



INVESTIGA I+D+i 2018/2019

GUÍA ESPECÍFICA DE TRABAJO SOBRE "BÚSQUEDA DE RECURSOS EXTRATERRESTRES"

Texto de D. Juan F. Cabrero Gómez

Octubre de 2018

Introducción

Todos El año que viene se celebra el 50 aniversario del fin de la conocida **carrera espacial** con la culminación de primera misión tripulada que alcanzó llegar a la Luna y ya son casi 60 años desde que comenzaron la misiones robóticas enviadas a nuestro satélite comenzando con el éxito del *Luna 2* como la primera sonda humana que impactó en su superficie en 1959 y siguiendo con el resto de misiones soviéticas *Luna*, las americanas *Ranger*, *Surveyor*. Por aquel entonces no priorizaba el aprovechamiento de los recursos seleníticos pero sí se recolectaron varias muestras de rocas lunares con carácter científico y aún hoy en día se sigue analizando su composición geológica.

En la actualidad vivimos en una vorágine propia de una "**segunda**" **carrera espacial** con la meta de llevar al hombre a Marte. Tanto los nuevos agentes privados como Space X, Blue Origin, Virgin, etc; junto con los organismos públicos emergentes (las agencias china, india y la japonesa, JAXA) se han subido al carro -o la nave- de esta nueva carrera espacial.

Nos encontramos ante un momento clave en el ámbito de la exploración lunar en particular y espacial en general. No sólo desde el punto de vista científico de la astrobiología o búsqueda de vida extraterrestre, si no desde el punto de vista de exploración y de explotación comercial. Surgen nuevos casos de negocio como el turismo espacial y la gestión de los **recursos espaciales** necesarios para la búsqueda de una salida de emergencia en el caso de que agotemos los de la Tierra, algo muy probable si seguimos el ritmo de crecimiento y gasto que llevamos sobre nuestro planeta finito.

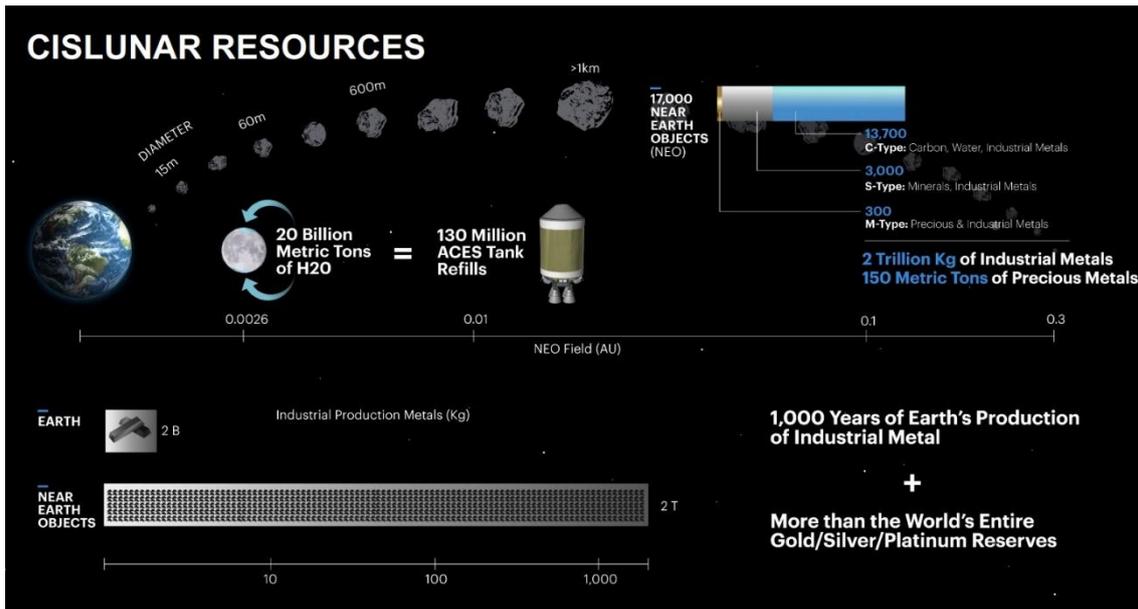


Imagen de Excalibur Exploration

A diferencia de las misiones no tripuladas de las décadas de los 60s y 70s, las futuras misiones a Selene están pensadas para establecer **colonias permanentes**, como campo de pruebas para dar el salto hacia la exploración tripulada de otros planetas de nuestro sistema solar, concretamente Marte. Por primera vez, la humanidad podría disponer de otro lugar donde trasladarse y, tal vez, habitar. Un desafío científico y tecnológico con implicaciones también desde una perspectiva ética, social y cultural (turismo espacial, regulación del asentamiento humano, patrimonio de la humanidad, negocio de minería).

¿Qué es un recurso espacial?

La clave para un futuro sostenible en el espacio es el desarrollo y la utilización de los recursos del propio espacio. Estos recursos se deberán basar en una economía más allá de la Tierra, en el llamado espacio **cislunar**ⁱ. La economía cislunar más cercana y accesible de recursos es la Luna.

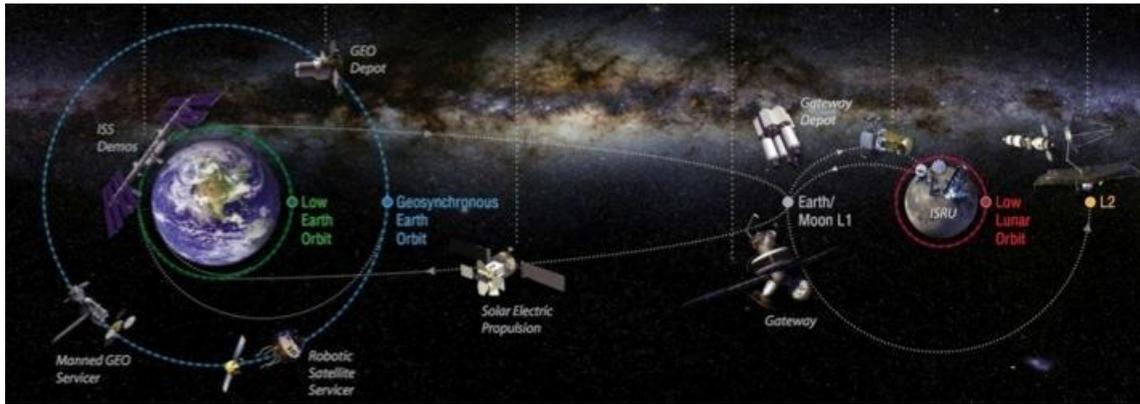


Un recurso espacial sería algún elemento de valor en el espacio o algún otro cuerpo celeste. Hay varias características que lo definen:

- Debe requerir algún proceso o equipo especializado para extraer de su entorno nativo.
- Tiene que ser capaz de realizar alguna función, proceso o valor intrínseco útil.
- Puede participar en el mercado generando ingresos ya sea por el proceso, función o por su venta directa.

Los más necesarios son la **Energía y el Agua** que son los recursos esenciales para la exploración humana de los llamados *Space Mineral Resources, SMR*.

Un sistema de energía necesita generar energía independientemente de la ubicación. Los constituyentes del agua, el oxígeno y el hidrógeno, cuando se separan y se licuan, son los propulsores químicos más eficientes conocidos para cohetes. Los propulsores de origen espacial pueden reducir dramáticamente el costo de todas las demás actividades en el espacio cislunar, así como las misiones a Marte.



¿Por qué la luna?

Después de una pausa de casi cincuenta años, la exploración humana de la luna y una presencia humana permanente en la superficie lunar están en la agenda de exploración espacial de los países más desarrollados.

El éxito final de una base lunar autosuficiente permanente o la llamada *moon village* dependerá tanto del uso de los recursos disponibles como de una tecnología óptima habilitadora para la exploración del espacio.



Una de las razones por las que los científicos desean estudiar la Luna es porque puede ofrecer una visión única de los procesos que Luna y la Tierra pueden haber experimentado en el Sistema Solar primitivo. Esto se debe a que la superficie de la Luna lleva las marcas físicas y la historia química de su viaje junto a la Tierra sin apantallar al no tener apenas atmósfera. Pero las razones por las que los ingenieros quieren regresar a la Luna son por el desafío de la logística de la exploración espacial. La Luna puede ser el campo de pruebas para:

- Construir una base en otro planeta. Podemos usar la experiencia desde bases remotas como las estaciones de investigación del Ártico y la Antártida, pero hay mucho que aprender sobre cómo construir un

hábitat fuera de nuestro planeta. Para explorar esto más a fondo, la luna es un paso necesario.

- Desarrollar e implementar procedimientos para utilizar los recursos naturales en la superficie lunar para reducir lo que debe traerse de la Tierra, conocido como utilización de recursos in situ (*In Situ Resource Utilisation*, ISRU en inglés). Los recursos locales podrían suministrar material necesario para construir hábitats, proteger a los astronautas de la radiación, suministrar materia prima para sistemas de soporte vital e incluso para combustible para la exploración planetaria más allá del espacio Cislunar. Su uso está siendo probado activamente por agencias espaciales y este trabajo proporcionará conocimiento a las misiones lunares y planetarias.
- Tratar riesgos para la salud y los equipos, como la radiación y el polvo lunar. La experiencia de industrias como las centrales nucleares y la minería nos ayudará, pero será necesario adaptarla antes de implementarla en la superficie lunar. Se cree que el agua es un buen escudo de radiación, pero ¿cómo conseguimos agua en la Luna? Es demasiado pesado para llevarlo allí en grandes cantidades, por lo que tendría que ser derretido del helado que hay en los polos de la Luna.
- Planificar misiones operativas con alimentos y agua limitados: las misiones submarinas, polares y la Estación Espacial Internacional o ISS en sus siglas en inglés, pueden ayudarnos a informarnos, y se deben hacer esfuerzos para cultivar alimentos en la Luna.
- Equipar un hábitat con las herramientas adecuadas: las misiones submarinas, polares e ISS pueden ayudarnos a crear listas de equipos, y puede ser necesario un taller en la Luna para construir y reparar piezas pequeñas de equipo. Además, se deben incorporar tres niveles de redundancia para los equipos de soporte vital para garantizar la seguridad de los astronautas.
- Lidar con emergencias médicas lejos del personal médico: las misiones submarinas, polares y de la ISS nos han enseñado mucho, pero siguen existiendo dudas sobre el tratamiento de infecciones, el tratamiento de cirugías menores o incluso el dolor de dientes. Una solución parcial podría ser tener un médico como parte de la tripulación. El estudio de la psicología de vivir en un ambiente extremo lejos de la familia, también es algo preocupante.
- El oxígeno es vital para el propulsor (y, a largo plazo, como una posible estación de recarga de combustible para los viajes interplanetarios) y para el soporte vital, por lo que ha sido una prioridad en la mayoría de las investigaciones de ISRU. Sin embargo,

se ha argumentado que la producción de energía en la luna es tan importante como el oxígeno, para una presencia sostenible.

- La utilización de recursos in situ del regolito lunar para producir silicio y oxígeno en la luna será clave pues con el Si, la producción in situ de paneles solares lunares permitirá aumentar la potencia disponible para las instalaciones lunares con el mínimo material requerido desde la Tierra. Un beneficio potencial a más largo plazo podría ser utilizar los paneles solares para otras aplicaciones espaciales.

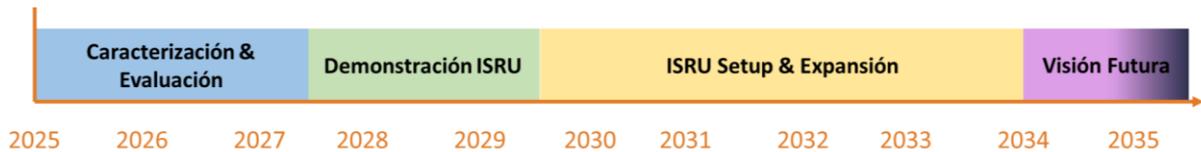
<p>Moon Resources</p>  <p>Ilmenite - 15% FeO • TiO₂ (98.5%) Pyroxene - 50% CaO • SiO₂ (36.7%) MgO • SiO₂ (29.2%) FeO • SiO₂ (17.6%) Al₂O₃ • SiO₂ (9.6%) TiO₂ • SiO₂ (6.9%) Olivine - 15% 2MgO • SiO₂ (56.6%) 2FeO • SiO₂ (42.7%) Anorthite - 20% CaO • Al₂O₃ • SiO₂ (97.7%)</p> <p>Water (? , >1000 ppm) Solar Wind Hydrogen (50 - 100 ppb) Carbon (100 - 150 ppb) Nitrogen (50 - 100 ppb) Helium (3 - 50 ppm) ³He (4 - 20 ppb)</p>	<p>Mars Resources</p>  <p>Regolith * Silicon Dioxide (43.5%) Iron Oxide (18.2%) Sulfur Trioxide (7.3%) Aluminum Oxide (7.3%) Magnesium Oxide (6.0%) Calcium Oxide (5.8%) Other (11.9%) Water (2 to >50%)^{XX}</p> <p>Atmosphere Carbon Dioxide (95.5%) Nitrogen (2.7%) Argon (1.6%) Oxygen (0.1%) Water (210 ppm)</p> <p>* Based on Viking Data ^{XX} Mars Odyssey Data</p>
<p>Recursos lunares</p> <p>Oxígeno es el elemento más abundante en la Luna: 42% del regolito.</p> <p>Los elementos volátiles depositados por el viento solar están disponibles en bajas concentraciones.</p> <p>Distintos metales como el hierro, tierras raras y semiconductores como el silicio son abundantes en el regolito lunar. Ideales para construcción y células solares</p> <p>El agua puede estar disponible en los polos si se derrite</p> <p>Los recursos minerales lunares se entienden a nivel global con muestras de Apolo para calibración</p>	<p>Recursos de Marte</p> <p>Los gases atmosféricos, y en particular el dióxido de carbono (95.5%), están disponibles en todas partes a 6 a 10 mmHg (recordad que en la Tierra la atmósfera tiene una presión mucho mayor, 760 mmHg)</p> <p>Se puede extraer O₂ por electrólisis</p> <p>Los datos de <i>Viking</i> y <i>Mars Odyssey</i> muestran que el agua estuvo muy extendida, pero la distribución espacial y la forma de agua / hielo no se conocen bien (arcillas y sales hidratadas, permafrost, acuíferos líquidos y / o hielo sucio)</p>

Comparativa recursos lunares y marcianos

¿Qué es la utilización de recursos in situ (ISRU)?

Al producir recursos fuera de la gravedad terrestre, ISRU puede proporcionar una vía para reducir la masa de lanzamientos y, por lo tanto, el costo de la tierra.

La ISRU involucra cualquier hardware u operación que aproveche y utilice recursos "in situ" para crear productos y servicios para la exploración humana y robótica. "ISRU" es una capacidad que involucra múltiples elementos (movilidad, almacenamiento y entrega del producto, potencia, mantenimiento de la tripulación y / o robótica, etc.) para lograr productos finales. La "ISRU" no existe por sí mismo. Por definición, debe conectarse y vincularse a los usuarios / clientes de los productos y servicios de ISRU. Para ello hay que seguir antes varias fases con un cronograma ya más o menos definido:



Evaluación y caracterización de recursos (prospección)

Es fácil enumerar los recursos que se necesitan: de importación, físicos, minerales, químicos, agua, terreno, geología y medio ambiente,... Pero hay enormes desafíos en la prospección, extracción y el procesamiento de utilizarlos. Existen desafíos ingenieriles en la infraestructura requerida y en el desarrollo de los mapas detallados de los recursos de la Luna. Comenzando por una evaluación detallada de recursos para llegar a identificarlos, necesitamos:

- Imágenes de mapeo asequibles y detalladas
- Prospección - ensayos de objetos celestes en gravedad cero o microgravedad.
- Excavación y perforación - En gravedad cero o microgravedad.
- Recolección de la atmósfera.
- Beneficio antes del procesamiento.
- Transporte
- Un régimen legal y ecológico favorable.

Adquisición de recursos y procesamiento de Recursos / Producción de Consumibles

La extracción y procesamiento de recursos en productos de uso inmediato o como materia prima para la construcción y fabricación puede generarse en distintas formas:

Fabricación in situ

Producción de piezas de repuesto, productos complejos, máquinas y sistemas integrados a partir de materias primas derivadas de uno o más recursos procesados. La tecnología de impresión 3D será clave en este punto.

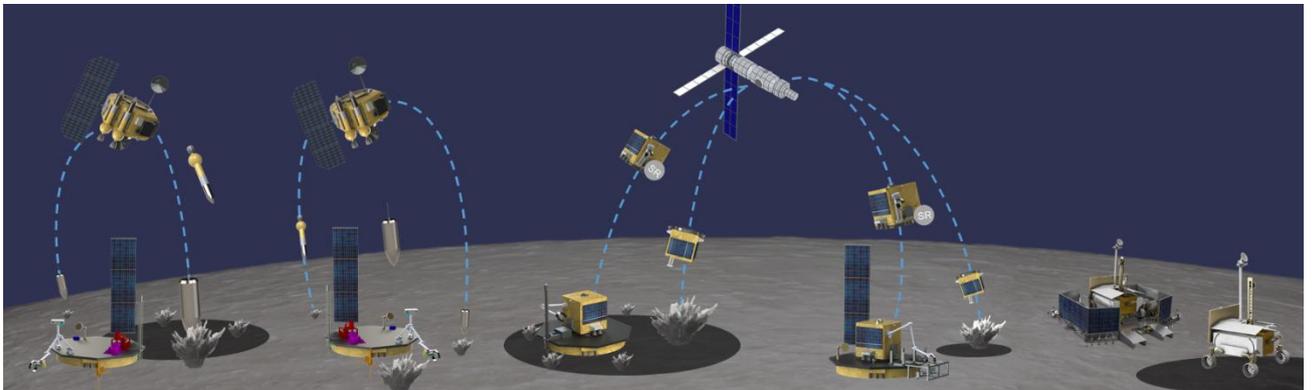
Construcción in situ

Ingeniería civil, emplazamiento de infraestructura y construcción de estructuras utilizando materiales producidos a partir de ISRU. Escudos de radiación, pistas de aterrizaje, caminos, bermas, hábitats, etc.

Energía in situ

Generación y almacenamiento de energía eléctrica, térmica y química con materiales derivados in situ. Placas solares, almacenamiento térmico y energía, baterías químicas, etc.

Distintos Set-ups o esquemas y planificaciones se están dando por los distintos proyectos ya lanzados de las principales agencias espaciales. Ej:



Fuente: MSc Space Exploration & Development Systems (SEEDS)

Recursos Minerales Espaciales, SMR, como negocio

En los últimos años, se ha observado un mayor interés en las exploraciones subsuperficiales de planetas, asteroides y cometas. Las misiones anteriores como HAYABUSA de la JAXA, ROSETTA con PHILAE de la ESA y los ROVERS de Marte de la NASA han llevado a una mejor

comprensión de las propiedades de la superficie de otros planetas, de los asteroides y de otros pequeños objetos espaciales podrían ser una fuente de minerales. Por ello han surgido nuevas iniciativas en búsqueda de casos nuevos de negocio. En estos términos de negocios la pregunta que surge no es "cómo" aprovechar los recursos minerales espaciales para un beneficio científico; si no, "cómo mejor" aprovecharlos para sacar un rendimiento económico atractivo. Las conclusiones económicas preliminares incluyen:

- (1) las arquitecturas basadas en la devolución de metales preciosos a los mercados terrestres por sí solos parecen no tener sentido,
- (2) la existencia de clientes en el espacio para propulsores, consumibles, materiales estructurales y blindaje podría hacer que la extracción de asteroides sea económica factible, y
- (3) las arquitecturas híbridas a largo plazo con clientes tanto terrestres como en el espacio podrían ser factibles a medida que los costos disminuyan y el tamaño del mercado aumente.



Con estas demandas tecnológicas, surgirán grandes necesidades. Es decir, de todo esto aparecerán nuevas y más eficientes tecnologías como la de transmitir los datos directamente a la Tierra a través de enlaces de comunicaciones ópticas (el nuevo paradigma de las comunicaciones espaciales muy de moda en el panorama internacional, véase [Facebook](#), [Google](#)). Estas grandes multinacionales ya están trabajando de forma separada en sendos proyectos para ofrecer acceso generalizado a Internet desde cualquier parte del mundo mediante una red que incluye un segmento óptico espacial para dar soporte al enorme ancho de banda

que se prevé será necesario. Se podrá ampliar esto a nivel espacial y, según analistas, será parte de la "[nueva carrera espacial](#)".

Legislación

Las actividades humanas a gran escala en el espacio, y en particular la minería espacial, están a punto de representar una amenaza sin precedentes a la preservación del medio ambiente del espacio, la Luna y otros cuerpos celestes. La única disposición "efectiva" está en el Tratado del espacio Exterior (***Outer Space Treaty - OST***) de la ONU (por parte de su oficina de la *UNOOSA*) que trata directamente con la protección del medio ambiente extraterrestre en el segundo párrafo del artículo IX. Tal disposición, a pesar de su terminología imprecisa y su ámbito de aplicación restringido, sigue constituyendo el marco principal para cualquier regulación legal internacional. Antes de entablar negociaciones complejas de ordenamiento jurídico sectorial es necesario aclarar un enfoque común para la interpretación del Artículo IX a la luz de cuestión ética fundamental: ¿Es el ambiente extraterrestre digno de protección per se o es exclusivamente instrumental para los intereses humanos? Antropocentrismo VS Ecocentrismo son las posturas enfrentadas.

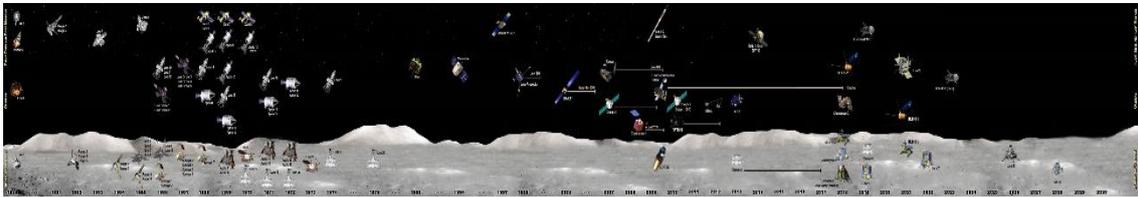
Actualmente los EEUU y Luxemburgo no están de acuerdo en respetar el patrimonio de cultural allí hallado. Están promulgando una legislación habilitante que establece la propiedad privada bajo el OST, que establece la capacidad de las naciones para desarrollar sus propios regímenes legales para *SMR*.

Protección planetaria

La utilización biológica de recursos in situ para la exploración lunar es ya una realidad. Las bacterias nos pueden ayudar como **biominería** para la extracción de materiales como el Si o el Fe del regolito lunar a través de proteínas bacterianas. Y a su vez como **productoras de gas**, ya que la reducción bacteriana del regolito lunar libera una variedad de gases útiles como el H₂ y el Metano para combustible o el CO₂ para fotosíntesis de vegetales. También como **Bioimpresoras**, la impresión 3D bacteriana permite la producción de materiales bioactivos y la utilización directa de los materiales extraídos.

Pero el uso de bacterias tiene sus limitaciones para no contaminar los diferentes ecosistemas. La protección biológica es muy importante por ello las bacterias deben manejarse en un entorno cerrado y seguro, pues son específicas de cada planeta y los organismos modificados

sintéticamente deberían de ser exterminados automáticamente en cuanto cambien de ambiente



Las muestras lunares existen en un ambiente de aire y agua mínimos y lejos de fuentes de contaminación como los humanos, las naves espaciales y la atmósfera de la Tierra. El estudio de las muestras en la Luna, por lo tanto, reduce el riesgo de cambio de muestras y contaminación durante el transporte. Sin embargo, el costo y el desafío tecnológico de desarrollar y lanzar instrumentos científicos que sean lo suficientemente pequeños, que funcionen en la gravedad lunar y que no contaminen con restos biológicos terrícolas limita el análisis que se puede realizar en la superficie lunar.

Las cajas de piedra diseñadas para las misiones Apolo son un buen ejemplo de lo difícil que puede ser esta tarea. Fueron diseñados para mantener el oxígeno y el agua lejos de las muestras durante el viaje de regreso a la Tierra; sin embargo, en algunos casos la naturaleza abrasiva del polvo lunar degradó los sellados y las muestras se expusieron al aire y la humedad. Otra consideración será el muestreo del núcleo de hielo. Los núcleos de hielo recolectados por perforación pueden dañarse por el calor generado durante el proceso de recolección, y es probable que los núcleos de hielo recolectados deban ser transportados a la Tierra en contenedores especialmente diseñados para proteger las muestras del calor, la luz, la radiación, el oxígeno y la contaminación biológica.

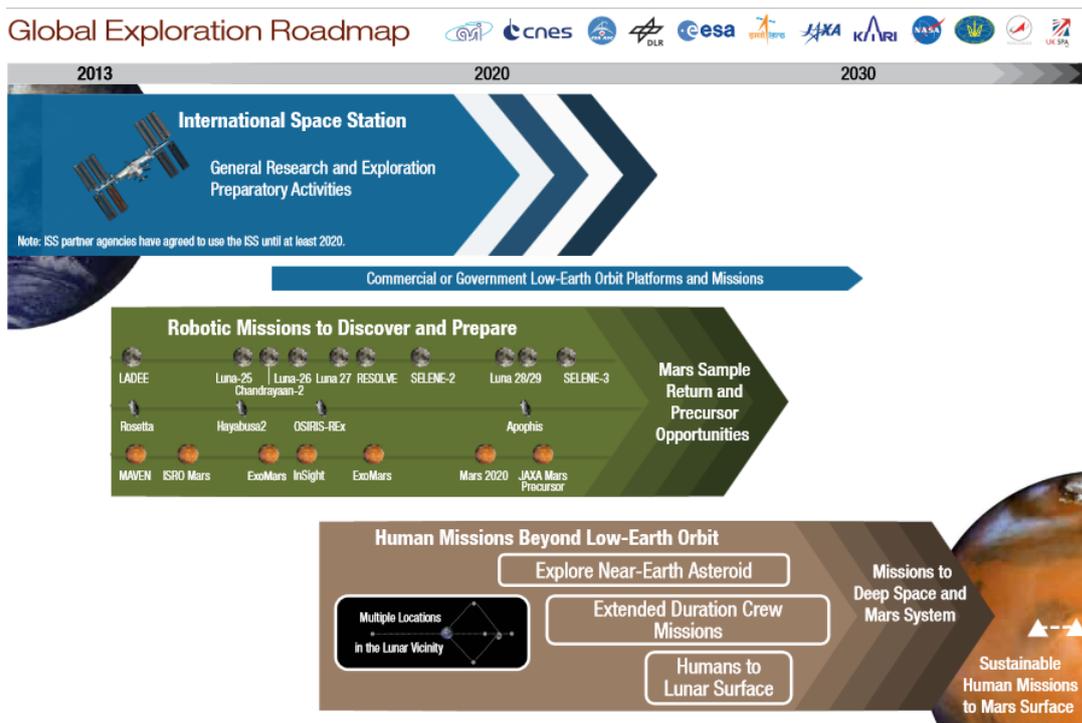
Todas estas políticas de protección planetaria gestionadas por el *Committee on Space Research* (COSPAR) y comenzaron a implantarse ya en la *Surveyor 3* (17 a 20 de abril de 1967) que excavó el suelo lunar, encontrando guijarros a 15,2 cm de profundidad. Sus restos fueron analizados por la misión Apolo XII en noviembre de 1969, para estudiar la contaminación lunar, en experimentos sobre cuarentena.

La más restrictiva y actualizada es la misión Hayabusa 2 que está actualmente en operación y nos volverá, cómo su primera y exitosa versión, a traer muestras a la tierra de asteroides externos:

(<https://www.microsiervos.com/archivo/espacio/hayabusa-2-segundo-simulacro-toma-muestras.html>)

Visión futura

Se puede vislumbrar el futuro siguiendo la hoja de ruta elaborada por el *International Space Exploration Coordination Group*, **ISECG**



En cuanto a las grandes agencias, la NASA ha anunciado que está planeando orbitar y aterrizar en la Luna alrededor del 2023, pero para ello se necesita un "gran esfuerzo" como el que se hizo con Apolo 11. Pero el gran objetivo es llegar a Marte para la década de los 30, aunque los programas más realistas lo sitúan una década más tarde. Todo eso si no se adelanta antes alguna iniciativa una privada.

La disponibilidad de recursos en la Luna es fundamental para que los humanos sobrevivan allí y serán un foco de las misiones robóticas dirigidas por los rusos. *Luna-27*, la misión principal de la cooperación entre la ESA y Rusia, aterrizará cerca del Polo Sur de la Luna y buscará agua congelada y otros recursos potenciales. Si hay suficiente agua, podría convertirse en una fuente de oxígeno e hidrógeno para sustentar la vida y proporcionar combustible de cohetes para llevarnos más lejos en el Sistema Solar.

La ESA proporcionará un sistema de aterrizaje de precisión para el módulo de aterrizaje ruso *Luna-27* y un sistema para perforar el suelo

lunar, tomar muestras y analizarlas para establecer su potencial como recursos futuros. La ESA también proporcionará soporte de comunicaciones y navegación para todas las misiones usando su red de estaciones terrestres, apoyando el aterrizaje y las operaciones de instrumentos científicos tanto europeos como rusos.

Referencias

Debido a la escasa información del tema en español por su relativa actualidad casi todo son enlaces a recursos en la red con las últimas novedades:

NASA's website de Ciencia Lunar y Planetaria con mapa de las localizaciones de las misiones Apolo:
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/>

El sitio web del Instituto Lunar y Planetario, que proporciona servicios de apoyo a la NASA y la comunidad científica, incluye información y recursos para estudiantes y maestros: <https://www.lpi.usra.edu/>
<https://www.scienceinschool.org/content/challenging-logistics-lunar-exploration>

Museo lunar de Fresnedillas (Madrid Apollo Station) para seguir con actualizaciones de exploración lunar:
<http://museo.fresnedillasdelaoliva.es/>

ESA'S Package for Resource Observation and in-Situ Prospecting for Exploration, Commercial exploitation and Transportation (PROSPECT)
<http://exploration.esa.int/moon/59102-about-prospect/>

Acerca de la Moon Village:
https://www.esa.int/About_Us/Ministerial_Council_2016/Moon_Village

<http://exploration.esa.int/moon/59878-workshop-towards-the-use-of-lunar-resources/>

Para temas de protección planetaria:
<https://planetaryprotection.nasa.gov/intpolicy>

Beneficios de volver a la Luna:
<http://youbenefit.spaceflight.esa.int/back-to-the-moon/>

¿Patrimonio de la humanidad lunar? <https://www.forallmoonkind.org/>

ⁱ *Glosario y acrónimos*

"Cislunar" es un término comúnmente usado en la jerga espacial para denominar la región cerca de la Luna, o la región del espacio más cercana a la Tierra que la órbita de la Luna. más recientemente, se ha

utilizado para denominar la región del espacio dentro de la influencia gravitatoria de la Tierra, que incluye la Luna. Cuando hablo de economía cislunar, me refiero a las actividades económicas que tienen lugar en el espacio, ya sea en la Luna o en órbita alrededor de la Tierra o la Luna.

Esta es una distinción importante, principalmente porque ya existe una "economía espacial", al menos hasta el cinturón geoestacionario (GEO). Actualmente hay unos 450 satélites operando en GEO, alrededor del 75% de ellos comerciales, la mayoría de ellos transmitiendo video, datos o conexiones de voz a la Tierra. Debajo de ellos, tenemos las constelaciones de navegación (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) en la órbita media de la Tierra, y debajo de ellas en la órbita baja de la mayoría de los satélites de observación de la Tierra, un enjambre cada vez mayor de cubesats, constelaciones de telecomunicaciones y escombros espaciales, y la Estación Espacial Internacional. Toda esta actividad se traduce en un importante movimiento de dinero en todo el mundo, con un tamaño total de la industria de aproximadamente US \$ 320 mil millones en 2015

ESA: European Space Agency, Agencia espacial Europea

ISRU: In situ Resource Utilization, utilización de recursos in situ.

ISS: International Space Station, Estación Internacional Espacial

SMR: *Space Mineral Resources*. Recursos Minerales Espaciales

OST: *Outer Space Treaty*. Tratado del Espacio Exterior