprovechamiento de recursos en el Espacio

MANUEL MONTES PALACIO

**EL TRANSPORTE DE LOS CONSUMIBLES NECESARIOS PARA UNA MISIÓN ESPACIAL DE EXPLORACIÓN SE HA CONVERTIDO EN UN PROBLEMA Y EN UN TEMA RECURRENTE QUE PREOCUPARÁ A AQUELLOS QUE DEBAN DISEÑARLA DE UNA FORMA QUE SEA ECONÓMICAMENTE VIABLE. SI QUEREMOS EXPLORAR CON MAYOR LIBERTAD LA LUNA O MARTE, POR EJEMPLO, TENDREMOS QUE ENCONTRAR LA MANERA DE APROVECHAR SUS RECURSOS NATURALES, Y DESARROLLAR TECNOLOGÍAS AVANZADAS PARA ELLO, LAS CUALES PERMITAN DISMINUIR NUESTRA DEPENDENCIA DE LA TIERRA**

**C**ada vez resulta más claro que el futuro de la exploración tripulada del Sistema Solar requerirá de técnicas extremadamente optimizadas para hacerla posible. Para contener los costes de tales iniciativas, deberemos limitar el tamaño de los cohetes y con ello el peso del material que tendremos



*Concepto de base lunar que aprovecha los recursos locales a su disposición.*  
(Foto: NASA)



*Los futuros astronautas buscarán minerales para su explotación en la Luna. (Foto: NASA)*



*Un robot extrayendo hielo de agua de uno de los polos lunares. (Foto: NASA)*

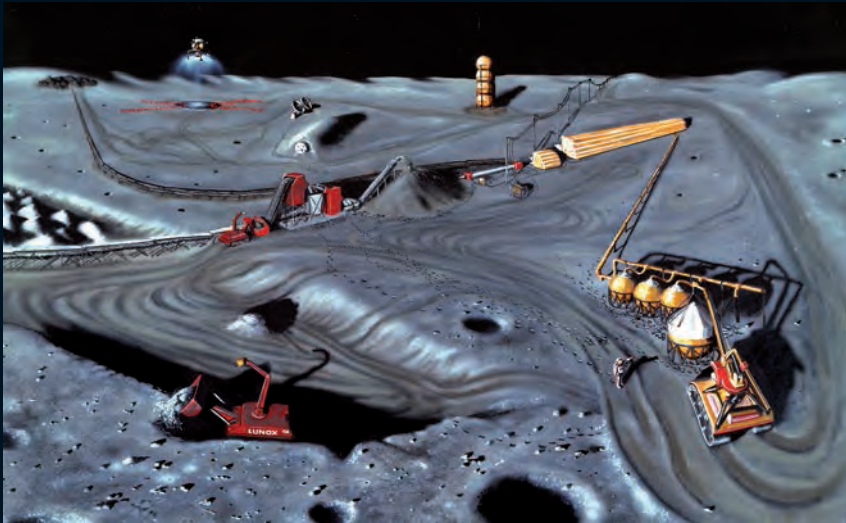
que trasladar hacia las superficies de otros mundos. En este sentido, el aprovechamiento de los recursos que estos cuerpos nos brinden será una manera de lograr este objetivo. La fabricación del combustible necesario para regresar a la Tierra desde Marte, a partir de las sustancias que allí se encuentren, en vez de transportarlo desde nuestro planeta, lo cual requeriría de un vehículo mucho más grande, pesado y caro, es un ejemplo de lo que puede llegar a hacerse.

No sabemos aún cuándo pisaremos por primera vez la superficie marciana, pero mientras tanto podemos ir trabajando en el desarrollo de estas tecnologías, que sin duda marcarán la

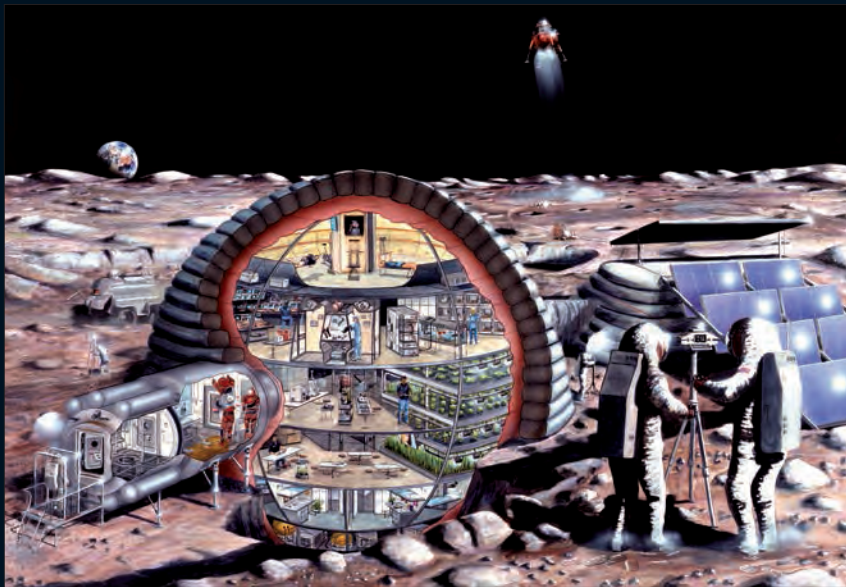
viabilidad o no de dicha empresa. Las que tienen que ver con la llamada ISRU (In-Situ Resource Utilization, es decir, Utilización de Recursos Locales) son algunas de las que están recibiendo en la actualidad una mayor atención, e implican la construcción de sistemas autónomos de producción de elementos y consumibles, que podremos aprovechar en función del lugar al que nos dirijamos. Así, los ingenieros ya planean la obtención de agua a partir del hielo lunar que se oculta en algunos cráteres polares, la producción a partir de ella de hidrógeno y oxígeno para cohetes, el uso del regolito como material de construcción de refugios, etc.

La NASA y la ESA tienen programas en marcha que trabajan en este sentido. Están desarrollando dichas tecnologías, y en algunos casos se están planeando misiones de demostración en el espacio. En otros, las citadas tecnologías se probarán aquí mismo, en la Tierra, en el marco de “análogos”, zonas que reproducen con la mayor fidelidad posible el entorno lunar o marciano. Estas técnicas deberían estar listas cuando decidamos establecer colonias en la Luna e investigar sobre Marte durante largos periodos de tiempo. Además, algunas de estas tecnologías tendrán aplicaciones industriales en nuestro propio planeta, o servirán para obte-

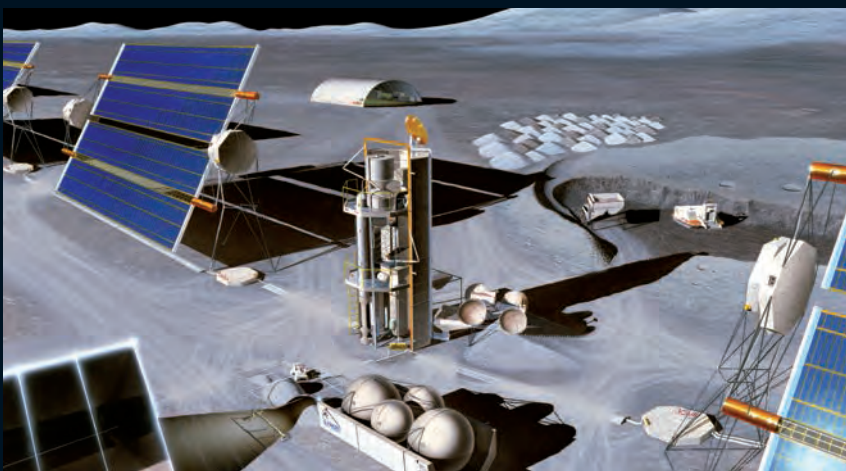




*Un complejo minero lunar. (Foto: NASA)*



*Los hábitats lunares serán protegidos con bloques de regolito. (Foto: NASA)*



*Un sistema de producción de oxígeno. (Foto: NASA)*

ner recursos que se emplearán en las industrias terrestres.

## LÓGICA IMBATIBLE

La idea no es nueva. Los vehículos espaciales llevan mucho tiempo aprovechando la energía solar dependiendo de adónde se dirijan, porque así evitan tener que transportar desde la Tierra la energía necesaria para operar. Los paneles solares que se usan para ello son pesados, pero aún lo sería más la enorme cantidad de baterías que habría que transportar si no se emplearan. Esa misma tecnología se usa en la Tierra, como una aplicación cada vez más interesante en el campo de las energías alternativas. De lo que se trata ahora es de ampliar ese aprovechamiento y de utilizar otros recursos que también están disponibles, aunque sea de forma cruda, optimizando al máximo las misiones. De nuevo, es probable que aplicar esas tecnologías que lo hagan posible no sea barato, pero aún lo sería menos desplazar desde la Tierra aquello que se puede conseguir in-situ. La disminución de los costes de transporte será tan drástica (cada kilogramo en ruta interplanetaria cuesta muchos miles de dólares) que nos ayudará a hacer viables misiones que de otro modo no lo serían. Además, si conseguimos establecer puestos avanzados que sean lo bastante autónomos, podremos multiplicar su número y extender nuestra exploración a más lugares del sistema solar.

El programa ISRU de la NASA, iniciado en 2004, forma parte de otro más general, la Vision for Space Exploration. Dentro de la agencia, la Science & Mission Systems Office se ocupa del primero. Su campo de acción es variado, y va desde la detección y evaluación de recursos útiles en otros cuerpos del sistema solar, hasta el desarrollo de las tecnologías que serán necesarias para su aprovechamiento y explotación. Ello incluye el ensayo de estas últimas.

Como prioridad actual está todo lo que tiene que ver con la extracción de consumibles para recargar los sistemas de soporte vital que utilizarán los humanos. Estos sistemas usan oxígeno, agua, nitrógeno, helio y otros elementos que permiten a los astronautas tra-

bajar y vivir en la superficie de otro mundo distinto a la Tierra, ya sea durante su estancia en hábitáculos o durante las salidas extravehiculares (EVA). También se están evaluando tecnologías para la fabricación y reparación de estructuras, para lo cual será necesario obtener materia prima. De la misma manera, se está estudiando la utilización de regolito lunar y marciano para construir sistemas de protección contra la radiación espacial y refugios para los astronautas.

Una vez identificados los elementos disponibles, deberán idearse los métodos de extracción apropiados. Algunas de las materias primas podrían estar mezcladas con minerales, y otras podrían tener que ser obtenidas a partir de la atmósfera marciana. Los científicos, por tanto, deberán aprender a conseguir los recursos que nos interesan a través de sistemas de extracción o de reacción, para después purificarlos y transformarlos para su aprovechamiento, siempre de una forma optimizada y con el menor gasto posible de energía. Habrá asimismo que buscar formas de manipularlos y almacenarlos, sobre todo teniendo en cuenta que las superficies de la Luna y Marte tienen una gravedad inferior a la terrestre, así como temperaturas mucho más bajas, lo que dificulta las operaciones de transferencia.

## RECURSOS PRINCIPALES

Como se ha mencionado con anterioridad, la luz solar es uno de los recursos más ampliamente aprovechados durante las misiones espaciales, gracias a su disponibilidad. Su conversión en electricidad permite alimentar a los sistemas de las aeronaves. Para lograrlo, se utilizan las llamadas células fotovoltaicas, que se ocupan de efectuar la transformación. Sin embargo, los paneles solares, recubiertos de células fotovoltaicas, poseen una eficiencia aún limitada (el récord actual es de un 40 por ciento), y son bastante pesados en comparación con otras técnicas, como los reactores nucleares o los generadores de radioisótopos, cuando se trata de ir muy lejos, donde la luz solar ya es escasa. Ahora bien, los estudios ISRU han contemplado desde hace tiempo la construcción in-situ de células solares,



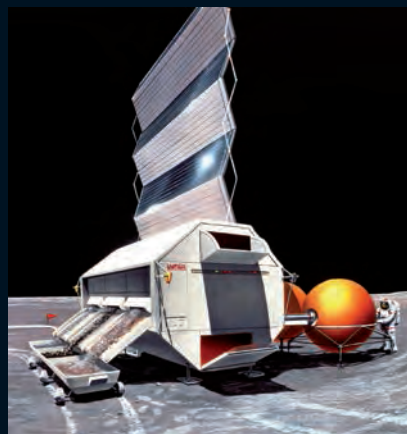
*La extracción de oxígeno para producir oxidante para cohetes podría llevarse a cabo de forma industrial y comercial. (Foto: NASA)*

de manera que éstas no tengan que ser transportadas desde la Tierra. Así, paradójicamente, se utilizarían recursos locales (los materiales para construir las células) para capturar a otros recursos locales (la luz solar que incide en la superficie o en la órbita).

Esta posibilidad ya fue propuesta cuando se examinaron los costes de colocación de grandes granjas solares en órbita alrededor de la Tierra, barajadas como una alternativa ecológica en la producción de energía para nuestro planeta. Si hubiera que lanzar los enormes paneles solares que serían necesarios desde la superficie terrestre, el coste de la operación podría ser inasumible y limitar su utilidad posterior. Para solventar esto, se planteó que los paneles solares fueran fabricados en la superficie de la Luna con recursos lo-

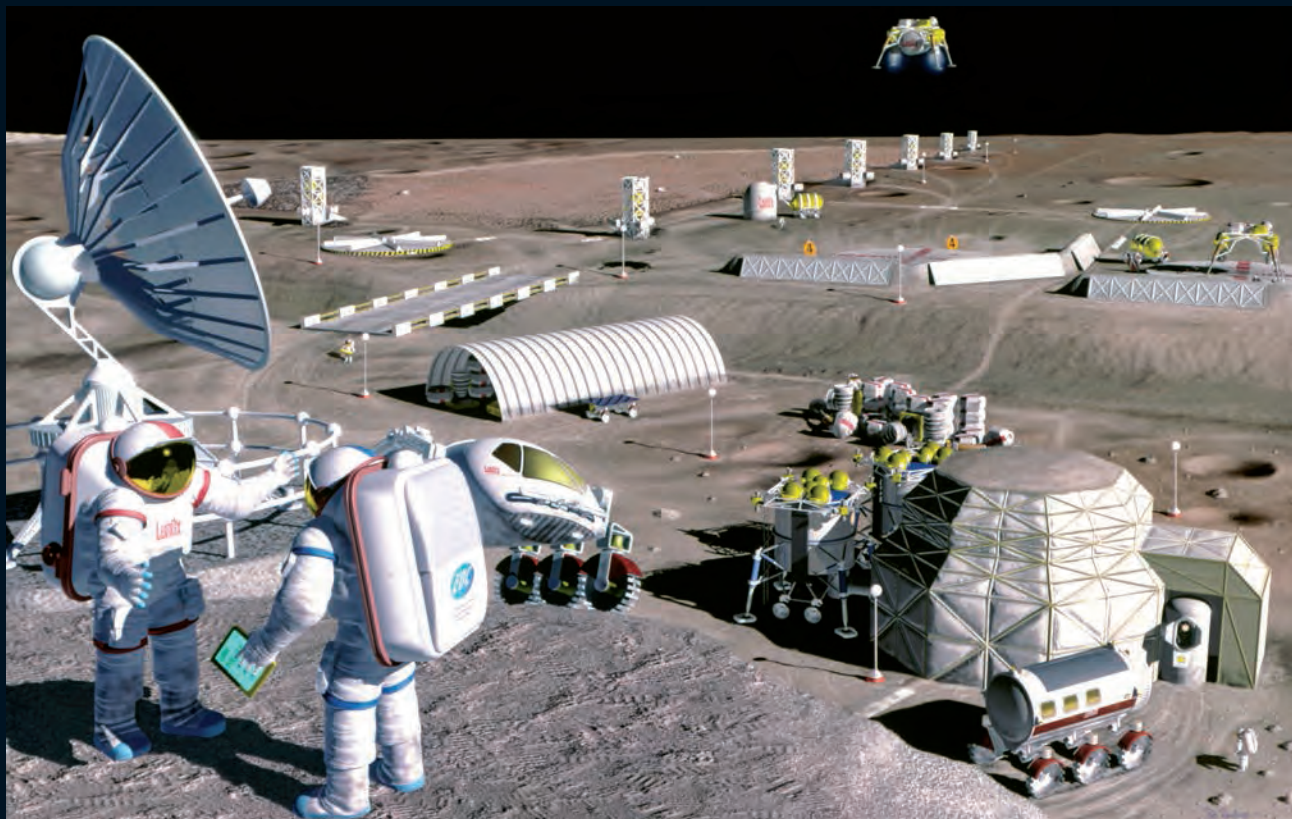
cales, y enviados desde allí hasta las granjas solares en construcción. Los cálculos indican que es mucho más económico enviar algo desde la Luna que desde la Tierra, debido a su inferior gravedad. En todo caso, los estudios realizados apoyaron la viabilidad de la idea, pero ésta está aún lejos de hacerse realidad debido a que es difícil saber con certeza cuánto costaría una infraestructura de producción en la superficie lunar y cuán complejo sería llevarla a cabo. Mientras tanto, esta misma tecnología podría desarrollarse a menor escala, pero no para construir y enviar miles de paneles solares hacia la Tierra, sino para instalarlos en la propia luna, donde alimentarían a una colonia humana establecida allí. Los ingenieros creen que no hay obstáculos técnicos para que algo así pueda realizarse.

Sin embargo, los procedimientos industriales para producir una célula solar de alto rendimiento son complicados, y obtener su materia prima no es el menor de los problemas cuando hablamos de un paraje que no es el de la Tierra. Los químicos deberán desarrollar formas de extraer el silicio que emplearíamos a partir de los minerales lunares, incrustados en las rocas de la superficie. Ya se han hecho experimentos para separar y refinar elementos útiles, si bien parece que sería preciso traer de la Tierra ciertas sustancias reactivas. El objetivo último sería lograr que todo el procedimiento pudiera hacerse de manera totalmente independiente.



*Una instalación como ésta podría procesar regolito para producir oxígeno en la Luna. (Foto: NASA)*





Una base dedicada a la producción de oxígeno lunar. (Foto: NASA)

Una vez demostrado que es posible extraer materias primas concretas de la superficie de otro cuerpo celeste, es más sencillo pensar en una gran variedad de aplicaciones para ellas. La obtención de propergoles para los cohetes sería una de las más interesantes. Por ejemplo, un cohete podría llevar carga o tripulantes hasta la Luna con sólo el combustible para el viaje de ida, disminuyendo así su tamaño y potencia necesarios, así como su coste. Una vez concluida su misión, podría regresar a la Tierra recargando sus tanques en el propio satélite, como si de una gasolinera se tratase. Y el combustible no debería haber sido enviado previamente sino que sería extraído de la propia Luna. Al fin y al cabo, los sistemas de propulsión actuales utilizan como propergoles elementos sencillos, como el hidrógeno y el oxígeno, y am-



El JC-Mars-1A es un polvo que simula el regolito marciano. (Foto: Wikipedia)

bos pueden obtenerse a partir del agua, de la cual sabemos existen reservas en ciertos lugares de la superficie lunar, en particular en puntos en los que el Sol no puede acceder y evaporarla, como ciertos cráteres en los polos de la Luna. El hielo de agua ha sido detectado sin ningún género de dudas en el pasado. Lo que no conocemos aún demasiado bien es cómo se halla distribuido ni su abundancia exacta. Podría formar placas de fácil accesibilidad en determinados lugares, o estar mezclado con el regolito. Una u otra posibilidad implican soluciones diferentes para la extracción, si bien en ambos casos, una vez se haya conseguido el agua, aún será necesario descomponerla en sus componentes individuales a través del procedimiento de la electrólisis, un sistema que requiere energía. El resultado, además, supone obtener ga-

ses que para su almacenamiento y uso deberán ser licuados, otra técnica que necesita energía y que implica trabajar con sistemas avanzados a muy bajas temperaturas.

El hidrógeno y el oxígeno no son los únicos propergoles que es posible conseguir. Otras combinaciones, como el peróxido de hidrógeno, son viables, así como la obtención de sustancias, como el aluminio, con las que tenemos mucha experiencia en sistemas de propulsión sólida. En Marte, además, existe una atmósfera en la que abunda especialmente el dióxido de carbono. Ciertas reacciones químicas (como la de Sabatier) podrían permitir su uso para producir metano, igualmente útil como combustible, y agua/oxígeno.

Como es lógico, la extracción de agua de la superficie lunar no sólo será interesante para producir propergoles. Este elemento es fundamental para la vida, y los humanos lo necesitamos para beber, para refrigerar trajes espaciales, como escudo anti-radiación o para lavarnos, por ejemplo. Adicionalmente, puede ser una fuente directa de oxígeno para la respiración. La tecnología

necesaria para ello se emplea rutinariamente desde hace décadas en las estaciones espaciales, donde se efectúa la electrólisis del agua para obtener oxígeno respirable (el hidrógeno se expulsa al espacio). En la Luna podría usarse de igual manera, evitando traer aire de la Tierra y ayudando a mantener la atmósfera de los habitáculos con la proporción adecuada de oxígeno.

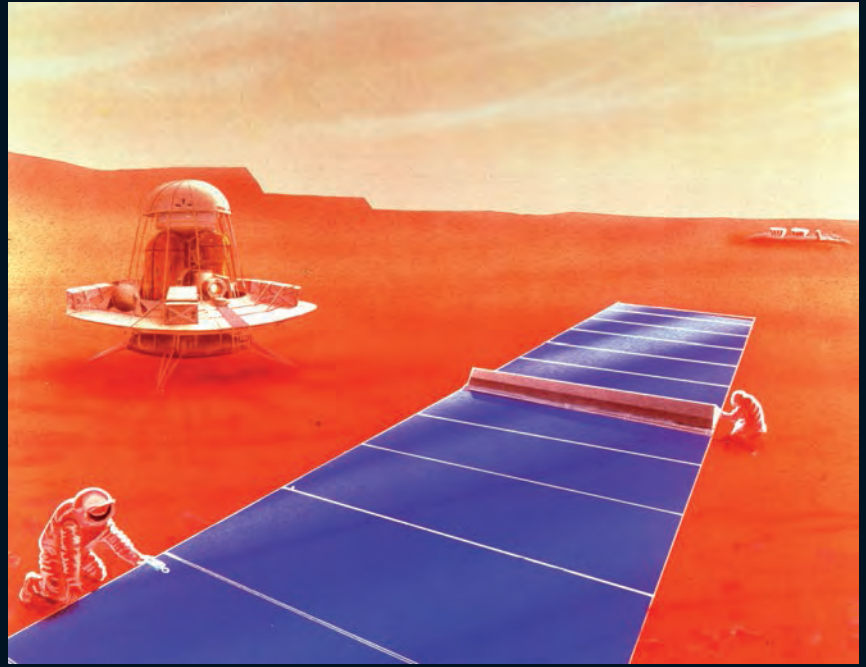
La extracción de minerales y recursos no termina aquí. Exploraciones a larga distancia nos han permitido averiguar que muchos asteroides poseen grandes acumulaciones de materias primas valiosas, incluyendo metales preciosos. Existen miles en el espacio próximo, y puede aventurarse que la Humanidad envíe algún día sondas robóticas equipadas hacia ellos para realizar dicha extracción y devolver el botín a la Tierra. Estos minerales podrían ser el origen de una lucrativa industria minera, ante los cada vez más limitados recursos disponibles en nuestro planeta.

Por último, conviene mencionar que aunque los astronautas podrán volar y aterrizar con sus naves espaciales en la superficie de la Luna o Marte, siempre necesitarán ampliar su volumen habitable y garantizar su protección contra el peligroso entorno espacial. En este caso, en vez de traer desde la Tierra elementos de construcción pesados, será mucho más sensato aprovechar materiales ya disponibles en esos mismos lugares. Convenientemente procesado, el regolito de la superficie servirá para crear ladrillos y bloques, los cuales permitirán crear edificaciones para almacenamiento de vehículos, para proteger mejor las zonas presurizadas de la radiación natural, etc.

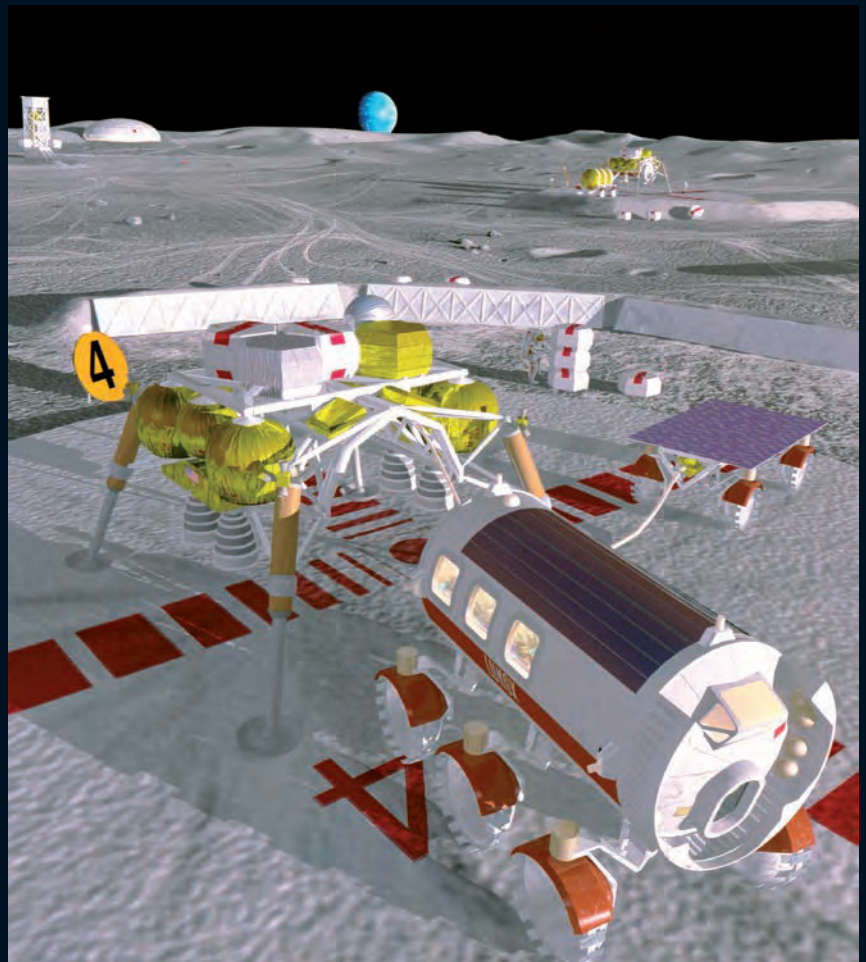
## DEMOSTRACIONES EN MARCHA

Antes de iniciar un programa de aprovechamiento de recursos a gran escala, los ingenieros y científicos deberán demostrar que su tecnología funcionará en los ambientes en los que ésta tendrá que trabajar. Algunas de estas demostraciones, sin embargo, pueden empezar a hacerse aquí mismo, en la Tierra, bajo un relativo bajo coste.

En este sentido, la NASA ha puesto en marcha algunas iniciativas para cre-

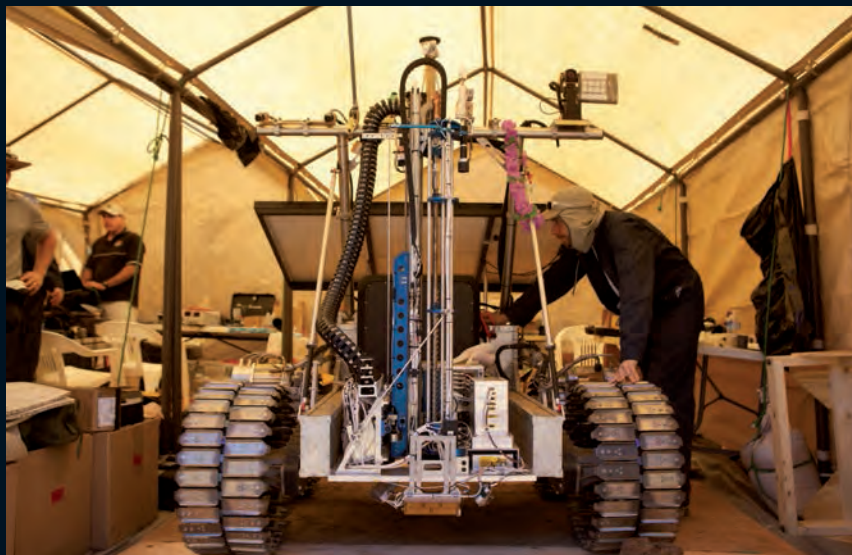


*En Marte se aprovecharán los recursos naturales como en la Luna. (Foto: NASA)*



*El hielo lunar permitirá obtener agua para los astronautas. (Foto: NASA)*





Un robot Artemis Jr. con el sistema RESOLVE para producir oxígeno en ensayos terrestres. (Foto: NASA/Joe Bibby)

ar “simuladores” lunares y marcianos. Estos no sólo presentarán entornos que se parezcan a estos cuerpos astronómicos, sino también elementos que reproduzcan con la mayor fiabilidad posible aquello que nos encontraremos en ellos. Se ha creado, por ejemplo, regolito lunar y marciano artificial (JSC-1a), que podrá ser procesado por los futuros equipos que se desarrollen. En particular, en la Luna podrá conseguirse el silicio que necesitaremos para construir células solares, así como otros metales, incluyendo hierro, aluminio y titanio. El problema es que para su extracción se necesitarán técnicas distintas a las utilizadas en la Tierra. Y dado que queremos reducir al máximo la importación de sustancias reactivas procedentes de nuestro planeta deberemos probar antes aquí, con la mayor precisión posible, las alternativas que nos proporcionen los químicos. El simulador marciano y el regolito lunar artificial permitirán demostrar la viabilidad de estas técnicas.

En la práctica, en el caso de la Luna todo pasa por procesar el regolito de la superficie. En Marte también, pero la atmósfera es asimismo un recurso a explotar. Los sistemas deberían procesar de manera automática el citado regolito (o la atmósfera), y producir las sustancias que nos interesan, sin intervención humana. De este modo, sería viable lanzar sistemas de esta clase a la superficie de otros astros, con antela-

ción a la llegada de los astronautas, para que cuando éstos alcancen su objetivo tengan ya a su disposición las materias primas deseadas. Este nivel de automatismo y producción requerirá antes un extenso programa de ensayos en la Tierra. Si una vez en la superficie de destino el sistema procesador no realizase correctamente su trabajo, la misión podría verse comprometida o incluso cancelada.

Una de las tecnologías de procesamiento más avanzadas se llama “Fusión por rayo de electrones”. El sistema utiliza un rayo de esta clase para fundir en el vacío, capa a capa, el polvo de metal obtenido previamente. De forma semejante a las impresoras 3D,

puede así edificar una pieza compleja, un elemento de construcción, etc. La tecnología ya está siendo probada de forma experimental.

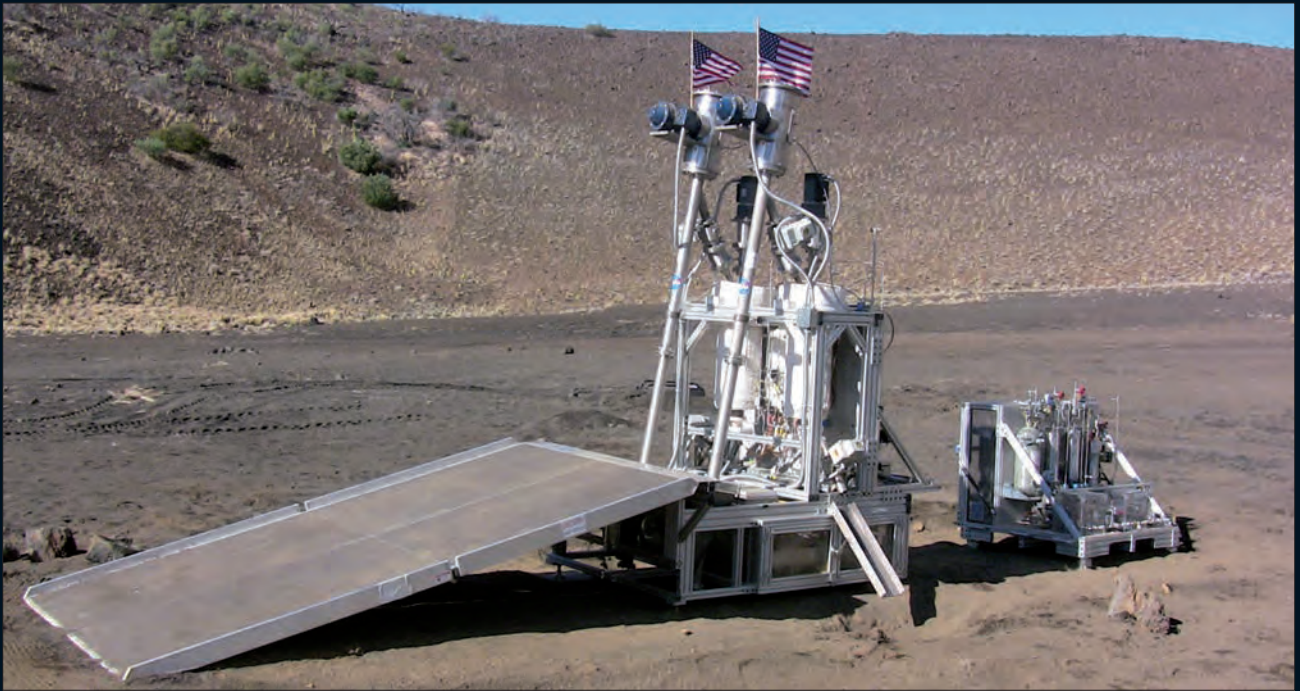
En el campo de la extracción de oxígeno en la Luna se han propuesto al menos una veintena de técnicas diferentes. Antes de comprometernos con alguna, habrá que probarlas una por una para comprobar cuál de ellas es la más eficiente y económicamente viable. Por ejemplo, además de estar presente en el agua, el oxígeno puede encontrarse en forma de óxidos de hierro. Si se calientan éstos a temperaturas por encima de los 900 grados Celsius y después se les expone a una cierta cantidad de gas hidrógeno, el oxígeno se libera fácilmente.

Un mineral en especial es bastante abundante en la Luna: la anortita. Es rica en aluminio, así que puede usarse para obtener este elemento, pero también para extraer oxígeno, sílice y calcio. Puede ser procesada para crear fibra de vidrio o cerámica, todo lo cual sería útil en una base lunar. De nuevo, será necesario demostrar el funcionamiento de los sistemas automatizados que obtengan todos estos productos.

La NASA está colaborando con la agencia espacial canadiense (CSA) en este campo. Su instrumento RESOLVE (Regolith and Environment Science and Oxygen and Lunar Volatile Extraction) fue empleado en la falda del volcán Mauna Kea, que actuó como análogo de la superficie lunar, para probar la extracción de oxígeno y otros elementos volátiles a partir de regolito.



El sistema RESOLVE podrá ser enviado a la Luna para ensayar la tecnología. (Foto: NASA)



El equipo Roxygen es capaz de producir dos terceras partes de todo el oxígeno necesario para sostener a una tripulación de cuatro personas en la Luna. (Foto: NASA)

El aparato fue montado en un robot canadiense llamado Artemis Jr.

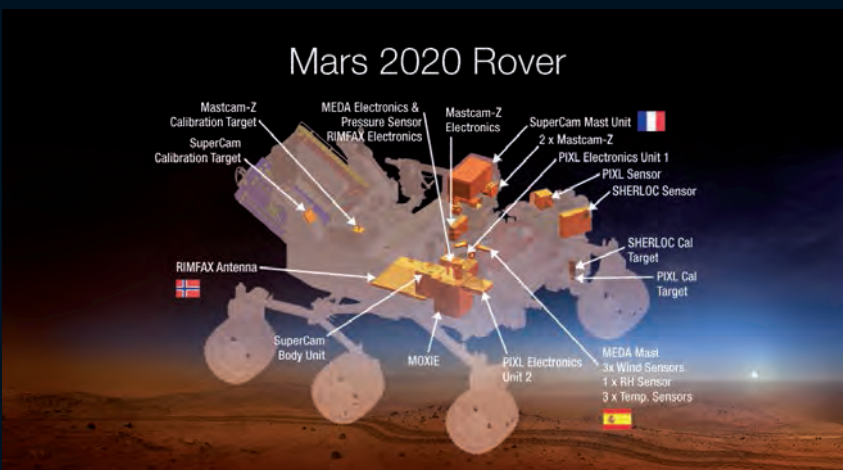
Algunos procedimientos ya se comprenden lo bastante como para que sea posible empezar a probarlos en el espacio. La NASA pensaba experimentar con la producción de oxígeno utilizando la atmósfera marciana como materia prima, y para ello preparó un instrumento llamado MIP que instaló sobre la sonda de aterrizaje Mars Surveyor 2001 Lander. Sin embargo, este vehículo no llegó a volar bajo esta configuración. Cuando finalmente lo

hizo, con el nombre de Phoenix, este instrumento había sido ya retirado. Tendremos que esperar hasta el lanzamiento de la misión Mars 2020, veinte años después, cuyo robot móvil, semejante al actual Curiosity, transportará un sistema de demostración de tecnologías para convertir el CO<sub>2</sub> de la atmósfera marciana en oxígeno gaseoso. Llamado MOXIE (Mars Oxygen ISRU Experiment), consiste en una célula de combustible invertida especializada. Utiliza energía para, combinada con el CO<sub>2</sub>, producir oxígeno y monó-

xido de carbono. Si tiene éxito, una futura misión de recogida de muestras podría fabricar su propio oxidante para el sistema de propulsión.

Otra misión propuesta por la NASA, llamada Resource Prospector, volaría hacia la Luna con el instrumento RESOLVE, probado en Hawái en 2012, para aterrizar en su polo sur, donde un vehículo todoterreno intentaría buscar hielo de agua. Gracias a un horno, calentaría muestras del suelo para separar los posibles recursos naturales que contenga.

En resumen, se están dando ya múltiples pasos, en tierra y pronto en el espacio, para demostrar que es posible extraer elementos útiles de las superficies de otros cuerpos del sistema solar. Antes de que pasen 10 años podríamos tener pruebas palpables, sobre Marte y sobre la Luna, de que estas técnicas funcionan en entornos tan extremos como éstos. Si es así, la NASA y las otras naciones que desean preparar el retorno humano a nuestro satélite e, incluso, enviar personas al Planeta Rojo, podrán diseñar su estrategia teniendo en cuenta que estos lugares tienen algo que ofrecer, reduciendo así los costes de tal iniciativa y la complejidad de los sistemas de lanzamiento que será necesario desarrollar. •



El sistema MOXIE volará en la misión Mars 2020 para ensayar la extracción de oxígeno del CO<sub>2</sub> atmosférico en Marte. (Foto: NASA)