

LA CARRERA ESPACIAL EUROPEA

RECURSOS NATURALES



Preparado por: Grupo 5

Para: Master Analista de Inteligencia

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Actores que intervienen (estatales y no estatales).....	4
2.1 Identificación de actores estatales en la carrera espacial europea.....	4
2.2 Análisis de actores no estatales relevantes.....	6
2.3 Empresas de Recursos Naturales Espaciales	7
3. Intereses de los actores - Recursos Naturales Buscados por los Estados	9
3.1. Objetivo Específico: Tipos de Recursos Naturales Buscados	12
3.2. Localización de Posibles Fuentes de Recursos en el Espacio	13
3.3. Evaluación de las Posibilidades Técnicas para la Extracción.....	13
3.4. Revisión de Avances Tecnológicos en la Exploración Espacial.....	14
4. Europa: Alianzas y Rivalidades en la Carrera Espacial.....	17
4.1. Revisión de las alianzas actuales de Europa en la carrera espacial.....	17
4.2. Posición europea.....	17
4.3 Posibles socios	18
4.4. Posibles competidores.....	19
5. Análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades)	19
5.1. Evaluación situacional. Sostenibilidad en la carrera espacial.	19
5.2. Tecnologías necesarias.	20
5.3 Aspectos legales.....	22
5.4. Evaluación de los logros y desafíos enfrentados.	22
5.5. Implicaciones de los pasos dados para el futuro.	22
6. Escenarios Futuros de la Carrera Espacial Europea.....	23
7. Conclusiones.....	24
ANEXO	25
Referencias	29

1. Introducción

En un mundo que se encuentra en plena transición hacia una nueva era de exploración espacial, la industria espacial europea emerge como un destacado protagonista en este escenario. Con una fuerza laboral compuesta por 53,000 profesionales y un volumen de ventas que ascendió a 8.6 mil millones de euros en el año 2021, la industria espacial europea ha consolidado su presencia en la vanguardia de la innovación y el desarrollo espacial. Este trabajo tiene como objetivo adentrarse en el núcleo de esta floreciente industria, explorando su impacto y su función en la búsqueda y explotación de los recursos naturales en el espacio exterior.

En el transcurso del último año, Europa ha demostrado su compromiso y experiencia en el ámbito espacial al llevar a cabo la entrega exitosa de 80 satélites, cuyo peso conjunto alcanzó las 32 toneladas en el momento del lanzamiento. Además, se lanzaron con éxito 7 sistemas de lanzamiento, transportando un total de 28 toneladas de carga hacia la órbita. Este logro ha posicionado a Europa en el cuarto lugar a nivel mundial en la clasificación de potencias espaciales, compitiendo en el escenario global con gigantes de la talla de China y Estados Unidos.

La industria espacial europea, como un componente fundamental del complejo industrial aeroespacial y de defensa del continente, desempeña un papel estratégico en la implementación de políticas públicas y en el respaldo a una amplia gama de sectores económicos. Desde el diseño y desarrollo de naves espaciales y cohetes hasta la provisión de sistemas terrestres destinados al control y operación de satélites, esta industria opera en la cúspide de la cadena de valor espacial.

En un mercado diversificado, la industria satisface las necesidades de clientes tanto gubernamentales como privados, tanto dentro como fuera de las fronteras europeas. Las ventas se dividen en sistemas de naturaleza civil y militar, aunque en comparación con otras potencias espaciales, Europa mantiene una inversión modesta en actividades espaciales de carácter militar.

Este trabajo se sumergirá en los aspectos cruciales de la industria espacial europea, explorando su contribución a la exploración y explotación de los recursos naturales en el espacio exterior, y analizando su posición en el contexto global. A medida que avanzamos en la carrera hacia el espacio, Europa emerge como un actor esencial en este capítulo de la exploración espacial.

2. Actores que intervienen (estatales y no estatales)

2.1 Identificación de actores estatales en la carrera espacial europea

La exploración espacial ha estado dominada tradicionalmente por Estados Unidos y la Unión Soviética desde sus inicios, a los que se han ido sumando otros actores con el paso del tiempo y que en mayor o menor medida están jugando y jugarán un papel en el futuro de la carrera espacial. Evidentemente, las capacidades e intereses de los actores involucrados varían enormemente, pero la irrupción de algunos de ellos está a punto de cambiar el paradigma que ha dominado los viajes espaciales hasta la fecha. Además de las agencias espaciales de varios estados, en los últimos años han surgido empresas privadas con capacidades mucho más avanzadas que la mayoría de los países y que pueden a su vez dar forma a nuevas formas de exploración, desarrollo y, por supuesto, extracción de recursos espaciales.

A. Estados Unidos – National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Pese a los avances de otros estados y la enorme competición con la Unión Soviética, Estados Unidos sigue siendo el líder mundial en exploración espacial. Aunque al finalizar la primera carrera espacial el presupuesto de la NASA descendió considerablemente, la agencia no ha dejado de lanzar misiones, ampliando más y más los límites de la exploración espacial, alcanzando prácticamente todo el sistema solar.

La NASA ha sido uno de los principales impulsores de la Estación Espacial Internacional, y en las últimas décadas, con la llegada de la transición energética, se han lanzado nuevas misiones de exploración y sondeo de los recursos extraterrestres además de reactivar los planes para la creación de una base permanente en la Luna.

Los planes de colonización del satélite han sido inicialmente promocionados como un paso más en la carrera a Marte, pero también existe interés en los recursos naturales que esconde bajo la superficie. Además de a la Luna, la NASA ha mandado sondas de exploración al cinturón de asteroides, sondeándolos para localizar objetivos potenciales para la minería de recursos.

B. Rusia – Рокосмос (Roscosmos).

Rusia es la heredera de todo el legado de la Unión Soviética. Tras su desaparición, la actividad rusa en el espacio disminuyó considerablemente, al caer el país en una situación económica mucho más precaria. Sin embargo, con la llegada del siglo XXI, el programa espacial ruso ha sido revitalizado por la mejora de la economía. Roscosmos ha sido una parte esencial del proyecto de la Estación Espacial Internacional, siendo durante años el único proveedor de suministros de la estación.

Durante las últimas décadas, Roscosmos ha colaborado estrechamente con otras agencias para lanzar misiones al espacio. Desde 2014, esta colaboración ha dejado de producirse y no se espera que se recupere a corto plazo. Pese a que Rusia ha mandado misiones de sondeo junto con la ESA, los últimos desarrollos han ido más enfocados al desarrollo de capacidades militares.

C. Europa – European Space Agency (ESA)

La Agencia Espacial Europea fue fundada por 10 estados europeos en el año 1975 con el objetivo de lanzar misiones científicas al espacio. La actividad de la ESA se ha caracterizado por el fuerte componente colaborativo con otras agencias alrededor del mundo. La agencia ha sido una referencia en la exploración del sistema solar desde hace décadas, y es otra de las grandes impulsoras de la Estación Espacial Internacional.

Aun así, la ESA ha desarrollado varios proyectos para extraer muestras de asteroides y demostradores de tecnología para la extracción de recursos in situ (ISRU) necesarios para el mantenimiento de misiones permanentes en la Luna y Marte.

D. China - China National Space Administration (CNSA).

Pese a que China posee programa espacial desde los años 50, la dificultad de financiarlo ha hecho que sólo empiece a despuntar desde los años 2000, con los primeros vuelos orbitales y tripulados. Desde entonces, China ha aumentado espectacularmente su capacidad y mantiene su propia estación espacial además de tener planes para una base lunar permanente. El desarrollo tecnológico chino ha sido exponencial en todos los ámbitos: redes de satélites, sondas de exploración, misiones tripuladas etc.

Actualmente, China se ha mostrado muy interesada en los depósitos de helio 3 que posee la Luna, que tienen valor de miles de millones de euros. Varias misiones han explorado los polos lunares en busca de agua y recursos utilizables para la misión permanente en el satélite.

E. Japón – Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA).

Japón fue el primer país capaz de seguir a Estados Unidos y la Unión Soviética en la carrera espacial. Por el momento, Japón no ha lanzado ninguna misión tripulada y se ha limitado a desarrollar misiones de exploración del sistema solar y la Tierra. Sin embargo, hay planes para mandar una misión tripulada a la Luna e incluso para la creación de su propia base permanente. Pese a que aún no han conseguido lanzar una misión tripulada, Japón se mantiene como uno de los grandes actores en la exploración espacial por sus capacidades técnicas y económicas.

F. India – Indian Space Research Organisation (ISRO).

Puede parecer que la India es un recién llegado al espacio, pero el programa espacial indio comenzó en los años 60. Durante muchas décadas India siguió el mismo modelo de desarrollo que Japón, lanzando misiones de observación con el apoyo de otras agencias como la NASA, ESA o Roscosmos. También como China, la India ha desarrollado gran interés en las reservas de helio 3 de la Luna y lleva años preparando misiones de exploración del satélite. De igual forma, está previsto que a los primeros vuelos tripulados empiecen dentro de esta década.

Además de estos actores principales, existen otros con diversas capacidades que pueden unirse a la nueva carrera espacial en los próximos años o décadas, como Corea del Sur, Israel, Corea del Norte o Taiwán, entre otros. Debido a los rápidos avances tecnológicos y las grandes oportunidades que ofrece la exploración espacial, es de esperar que veamos incorporarse progresivamente nuevos competidores.

2.2 Análisis de actores no estatales relevantes

En este apartado vamos a explorar en detalle algunos de los actores no estatales relevantes en la carrera espacial europea.

Los actores no estatales desempeñan un papel crucial en el desarrollo de tecnologías espaciales y la exploración de recursos naturales en el espacio. Algunos de los actores no estatales clave son:

- **Industria Espacial Europea:** La industria espacial europea está formada por numerosas empresas privadas que participan en la fabricación de satélites, vehículos espaciales, sistemas de propulsión y equipos relacionados.

Algunas de las principales empresas europeas en este campo son: Airbus Defence and Space, Thales Alenia Space, OHB SE, Safran, RUAG Space, ArianeGroup, Avio, RUAG Space, Almatech, RUAG Space, Tesat-Spacecom, DLR GfR mbH.

- **Startups Espaciales:** En los últimos años, ha habido un auge en el número de startups espaciales en Europa. Estas compañías innovadoras están abordando desafíos específicos de la exploración espacial y la minería de recursos naturales en el espacio.

Ejemplos de startups espaciales incluyen: ispace Europe (enfocada en minería lunar), ClearSpace (tecnología de eliminación de desechos espaciales), ExPace (lanzamiento de satélites), Clyde Space (tecnología de propulsión), NanoAvionics (plataformas satelitales), ICEYE (tecnología de observación de la Tierra), Astroscale (eliminación de desechos espaciales), Open Cosmos (soluciones satelitales), Satellogic (observación de la Tierra), Gilmour Space Technologies (lanzamiento espacial).

- **Universidades y Centros de Investigación:** Las instituciones académicas y centros de investigación en Europa también son actores clave en la carrera espacial. Realizan investigaciones avanzadas en tecnologías espaciales, astrogeología y ciencia espacial.

Algunos de los principales ejemplos de instituciones líderes en este campo son: Universidad Técnica de Munich, Universidad de Cambridge, Observatorio de París, Universidad Técnica de Delft, Universidad de Helsinki, Universidad de Berna, Instituto de Tecnología de Karlsruhe, Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia etc.

- **Inversores Privados y Fondos de Capital Riesgo:** Los inversores privados y los fondos de capital de riesgo están financiando proyectos espaciales innovadores.

Los inversores europeos respaldan empresas emergentes y tecnologías espaciales, algunas de ellas son: Seraphim Capital, E2MC Ventures, Atomico, Airbus Ventures, Space Capital, Speedinvest, Vaekstfondene, EQT Ventures, Sophia Antipolis Ventures.

- **Agencias de navegación por satélite:** La Agencia del Sistema Global de Navegación por Satélite Europeo (GSA) es responsable de la gestión del sistema de navegación por satélite Galileo de la Unión Europea. El sistema Galileo es esencial para la navegación y la geolocalización, y tiene aplicaciones comerciales y científicas.

- **Organizaciones Científicas y No Gubernamentales:** Organizaciones científicas y ONGs en Europa, como: la Sociedad Planetaria Europea, Federación Internacional de

Astronáutica (IAF), Space Data Association y el Grupo de Investigación en Ciencias Espaciales (GRGS) promueven la ciencia y la investigación espacial. También abogan por la cooperación internacional y el uso responsable de los recursos espaciales.

- **Proveedores de Servicios Espaciales:** Estos proveedores ofrecen servicios de lanzamiento, seguimiento de satélites y comunicaciones a las agencias espaciales europeas y a la industria espacial.

Algunas de las empresas que proporcionan servicios de lanzamiento son: Arianespace, SES S.A., Eutelsat, Intelsat, Inmarsat, SES Government Solutions, Avanti Communications, Hispasat y Arabsat.

- **Empresas de Recursos Naturales Espaciales:** A medida que la exploración de recursos naturales en el espacio se vuelve más relevante, algunas empresas se centran en la búsqueda y extracción de minerales y recursos en cuerpos celestes. Estas empresas tienen un interés en la explotación de recursos espaciales.

Ejemplos: Asteroid Mining Corporation, Deep Space Industries, Planetary Resources, Moon Express, Shackleton Energy Company, TransAstra Corporation, Kleos Space, Astroscale etc.

Estos operadores se describen con más detalle en el siguiente apartado ya que su presencia es fundamental para comprender la dinámica de la exploración y explotación de recursos naturales en el espacio. Cada una de estas empresas desempeña un papel relevante en la evolución de la industria espacial y aporta su experiencia y enfoque único a la búsqueda y extracción de minerales y recursos en cuerpos celestes. Además, su contribución económica, su impulso a la innovación tecnológica, su papel pionero en la exploración espacial y su influencia en la formulación de políticas espaciales y la diplomacia internacional hacen que sean actores centrales en este campo en constante evolución.

2.3 Empresas de Recursos Naturales Espaciales

A medida que la exploración espacial avanza, un creciente número de empresas en todo el mundo se ha involucrado en la búsqueda y explotación de recursos naturales en el espacio exterior. Estas compañías, procedentes de diversos países, han centrado sus esfuerzos en la minería de asteroides, la explotación lunar y otras actividades relacionadas con la obtención de minerales y materiales valiosos más allá de la Tierra.

A continuación, se presenta una lista de algunas de estas empresas y sus respectivas áreas de enfoque, lo que refleja la creciente importancia de la explotación de recursos naturales espaciales en la industria espacial.

- **Asteroid Mining Corporation (Reino Unido):** Esta empresa se enfoca en la minería de asteroides, con el objetivo de extraer minerales y recursos valiosos del espacio. Su interés radica en los asteroides cercanos a la Tierra que pueden contener metales como el oro, el platino y otros elementos valiosos.



- **Kleos Space (Luxemburgo):** Aunque Kleos Space se centra principalmente en tecnología de observación de la Tierra, sus datos pueden ser valiosos para la vigilancia de recursos naturales en el espacio y la identificación de objetos de interés, como satélites y naves espaciales.



- **Astroscale (Reino Unido):** Inicialmente centrada en la eliminación de desechos espaciales, Astroscale también juega un papel importante en la preservación de la órbita y la gestión de recursos naturales extraterrestres, ya que el espacio limpio y seguro es esencial para la futura explotación de recursos.



- **PTScientists (Alemania):** Esta empresa alemana se centra en la exploración lunar y tiene planes para enviar misiones a la Luna para investigar y potencialmente explotar recursos lunares.



- **ISAE-SUPAERO (Francia):** La Escuela Superior de Aeronáutica y Espacio de Toulouse es un centro de investigación y educación líder en Europa, involucrado en el desarrollo de tecnologías espaciales y la exploración de recursos naturales en el espacio.



- **Nuvia (Reino Unido):** Nuvia se especializa en tecnologías nucleares y podría desempeñar un papel en la generación de energía a partir de recursos extraterrestres, como el helio-3 lunar.



- **OHB Sweden (Suecia):** OHB Sweden es una filial de OHB SE y está involucrada en la exploración espacial y el desarrollo de tecnologías para misiones de exploración y recursos naturales.



- **Officina Stellare (Italia):** Officina Stellare se enfoca en la fabricación de sistemas ópticos y tecnología de imágenes, que son esenciales para la observación y prospección de recursos naturales en el espacio.



- **Avio (Italia):** Avio es una empresa líder en el desarrollo de vehículos lanzadores, lo que es fundamental para el despliegue de misiones espaciales de exploración de recursos.



3. Intereses de los actores - Recursos Naturales Buscados por los Estados

Los recursos espaciales han emergido como una fuente valiosa de materiales y energía que tienen el potencial de transformar la exploración y la colonización del espacio.

Estos recursos, que van desde agua y oxígeno esenciales para la vida humana hasta minerales metálicos utilizados en tecnología de alta gama y minerales lunares que pueden revolucionar la construcción en la Luna, abren un amplio espectro de posibilidades en el ámbito de la exploración espacial. Además de su utilidad para la vida y la tecnología, estos recursos también tienen aplicaciones en la investigación científica, la producción química, la generación de energía y la búsqueda de vida extraterrestre. En esta sección, exploraremos una variedad de categorías de recursos espaciales según sus usos, destacando tanto su importancia actual como su potencial para impulsar futuras misiones.

A. Materiales para la Vida Humana y Soporte Vital.

Los materiales necesarios para la vida humana y el soporte vital en el espacio son componentes críticos que revisten una importancia insustituible en misiones espaciales, tanto tripuladas como no tripuladas. Su papel trascendental se evidencia en la capacidad de respaldar la supervivencia y el bienestar de los astronautas y en la viabilidad de las operaciones en el ambiente desafiante del espacio. Estos materiales constituyen la base esencial que permite la exploración y, eventualmente, la colonización de otros cuerpos celestes, asegurando la sostenibilidad de nuestras misiones espaciales.

- Agua: Para la vida humana y la producción de propulsores espaciales.
- Oxígeno: Esencial para la vida humana en el espacio y la propulsión de cohetes.
- Nitrógeno: Importante para la atmósfera y la vida en el espacio.

B. Materiales para Energía y Propulsión.

Los materiales para energía y propulsión en el espacio desempeñan un papel crucial en el éxito de las misiones espaciales. Estos recursos son la columna vertebral de la maquinaria que impulsa naves espaciales, satélites y estaciones en su travesía a través del cosmos. Desde sistemas de energía solar hasta propelentes innovadores, estos materiales son esenciales para mantener la operatividad y la movilidad en el espacio, allanando el camino para la exploración y la investigación en las fronteras finales del universo.

- Helio-3: Potencial fuente de energía para reactores de fusión nuclear.
- Hidrógeno y helio de Júpiter y Saturno: Gases utilizados como combustibles y refrigerantes en misiones espaciales.
- Helio solar: Posiblemente útil para futuras aplicaciones energéticas.

C. Materiales para la Tecnología y Electrónica.

Los materiales destinados a la tecnología y la electrónica son importantes en la industria espacial y la alta tecnología. En este contexto, los minerales metálicos, como el oro, el platino y el paladio, son apreciados por su uso en la fabricación de equipos electrónicos y también en la creación de joyería. De manera paralela, el silicio, un recurso versátil, se utiliza en la producción de paneles solares y componentes electrónicos. Estos materiales actúan como pilares en la construcción de tecnología espacial avanzada, respaldando tanto la exploración como la innovación en la industria aeroespacial y tecnológica.

- Minerales metálicos: Oro, platino, paladio, etc., utilizados en la fabricación de equipos electrónicos y joyería.
- Silicio: Utilizado en la fabricación de paneles solares y componentes electrónicos.

D. Materiales para Exploración Científica y Geología.

La exploración del espacio nos ofrece acceso a una amplia variedad de materiales valiosos. Desde el carbón y compuestos orgánicos que nos proporcionan pistas sobre la química en el espacio y la búsqueda de vida extraterrestre, hasta el regolito lunar y marciano que alberga recursos esenciales para la colonización y construcción en otros cuerpos celestes. Además, el polvo interestelar, polvo de cometas y polvo de la cola de cometas ofrecen información clave sobre la formación del universo y el sistema solar.

- Carbón y compuestos orgánicos: Proporcionan información sobre la química en el espacio y la búsqueda de vida extraterrestre.
- Polvo estelar y micrometeoritos: Contienen materiales útiles para la industria espacial.
- Regolito lunar: Puede contener recursos como oxígeno y metales y se utiliza para la construcción en la Luna.
- Polvo lunar y regolito marciano: Contienen minerales y metales valiosos y proporcionan información geológica.
- Polvo interestelar: Ofrece información sobre la formación y evolución del universo.

- Polvo de cometas: Contiene compuestos volátiles y orgánicos útiles para la investigación científica.
- Polvo de la cola de cometas: Proporciona información sobre la formación del sistema solar.

E. Materiales para Investigación y Recursos Futuros.

Los materiales de construcción son fundamentales para la fabricación de estructuras y refugios en entornos extraterrestres, allanando el camino para futuras misiones y colonizaciones

- Recursos biológicos: Utilizados para la búsqueda de vida extraterrestre y biomoléculas.
- Materiales de construcción: Utilizados en la fabricación de estructuras y refugios en otros mundos.
- Sales minerales: Con aplicaciones industriales.

F. Materiales para Fuentes de Calor y Energía Geotérmica.

La búsqueda de fuentes de calor y energía geotérmica en el espacio desempeña un papel fundamental en la exploración espacial y la futura colonización de otros cuerpos celestes. Entre estos materiales, encontramos recursos geotérmicos que se utilizan para la generación de energía, proporcionando una fuente inagotable de calor.

- Recursos geotérmicos: Fuentes de calor geotérmico utilizadas para la generación de energía.
- Recursos geotérmicos en cuerpos helados: Lunas como Europa pueden albergar fuentes de calor geotérmico bajo la superficie.
- Recursos hidrotermales en Encélado: Los géiseres de Encélado podrían contener recursos valiosos.

G. Materiales para Producción Química y Terraformación.

La obtención de materiales para la producción química y la terraformación es esencial en la exploración espacial. En este contexto, las atmósferas planetarias son fuentes potenciales de dióxido de carbono, un recurso fundamental para la producción de productos químicos y los esfuerzos de terraformación.

- Atmósferas planetarias: Pueden proporcionar dióxido de carbono para la producción de productos químicos y la terraformación.

H. Materiales Exóticos y No Convencionales.

La exploración del espacio ha revelado la presencia de materiales exóticos y no convencionales con diversas aplicaciones. Estos incluyen los hidrocarburos en Titán, una luna de Saturno, que se consideran recursos potenciales. Además, los hidrocarburos de cometas y los gases nobles como el helio, xenón y criptón tienen aplicaciones científicas y tecnológicas en la investigación espacial.

Algunos de ellos son:

- Hidrocarburos en Titán: Explorados como recursos en la luna de Saturno, Titán.
- Hidrocarburos de cometas: Investigación científica y obtención de recursos de cometas.
- Gases nobles: Helio, xenón y criptón pueden tener aplicaciones científicas y tecnológicas.
- Recursos volátiles en la Tierra temprana: Posibles recursos traídos por impactos cometarios y asteroidales en la Tierra temprana.
- Recursos minerales en exoplanetas: Aunque no se han explorado directamente, los exoplanetas pueden albergar minerales y recursos similares a los de nuestro sistema solar.

3.1. Objetivo Específico: Tipos de Recursos Naturales Buscados Evaluación de la Importancia Estratégica de Dichos Recursos

La exploración y explotación de recursos naturales en el espacio exterior es una empresa ambiciosa que ha capturado la imaginación de estados y actores en el ámbito espacial. Estos esfuerzos se centran en la búsqueda de una variedad de recursos naturales con objetivos específicos que van desde la economía y el comercio hasta la autosuficiencia espacial y la innovación tecnológica. Los recursos incluyen minerales metálicos valiosos como el oro y el platino, elementos de tierras raras cruciales para la alta tecnología, agua esencial para la vida humana, helio-3 como fuente de energía en el espacio, oxígeno para propulsión y respiración, silicio para energía solar y electrónica, hidrocarburos en Titán como fuente de energía y material de construcción, gases como hidrógeno y helio de Júpiter y Saturno para misiones espaciales, entre otros. La importancia estratégica de estos recursos es innegable, abarcando áreas que van desde la economía y la seguridad energética hasta la independencia estratégica en la exploración y colonización del espacio. En esta sección, exploraremos en detalle los recursos buscados y evaluaremos su importancia estratégica en el contexto de la minería espacial y la expansión humana en el espacio.

Los estados y actores en el ámbito espacial buscan una variedad de recursos naturales con **objetivos específicos**. Estos objetivos incluyen:

En primer lugar, la **sostenibilidad y autosuficiencia espacial** que permitan la autosuficiencia en la vida humana en el espacio, reduciendo la dependencia de la Tierra para suministros esenciales como agua, oxígeno y energía.

En segundo lugar, el **desarrollo económico y comercial**. Explotar recursos con valor económico, como minerales valiosos, para respaldar la economía y el comercio en la esfera espacial.

En tercer lugar, el **avance tecnológico**. La búsqueda y explotación de elementos clave para la alta tecnología, como las tierras raras, impulsan la innovación y el desarrollo de tecnologías avanzadas.

En cuarto lugar, **la energía sostenible**. La obtención de recursos como helio-3 y silicio en el espacio ofrece fuentes de energía sostenible para misiones espaciales y futuras colonizaciones.

En quinto lugar, **la propulsión y movilidad espacial**. Obtener gases y combustibles en el espacio para impulsar naves y misiones interplanetarias.

En sexto lugar, **la exploración y colonización espacial**. Los recursos naturales son esenciales para la exploración y colonización sostenible de otros cuerpos celestes, como la Luna y Marte.

3.2. Localización de Posibles Fuentes de Recursos en el Espacio

La exploración y explotación de recursos naturales en el espacio exterior constituye una empresa de gran envergadura, con el potencial de impulsar la innovación tecnológica, la economía, y el progreso en la exploración y colonización del espacio. Diversos tipos de recursos se encuentran distribuidos en distintos cuerpos celestes a lo largo del sistema solar, y cada uno de ellos posee un conjunto específico de atributos y potencialidades.

El **cinturón de asteroides**, situado entre Marte y Júpiter, alberga asteroides ricos en minerales metálicos de alto valor económico. Más allá de Neptuno, en la región de los cometas, se encuentran cuerpos celestes que contienen minerales de tierras raras y agua, elementos críticos para la tecnología avanzada y la vida en el espacio.

La **Luna**, por su parte, se distingue por su riqueza en minerales metálicos y agua, que se hallan disponibles en su superficie y en los cráteres perpetuamente en sombra. Estos recursos presentan una oportunidad excepcional para la sostenibilidad y autosuficiencia en la exploración lunar.

Marte, el denominado el "planeta rojo," dispone de regolitos que contienen minerales metálicos, minerales de tierras raras y agua en su subsuelo, con especial atención en regiones como el polo norte y cráteres marcianos como puntos de interés para la futura extracción.

Titán, la luna de Saturno, se distingue por sus cuerpos de líquidos compuestos por metano y etano, ofreciendo una fuente de hidrocarburos de gran potencial. En las atmósferas de Júpiter y Saturno, la abundancia de hidrógeno y helio brinda oportunidades para ser empleados como recursos de combustible y refrigeración en misiones espaciales.

Los **cometas**, a pesar de su movimiento veloz y desafiante, llevan consigo hielo de agua y otros volátiles, lo que los convierte en objetos de interés en la búsqueda de recursos valiosos.

El análisis y evaluación de estos recursos naturales, sus propiedades, ubicaciones y aplicaciones potenciales son fundamentales para orientar las futuras misiones espaciales, así como para comprender su importancia estratégica en el contexto de la minería espacial y la expansión humana en el espacio.

3.3. Evaluación de las Posibilidades Técnicas para la Extracción

La evaluación de las posibilidades técnicas para la extracción de recursos naturales en el espacio es un componente crítico en la planificación y ejecución de misiones espaciales. Dado que la exploración y explotación de estos recursos se enfrenta a desafíos únicos y rigurosos, es fundamental analizar minuciosamente las opciones disponibles y desarrollar enfoques efectivos.

A. Tecnologías de Extracción.

En primer lugar, es imperativo evaluar las tecnologías de extracción disponibles o en desarrollo. Estas tecnologías varían según el tipo de recurso y el cuerpo celeste objetivo. Por ejemplo, la minería en asteroides puede requerir sistemas de perforación y excavación específicos, mientras que la extracción de agua en la Luna podría implicar métodos de calefacción y destilación. La identificación y adaptación de tecnologías adecuadas para cada escenario son esenciales.

B. Métodos de Transporte y Almacenamiento.

Una vez extraídos, los recursos deben ser transportados y almacenados de manera eficiente y segura. Esto implica el diseño de sistemas de transporte espacial y contenedores adecuados para llevar los materiales de regreso a la Tierra o a otras ubicaciones en el espacio.

C. Ingeniería Espacial.

La extracción de recursos en el espacio a menudo implica condiciones extremas, como la falta de atmósfera, gravedad baja o nula, y radiación espacial. La ingeniería espacial debe abordar estos desafíos, diseñando equipos y sistemas resistentes y capaces de funcionar de manera confiable en entornos hostiles.

D. Robótica y Automatización.

La incorporación de tecnologías robóticas y sistemas de automatización es fundamental para llevar a cabo operaciones de extracción en lugares distantes y peligrosos. La programación y control de robots para realizar tareas específicas, como la perforación o el transporte, requiere un enfoque preciso y sofisticado.

E. Reciclaje y Sostenibilidad.

En un esfuerzo por garantizar la sostenibilidad en la exploración espacial y la explotación de recursos, se deben desarrollar sistemas de reciclaje eficientes para aprovechar al máximo los materiales extraídos. Esto contribuye a la reducción de la dependencia de la Tierra y al uso eficiente de los recursos disponibles en el espacio.

F. Investigación y Desarrollo Continuo.

La tecnología espacial está en constante evolución, y la investigación y desarrollo continuos son esenciales para mejorar y perfeccionar las técnicas y herramientas utilizadas en la extracción de recursos. Esto incluye la experimentación en laboratorios espaciales y la colaboración con organizaciones y empresas líderes en tecnología espacial.

G. Sistemas de Soporte de Vida y Mantenimiento.

Además de las consideraciones técnicas directas para la extracción, se deben desarrollar sistemas de soporte de vida y mantenimiento de infraestructura para las tripulaciones humanas que participen en estas operaciones. Esto garantiza su salud y bienestar en ambientes hostiles.

3.4. Revisión de Avances Tecnológicos en la Exploración Espacial

A lo largo de las décadas, la exploración espacial ha sido testigo de avances tecnológicos que han revolucionado la forma en que abordamos las misiones en el espacio. Estos

avances no solo han hecho que nuestras misiones sean más ambiciosas, sino que también han mejorado su precisión y eficacia. Algunos de los hitos tecnológicos más notables en la exploración espacial incluyen:

- **Propulsión Avanzada:** Se han desarrollado sistemas de propulsión de vanguardia, como los motores iónicos y los motores de plasma, que permiten misiones interplanetarias más veloces y eficientes. En este ámbito, SpaceX ha liderado la revolución con cohetes reutilizables como el Falcon 9 y el Falcon Heavy, transformando la industria espacial. Blue Origin, bajo la dirección de Jeff Bezos, está desarrollando motores de cohete avanzados, como el BE-4.
- **Robótica Espacial:** Los robots y vehículos robóticos han avanzado en términos de autonomía, movilidad y capacidad de toma de decisiones. Esto ha permitido explorar planetas, lunas y asteroides de manera más efectiva. La NASA, con misiones exitosas como el rover Curiosity y el rover Perseverance en Marte, ha sido pionera en la robótica espacial. Además, ha colaborado con agencias como la ESA en misiones robóticas. La Agencia Espacial Europea (ESA) ha contribuido significativamente al desarrollo de tecnologías avanzadas en robótica espacial, incluyendo el rover ExoMars.
- **Tecnología de Aterrizaje:** Técnicas avanzadas de aterrizaje, como el aterrizaje suave asistido por propulsores y el uso de grúas aéreas, han permitido misiones exitosas en planetas y lunas con superficies desafiantes. La NASA ha sido líder en el desarrollo de tecnología de aterrizaje avanzada, habiendo aterrizado múltiples misiones en Marte y otras áreas de interés. SpaceX, por su parte, ha demostrado la precisión de los aterrizajes de cohetes Falcon en plataformas flotantes y en tierra firme.
- **Comunicaciones Espaciales:** Las comunicaciones espaciales se han vuelto más rápidas y confiables, permitiendo la transmisión de datos en tiempo real desde misiones distantes. También se han desarrollado sistemas de comunicación más eficientes, como las redes de satélites en órbita baja de la Tierra. Empresas como Boeing y Lockheed Martin han liderado el desarrollo de sistemas de comunicación espaciales avanzados, mientras que SES e Iridium Communications se destacan en la operación de redes de satélites para comunicaciones globales.
- **Tecnología de Energía Solar:** Paneles solares de alta eficiencia se utilizan para generar energía en misiones espaciales, lo que permite una mayor autonomía y capacidad de carga de instrumentos científicos. Northrop Grumman y Airbus han desarrollado paneles solares avanzados para su uso en misiones espaciales.
- **Impresión 3D en el Espacio:** La tecnología de impresión 3D se ha implementado en misiones espaciales, permitiendo la fabricación de piezas y herramientas en el espacio, lo que reduce la necesidad de enviar todo desde la Tierra. Empresas como Made In Space se han especializado en tecnología de impresión 3D en el espacio, demostrando la capacidad de fabricar piezas y herramientas en la Estación Espacial Internacional.
- **Tecnología de Propulsión Nuclear:** Se están desarrollando sistemas de propulsión nuclear, como el propulsor de fisión nuclear y el motor de propulsión eléctrica de fusión, que podrían revolucionar la exploración espacial a largo plazo. Aunque esta tecnología todavía está en sus primeras etapas de desarrollo, la NASA ha estado investigando tecnologías de propulsión nuclear.

- **Exploración de Recursos Espaciales:** La tecnología para la extracción de recursos en el espacio, como minerales metálicos, agua y helio-3, está en desarrollo. Esto incluye técnicas de minería espacial y procesamiento in situ, y se considera un paso crucial hacia la autosuficiencia en el espacio.
- **Tecnología de Vida en el Espacio:** Los sistemas avanzados de soporte vital y reciclaje de recursos, como sistemas de purificación de agua y regeneración de oxígeno, permiten una mayor autonomía de las misiones espaciales y la posibilidad de establecer colonias en otros mundos. La ISS (Estación Espacial Internacional) ha demostrado tecnologías de soporte vital avanzadas en el espacio.
- **Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automatizado:** La inteligencia artificial se utiliza en naves espaciales para la toma de decisiones autónomas, el procesamiento de datos y la planificación de misiones. También se emplea en el análisis de datos científicos recopilados durante las misiones. Diversos actores, incluyendo la NASA, SpaceX, Blue Origin y la ESA, han incorporado IA y aprendizaje automático en sus misiones para la toma de decisiones autónomas y el procesamiento de datos.
- **Tecnología Espacial Sostenible:** En un esfuerzo por reducir los desechos espaciales y mitigar los efectos de la contaminación espacial, se están desarrollando tecnologías y prácticas más sostenibles. NASA y otras agencias espaciales están trabajando en la mitigación de los desechos espaciales y en la promoción de prácticas sostenibles en el espacio.
- **Misiones Tripuladas y Colonización:** Los avances tecnológicos en sistemas de soporte vital, protección contra la radiación y sistemas de propulsión tripulada están allanando el camino para misiones tripuladas a la Luna, Marte y más allá, así como para la eventual colonización espacial. La NASA lidera la exploración tripulada y la colonización del espacio profundo con su programa Artemis, que busca llevar a los astronautas de regreso a la Luna y allanar el camino hacia futuras misiones a Marte.

Estos avances tecnológicos han transformado la forma en que abordamos la exploración espacial y han abierto nuevas fronteras en la búsqueda del conocimiento y la expansión de nuestra presencia en el universo. A medida que continuamos avanzando, es probable que veamos aún más innovaciones que nos lleven más allá de las estrellas.

3.5. Descripción de las misiones espaciales relevantes de los Estados europeos

A. Agencia Espacial Europea (ESA): La ESA es una organización intergubernamental que ha estado involucrada en una amplia gama de misiones. Una de las más notables es la misión Rosetta, que envió la sonda Philae al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Esta misión proporcionó datos valiosos sobre los cometas y los inicios del sistema solar. Además, la ESA ha lanzado la sonda Solar Orbiter, que se acercará al Sol para estudiar su actividad y clima espacial.

B. Francia (CNES): La agencia espacial francesa, CNES, ha liderado o participado en numerosas misiones. La misión Mars Express, en colaboración con la ESA, permitió estudiar Marte y descubrir agua líquida en su superficie. Además, Francia ha sido pionera en el desarrollo de satélites de observación de la Tierra, como los satélites SPOT y Pléiades, que han revolucionado la monitorización medioambiental y la cartografía.

C. Italia (ASI): La Agencia Espacial Italiana (ASI) ha estado involucrada en misiones interplanetarias significativas, como la colaboración en la misión Cassini-Huygens a Saturno, que estudió el planeta y su luna Titán. ASI también ha liderado la misión ExoMars, diseñada para buscar signos de vida pasada o presente en Marte.

D. Reino Unido (UK Space Agency): Aunque no tiene una agencia espacial independiente, el Reino Unido ha contribuido a misiones espaciales. La misión Beagle 2, un módulo de aterrizaje en Marte, fue un proyecto británico que lamentablemente no tuvo éxito, pero demostró la ambición británica en la exploración espacial. Además, el Reino Unido ha estado involucrado en programas de la Estación Espacial Internacional (EEI) y ha lanzado su propio programa de satélites de observación de la Tierra.

4. Europa: Alianzas y Rivalidades en la Carrera Espacial

4.1. Revisión de las alianzas actuales de Europa en la carrera espacial

Los países europeos, a través de la Agencia Espacial Europea, tienen una herramienta muy potente para cooperar de forma interna en la exploración espacial, pero también de forma externa. Durante años, la política de la ESA ha hecho que se lancen un gran número de misiones conjuntas con otras agencias de todo el mundo. Sin embargo, los importantes cambios en la geopolítica mundial hacen que algunos socios hayan dejado de cooperar y que otros puedan convertirse en rivales en los próximos años o décadas al ir ganando relevancia la minería espacial y se empiece a competir por los recursos extraterrestres.

Teniendo en cuenta los actuales cambios geopolíticos y la tradicional cercanía de los países europeos a alguno de los principales actores de la exploración espacial, es muy probable que las alianzas y simpatías se trasladen de la Tierra al espacio, arrojando una imagen de cómo pueden ser las relaciones europeas en el futuro.

4.2. Posición europea

Pese a que la Agencia Espacial Europea es el principal representante y actor de los Estados europeos en la exploración espacial, no es la única entidad europea involucrada. Varios Estados poseen sus propios programas espaciales y mantienen actividades paralelas a la de la ESA.

La gran mayoría de estas agencias son organismos bastante pequeños dedicados a estudios científicos y telecomunicaciones que proveen servicios para sus Estados, además de fomentar la innovación y el desarrollo. Debido al pequeño tamaño de estas agencias y sus recursos limitados, casi todas se han unido bajo el paraguas de la Agencia Espacial Europea buscando una mayor efectividad de sus esfuerzos. Aunque los países europeos tienen diversos y variados intereses, el consenso inicial alcanzado en la exploración espacial de mantener y desarrollar actividades pacíficas en el espacio, unido a la tendencia a la integración que ha dominado Europa, hace que no existan grandes diferencias de opiniones y se busque la colaboración activa de los Estados europeos.

Aunque la Agencia Espacial Europea se mantiene como un organismo independiente, las relaciones se han mantenido muy cercanas desde la creación de la Unión Europea, firmándose acuerdos para ampliar la presencia europea en el espacio y mantener la independencia estratégica de Europa. Además, el reciente descubrimiento de grandes

cantidades de recursos dentro del sistema solar estimula los esfuerzos conjuntos para acceder a estos y asegurar que el sector espacial europeo se mantiene en una posición de liderazgo.

4.3 Posibles socios

El compañero más importante de la Agencia Espacial Europea ha sido los Estados Unidos, a través de la NASA, con la que se han realizado numerosas misiones conjuntas desde los años 70, y aunque la NASA ha sido tradicionalmente el socio mayoritario en estas misiones, la ESA también ha ejercido un papel de liderazgo en algunas de ellas. La Agencia Espacial Europea han cooperado estrechamente en misiones tanto científicas como tripuladas, habiendo volado en numerosas ocasiones a bordo de los transbordadores espaciales americanos, siendo un europeo el primer astronauta no estadounidense en volar en uno de ellos.

Esta colaboración, percibida como muy positiva por ambas agencias, ha sido cimentada con memorándums de entendimiento y presencia de personal en instalaciones de la NASA para el control conjunto de varias misiones. La actividad de la ESA no se puede entender sin la colaboración de la NASA, que ha sido parte esencial en el desarrollo de la agencia, igual que para la NASA ha sido su socio más fiable. Es por ello que la previsión de colaboración en el futuro con la NASA siga siendo muy buena, con misiones conjuntas planeadas para las próximas décadas.

El proyecto más importante en el que están envueltos las dos agencias es el programa Artemis, con el que se pretende volver a la Luna y que se convierta en los cimientos para una futura base lunar permanente en la superficie.

Canadá es otro de los socios más establecidos de Europa en la exploración espacial ha sido Canadá, que pese a ser un actor relativamente menor en la carrera espacial, se ha mantenido colaborando con la Agencia Espacial Europea durante más de 40 años. A lo largo de estos años, mediante acuerdos bilaterales, Canadá ha participado directamente en los programas de la ESA además de entrar a formar parte de sus organismos deliberativos. A efectos prácticos, Canadá es un miembro más de la agencia, lo que es beneficioso para ambos a nivel económico y científico.

Debido a las importantes connotaciones económicas de la relación entre la ESA y Canadá y teniendo en cuenta los beneficios que puede reportar la explotación de los recursos extraterrestres, hace prever una buena sintonía entre los dos socios en el desarrollo de misiones que sean capaz de alcanzar y aprovechar estos recursos.

Pese a que las relaciones con JAXA no han sido tan intensas como con Canadá o Estados Unidos, la agencia japonesa a cooperado con la Agencia Espacial Europea en varias ocasiones. En los últimos años se ha ampliado esta colaboración como respuesta al interés renovado en la exploración de la Luna, además de para la observación de la Tierra. En el año 2018 se firmó un acuerdo de cooperación bilateral para extender las capacidades de ambas agencias, haciéndolo además de una forma sostenible y responsable con el medio ambiente.

Los planes de la agencia con respecto a la Luna son ambiciosos y el reciente acercamiento de Japón a occidente puede convertirla en un socio muy importante para la ESA en las próximas décadas.

La India es otro de los países involucrados en la cooperación con la Agencia Espacial Europea desde hace décadas. La confianza que tiene la ESA en el desarrollo de las capacidades indias es una base importante para el acuerdo de cooperación que se ha ido prorrogando con los años. La Agencia Espacial Europea ha buscado ampliar los ámbitos de colaboración con la India y las últimas misiones a la Luna convierten al país en un gran candidato para la cooperación en la exploración espacial.

Recientemente, astronautas europeos han volado en lanzadores de la empresa SpaceX con rumbo a la Estación Espacial Internacional, lo cual nos da un ejemplo de cómo pueden desarrollarse algunas de las misiones del futuro. El abaratamiento de los costes que ofrecen las empresas privadas como esta, hace que tanto la ESA como otras agencias dependan cada vez más de ellas para sus operaciones cotidianas, convirtiéndolas en una potencial herramienta para el futuro de la carrera espacial.

4.4. Posibles competidores

Las relaciones con la agencia espacial rusa se cortaron tras la invasión rusa de Ucrania. Rusia suspendió los lanzamientos de material europeo con el lanzador Soyuz y la Agencia Espacial Europea ha declarado imposible seguir los proyectos conjuntos para la exploración lunar. Se han estudiado alternativas para lanzar esas misiones sin la cooperación europea, reemplazando todos los elementos de origen europeo.

Rusia se mantiene muy interesada en la exploración de la Luna, pero el reciente antagonismo hacia occidente ha echado por tierra décadas de cooperación y dependencia mutua. Las sanciones y el comportamiento agresivo de Moscú hacen muy poco probable que pueda existir algún tipo de colaboración en el futuro cercano para la exploración espacial. El hueco dejado por la Agencia Espacial Europea puede ser aprovechado por China, con la que se firmó un memorando de entendimiento en el año 2021.

Por otro lado, la cooperación con China ha ido creciendo con la planificación y desarrollo de misiones científicas. Hasta ese momento, las relaciones se habían mantenido en intercambios de información. Pese a que se están dando pasos adelante en materia de cooperación, China mantiene su independencia y la mayoría de las acciones de la CNSA se mantienen aparte del resto de actores. Pekín ha rechazado ser parte de la Estación Espacial Internacional, optando por lanzar una propia que mantenga su actividad al margen de la iniciativa internacional.

Al igual que en la Tierra, la cooperación con China en el espacio puede ser una oportunidad o amenaza para Europa a partes iguales. Aunque haya se han dado pasos adelante, China siempre ha mantenido las distancias y las actuales circunstancias lo convierten en un competidor directo de la NASA, al mismo tiempo que ha habido más progreso en las relaciones con Rusia que con la Agencia Espacial Europea. La transferencia de conocimientos y tecnología entre estos dos actores, al igual que la falta de transparencia, hace que Europa mire con suspicacia las intenciones de Pekín.

5. Análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades)

5.1. Evaluación situacional. Sostenibilidad en la carrera espacial.

Tanto la Agencia Espacial Europea como otras agencias del mundo se han comprometido a desarrollar tecnología necesaria para la exploración espacial de forma responsable. Cada

vez se pone más énfasis en la reutilización de recursos destinados a la exploración espacial, no sólo para reducir costes, si no para evitar el derroche y contribuir a una industria aeroespacial más sostenible.

La basura espacial está empezando a saturar la órbita terrestre debido a la antigua política de *usar y tirar* que ha predominado desde el principio de la era de la exploración espacial. Esta basura puede crear problemas potenciales como accidentes provocados por el choque con alguno de estos objetos o la imposibilidad de lanzar satélites o cohetes por la presencia de restos de otras misiones. Aunque se han explorado formas de limpiar esa basura espacial, actualmente no existe forma de eliminarla. Por tanto, reciclar y recuperar el material lanzado al espacio se convierte en más importante cada año.

Por otro lado, la industria aeroespacial está aumentando su actividad de tal forma que no es posible mantener una firma medioambiental neutra. La Agencia Espacial Europea está intentando que sus métodos sean consecuentes con la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, sin embargo, la cada vez más importante actividad de las agencias espaciales está generando más demanda energética y contaminación al haberse incrementado el número de lanzamientos. Aunque se estén desarrollando nuevos cohetes reutilizables, la necesidad de recursos para su siguiente misión sigue siendo muy alta (combustibles, repuestos, energía gastada en reparaciones) y conseguir que la industria aeroespacial sea completamente verde está aún muy lejos.

Aun así, aunque se considere que los nuevos desarrollos permiten que la industria aeroespacial contribuya con la transición a una sociedad más consciente con la destrucción del medioambiente y se evite saturar el espacio con más basura espacial de la necesaria, existe la preocupación de que los estándares adquiridos por la Agencia Espacial Europea ralenticen el desarrollo de las tecnologías necesarias para el siguiente paso de la exploración espacial.

Todos los actores involucrados han demostrado su acuerdo a desarrollar una industria aeroespacial más responsable, pero los hechos han demostrado que no todos están tan comprometidos con estos objetivos. Rusia y China han provocado recientemente varias crisis por destruir satélites en órbita o no controlar de forma responsable la reentrada de sus aparatos, demostrando su falta de compromiso con unas actividades espaciales responsables.

5.2. Tecnologías necesarias.

Alcanzar los yacimientos de recursos objetivo necesita de una tecnología muy avanzada. Desde hace décadas, las sondas humanas exploran nuestro sistema solar, y en algunos casos, podemos considerar que la tecnología para llegar hasta ellos existe hoy en día, sin embargo, son misiones autónomas sin presencia humana. El gran desafío al que se enfrentan los actores involucrados es el de lanzar misiones tripuladas y mantener una presencia permanente en las zonas con yacimientos potenciales (o en un lugar cercano).

Europa tiene grandes capacidades de lanzamiento de vehículos. La Agencia Espacial Europea dispone de diferentes modelos de lanzadores construidos capaces de poner en la órbita terrestre cargas de diferentes pesos y tamaños. Sin embargo, para muchos de los lanzamientos interplanetarios, la ESA ha dependido de vehículos rusos o americanos. La Agencia Espacial Europea ha subordinado parte de su programa de misiones tripuladas a

los lanzamientos de la NASA, y actualmente no se cuenta con la capacidad de mandar humanos al espacio de forma independiente.

De igual manera, Europa no tiene planes de llegar a la Luna por su cuenta. En vez de eso, la Agencia Espacial Europea está muy involucrada en el programa Artemis, intentando asegurarse así una plaza para los astronautas europeos en futuras misiones. Recientemente, a la luz de las intenciones de diversos actores de alcanzar la Luna y otras partes del sistema solar, la ESA ha reconocido que va un paso por detrás y se propone tener la capacidad de poner humanos en órbita y en nuestro satélite lo antes posible.

En materia de exploración y aprovechamiento de recursos, Europa está en una buena posición y se encuentra en planificación y desarrollo de tecnologías demostradoras capaces de operar en microgravedad y aprovechar materiales in situ para construcción. Además, la ESA tiene una experiencia extensísima en exploración de los cuerpos que puede servir para la planificación de nuevas misiones.

Algunas de las agencias ya están desarrollando las tecnologías necesarias para situar humanos en la Luna por primera vez desde hace 54 años. Estados Unidos, con su programa Artemis, está realizando pruebas operativas de los vehículos que está previsto que lleguen a la Luna e incluso a Marte. China, por su parte, planea tener presencia en la Luna en el año 2030. Podemos afirmar que todos los actores principales están comprometidos en llevar humanos a la Luna en las próximas décadas. Se espera que la Luna sea el trampolín para alcanzar objetivos más lejanos como Marte o el cinturón de asteroides.

Con la tecnología actual, alcanzar un planeta como Marte puede llevar meses, y la permanencia en el espacio es perjudicial para los seres humanos debido a la ausencia de gravedad y cómo afecta ésta a los huesos y la musculatura. Por el momento no se ha conseguido solventar este problema y se está estudiando como acortar el viaje desarrollando nuevos motores. Se espera que los avances en la tecnología de fusión nuclear ayuden a crear motores más potentes que nos ayuden a llegar más lejos en menos tiempo.

Por otro lado, para que los seres humanos puedan habitar permanentemente un cuerpo celeste, se necesita tener una infraestructura previa que provea refugio, agua y oxígeno. En la actualidad, se planea mandar módulos desde la Tierra que vayan formando los fundamentos de la futura base tripulada, pero se espera que en el futuro se puedan crear de forma más eficiente. Esto quiere decir que previamente a las misiones tripuladas, se deben lanzar una serie de misiones automatizadas que sean capaces de enviar robots autónomos capaces de construir de las estructuras necesarias. Se está estudiando cómo a través de la IA y la impresión 3D, misiones automatizadas sean capaces de construir in situ las estructuras necesarias.

Para extraer los recursos que buscamos, es preciso trasladar al espacio los equipos mineros que sean necesarios. El inconveniente al que se enfrentan las agencias es que la maquinaria utilizada en la Tierra para la perforación no está adaptada para trabajar en entornos con una gravedad mucho más limitada. Los requerimientos energéticos de esta clase de maquinaria son además muy elevados, lo que genera cuestiones sobre como alimentar ese equipamiento en el espacio exterior. A esto hay que añadir que son objetos

muy voluminosos y es necesario diseñar equipos más pequeños, pero la capacidad de carga de los cohetes desarrollados está creciendo y se cree que en los próximos años se pueda trasladar el material necesario.

A pesar de los inconvenientes que presenta la tecnología minera actual, se considera que no es necesario perforar mucho para extraer los materiales, que, al contrario de la Tierra, en la Luna y algunos asteroides se encuentran a poca profundidad. Por otra parte, actualmente no es posible mandar cargas grandes de vuelta a la Tierra, ya que actualmente los vehículos enviados están formados por etapas, llegando al objetivo solamente un módulo final que no está preparado para llevar de vuelta más que unos pocos kilos.

5.3 Aspectos legales

El marco jurídico de la extracción de recursos extraterrestres no está muy desarrollado. A excepción del Outer Space Treaty creado en 1966 por las Naciones Unidas que intenta convertir el espacio en patrimonio de toda la humanidad, sin que ningún estado tenga derecho a reclamar soberanía sobre él, no existe otro tratado que regule las actividades espaciales. Han surgido dudas sobre si este tratado permite la explotación para fines comerciales de sus recursos, debido a que cualquier actividad debe ser llevada a cabo en beneficio de toda la humanidad.

Sin embargo, las ambigüedades de este tratado hacen que no quede claro si esa soberanía compartida de la humanidad se extiende a cualquier objeto que esté en el espacio exterior o los recursos naturales que pueda contener. Sólo Estados Unidos y Luxemburgo han promulgado leyes para apoyar la explotación de los recursos extraterrestres, pero el resto de Estados se mantienen con el antiguo marco del Derecho Internacional que en algunos aspectos se puede ser anticuado e insuficiente.

5.4. Evaluación de los logros y desafíos enfrentados.

Logros: Los Estados europeos han demostrado liderazgo en tecnología espacial. Han desarrollado lanzadores confiables, como el Ariane 5 y el Vega, que son esenciales para el acceso al espacio. La participación en misiones interplanetarias ha proporcionado una valiosa experiencia en exploración y desarrollo de tecnología avanzada. La construcción y operación de módulos en la EEI, como el módulo Columbus de la ESA, ha fortalecido la presencia europea en la órbita terrestre baja.

Desafíos: A pesar de los logros, los Estados europeos enfrentan desafíos significativos. Uno de los principales es mantener la competitividad en un mercado espacial global en constante evolución. Esto requiere inversión continua en investigación y desarrollo, así como la capacidad de adaptarse a las necesidades cambiantes de la exploración espacial. Además, el entorno geopolítico, con tensiones entre potencias espaciales, plantea desafíos en términos de seguridad y cooperación internacional.

5.5. Implicaciones de los pasos dados para el futuro.

- **Cooperación Internacional:** La cooperación es esencial para el éxito continuo de la exploración espacial europea. La colaboración con agencias como la NASA, Roscosmos y otras agencias espaciales es crucial para abordar misiones ambiciosas y compartir la carga financiera.

- **Innovación Tecnológica:** Los avances tecnológicos realizados en misiones espaciales europeas tienen aplicaciones significativas en la Tierra. Tecnologías como la observación de la Tierra desde el espacio tienen aplicaciones en agricultura, gestión de desastres, y seguimiento medioambiental.
- **Geopolítica Espacial:** La exploración espacial está cada vez más influenciada por la política y la seguridad. Los Estados europeos deben considerar cuidadosamente su posición en el escenario mundial y tomar decisiones estratégicas para proteger sus intereses y garantizar su acceso al espacio.
- **Sostenibilidad:** La creciente proliferación de desechos espaciales plantea una preocupación importante. Los Estados europeos deben liderar esfuerzos para garantizar la sostenibilidad en el espacio ultraterrestre, lo que implica la mitigación de la generación de basura espacial y la protección del entorno espacial.

6. Escenarios Futuros de la Carrera Espacial Europea

En este capítulo, exploraremos los diferentes escenarios que podrían surgir a raíz de los impulsores identificados, los cuales influirán en el futuro de la industria espacial europea y la explotación de recursos en el espacio exterior. Estos impulsores son factores clave que darán forma a cómo Europa se relaciona con el espacio y aprovecha los recursos extraterrestres en las próximas décadas.

Escenario de Continuidad:

Es muy probable que en los próximos 50 años los países europeos irán desarrollando gradualmente capacidad para la explotación de recursos, al igual que las empresas privadas, dentro de un marco regulatorio propio de cada país (o de la Unión Europea). Europa desempeñaría un papel de liderazgo en misiones científicas y de exploración, pero seguiría manteniendo una gran dependencia de socios como Estados Unidos para mantener una presencia permanente en el espacio. Esto nos acercaría a las alianzas tradicionales europeas, pero nos pondría en una posición de competencia más directa con actores como China y Rusia debido a los cambios geopolíticos en la Tierra. Igualmente, es muy probable que la explotación de los recursos extraterrestres acabe subcontratado con empresas privadas. Europa vería limitado su acceso a recursos por la posición subordinada de Europa con los Estados Unidos en la exploración espacial.

Escenario Favorable:

En un escenario menos probable, Europa incrementa su inversión estratégica en tecnología espacial, lo que desencadena proyectos de exploración espacial. Esto permite que Europa mantenga su independencia estratégica, sin dejar de lado la colaboración con otros actores. Este enfoque multipolar en la explotación de los recursos extraterrestres promueve el bien común, el respeto por las normativas ambientales que garantizan la sostenibilidad de las actividades espaciales, y aboga por una legislación universal que proteja los derechos de la humanidad sobre estos recursos. Aunque este escenario es menos probable, ofrece una visión optimista de cómo Europa podría desempeñar un papel proactivo en la carrera espacial y la gestión sostenible de los recursos en el espacio exterior.

Escenario Desfavorable:

En otro escenario menos probable, Europa podría quedarse rezagada en la carrera espacial debido a la falta de inversión, dificultades en el desarrollo de nuevas tecnologías o a una competencia excesiva entre los estados europeos. Esto podría generar tensiones y conflictos debido a la ausencia de legislación y agravar las relaciones con otros actores espaciales globales. Las disputas y tensiones darían lugar a un mayor aislacionismo y a una disminución de la cooperación internacional en el espacio. Europa se vería afectada negativamente, con un acceso limitado a los recursos espaciales y una presencia reducida en el escenario espacial global.

Estos escenarios reflejan las posibles trayectorias para la industria espacial europea en un contexto de creciente relevancia de los recursos espaciales. El camino que Europa elija dependerá de cómo aborde los impulsores y de sus decisiones estratégicas en los próximos años, lo que influirá en su posición en la exploración y explotación de recursos en el espacio exterior.

7. Conclusiones

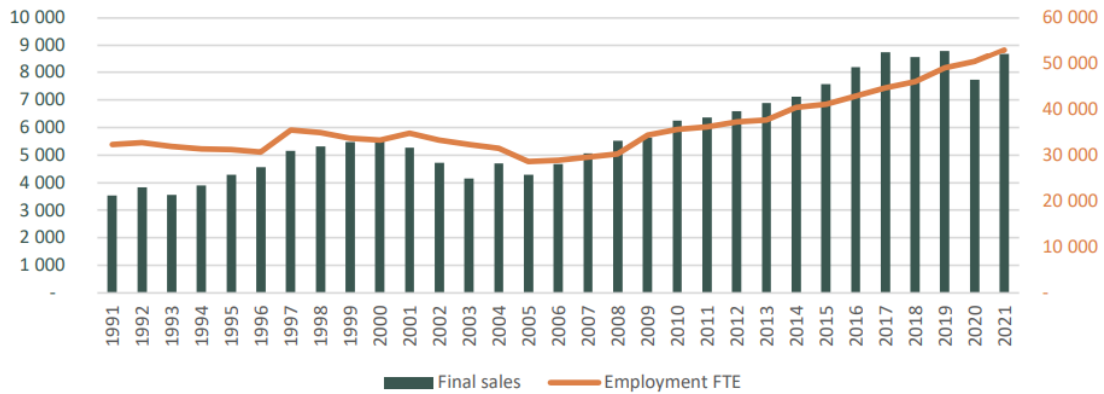
Europa es uno de los principales actores de la exploración espacial. Las capacidades públicas y privadas de la industria espacial europea permiten a la Agencia Espacial Europea mantenerse a la cabeza en innovación tecnológica y científica. El reciente interés en los recursos extraterrestres hace que estemos entrando en una nueva carrera espacial. Sin embargo, las capacidades actuales tanto de Europa como del resto de los actores implicados ponen de manifiesto que la explotación comercial de éstos no es viable en la actualidad. De igual manera, Europa está dependiendo demasiado de sus aliados en algunos de los aspectos más importantes del futuro de la conquista del espacio, como las misiones tripuladas y bases permanentes.

Europa corre peligro de quedarse atrás con respecto a otros actores con proyectos más avanzados que la Agencia Espacial Europea para establecer presencia permanente fuera de la Tierra. Así mismo, la industria europea necesita un flujo constante de inversión para desarrollar las tecnologías necesarias para el aprovechamiento de los recursos del sistema solar. Los intentos europeos para conseguir una independencia estratégica pueden depender de un acceso libre a éstos. La tradicional aproximación europea a la multipolaridad y la cooperación indica que, durante el futuro próximo, Europa seguirá buscando la cooperación de diferentes socios, y tampoco se puede descartar que busque impulsar un marco legal similar al del Tratado Antártico para la explotación de los recursos extraterrestres.

Aunque los dirigentes de la Agencia Espacial Europea son conscientes de los retrasos que mantiene respecto a sus socios y posibles competidores, y pese a que se está intentando corregir con nuevos proyectos y capacidades, se corre el riesgo de que los avances lleguen demasiado tarde debido a la gran cantidad de recursos, nuevas tecnologías y financiación necesaria.

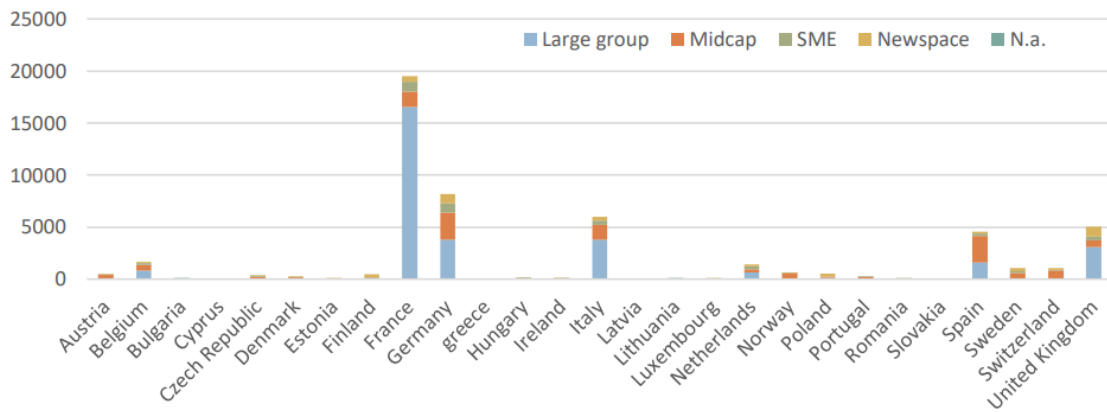
ANEXO

Imagen 1: Industria espacial europea (ventas y empleo)



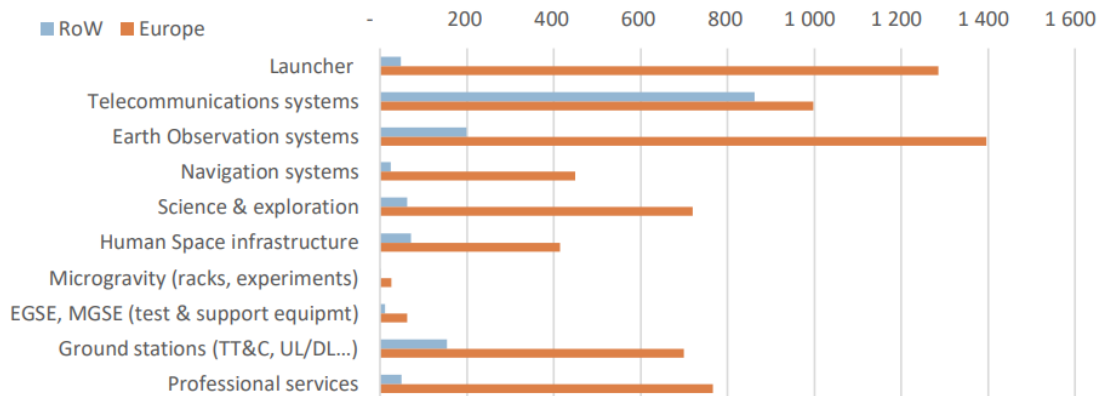
Fuente: Eurospace

Imagen 2: Industria espacial europea (empleo por país y tipo de compañía)



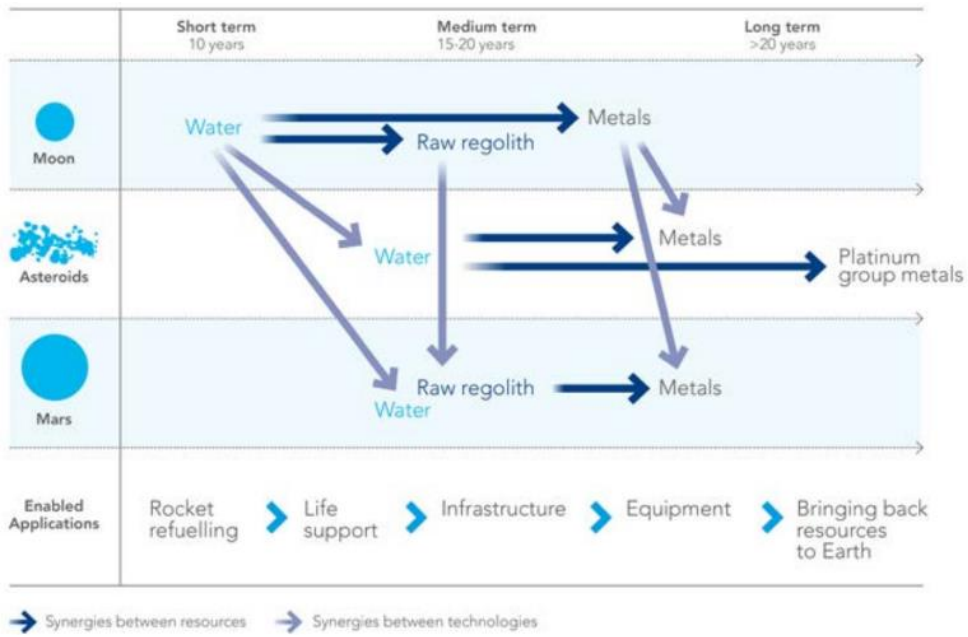
Fuente: Eurospace

Imagen 3: ventas por tipología de sistema, 2021



Fuente: Eurospace

Imagen 4: Prospectiva a corto, medio y largo plazo de la explotación de recursos



Fuente: ESA

Tabla 1: Análisis DAFO de la situación europea.

<p style="text-align: center;">Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología minera no adaptada para trabajar en entornos extraterrestres. • Elevado coste de misiones espaciales. • Necesidades energéticas demasiado altas. • Papel limitado de Europa, excesiva dependencia de otras agencias. • Desarrollo tecnológico lento debido a políticas medioambientales. 	<p style="text-align: center;">Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiales clave para la construcción de nuevas tecnologías en manos de posibles competidores. • Ausencia de legislación de la minería espacial. • Daños derivados de la explotación a sistemas extraterrestres. • Firma medioambiental de la industria aeroespacial creciente.
<p style="text-align: center;">Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proyectos de colonización ya en desarrollo, pero como operación conjunta con otros países. • Investigaciones en fuentes de energía alternativas muy avanzadas (energía de fusión nuclear). • Tecnología minera espacial en desarrollo, además de tecnologías para la extracción de recursos in situ. • Estrategia clara para el futuro, identificando áreas clave que necesitan desarrollo. 	<p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acceso a fuentes de recursos alternativas y abundantes. • No es necesario hacer grandes prospecciones para alcanzar los yacimientos. • Impulso a la innovación a través de nuevos programas espaciales. • Independencia estratégica europea en materia de recursos naturales y energía. • Disminución del impacto medioambiental creado por la minería en nuestro planeta.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Prospectiva

Prospectiva de la Carrera espacial europea
--

Impulsores	Driver	Trend
Impulsor 1:	Escasez recursos críticos en la Tierra	Aumento de valor económico y estratégico de los recursos extraterrestres
Impulsor 2:	Nuevas capacidades tecnológicas y científicas	Desarrollo de nuevas tecnologías
Impulsor 3:	Cambios geopolíticos	Competencia por recursos espaciales,
Impulsor 4:	Ausencia de legislación	Regulación de propiedad y derechos de explotación a favor de los estados
Escenario de continuidad	<p>Es muy probable que en los próximos 50 años los países europeos irán desarrollando gradualmente capacidad para la explotación de recursos, al igual que las empresas privadas, dentro de un marco regulatorio propio de cada país (o de la Unión Europea). Europa desempeñaría un papel de liderazgo en misiones científicas y de exploración, pero seguiría manteniendo una gran dependencia de socios como Estados Unidos para mantener una presencia permanente en el espacio. Esto nos acercaría a las alianzas tradicionales europeas, pero nos pondría en una posición de competencia más directa con actores como China y Rusia debido a los cambios geopolíticos en la Tierra. Igualmente, es muy probable que la explotación de los recursos extraterrestres acabe subcontratado con empresas privadas. Europa vería limitado su acceso a recursos por la posición subordinada de Europa con los Estados Unidos en la exploración espacial.</p>	
Escenario favorable	<p>En un escenario menos probable, la inversión estratégica en tecnología espacial aumenta en Europa, activando proyectos para la exploración espacial que permitan a Europa mantener una independencia estratégica, sin descuidar la colaboración con otros actores, impulsando un enfoque multipolar de la explotación de los recursos de extraterrestres fomentando el beneficio común, el respeto a normativas ambientales que garanticen la sostenibilidad de las actividades espaciales y apostando por una legislación universal que proteja los derechos humanidad sobre dichos recursos.</p>	
Escenario desfavorable	<p>Otro escenario poco probable es que Europa quede retrasada en la carrera espacial por falta de inversión, dificultades en el desarrollo de nuevas tecnologías o la excesiva competencia entre estados, que puede llevar a enfrentamientos a causa de la falta de legislación y el empeoramiento de las relaciones entre los principales actores en la Tierra. Las tensiones darían lugar a disputas, mayor aislacionismo y menos cooperación.</p>	

Referencias

- Adam Jan Zwierzynski, Wojciech Teper, Rafal Wisniowski, Andrezj Gonet, Tomasz Buratowski, Tadeusz Uhl, Karol Seweryn. (15 de August de 2021). Feasibility Study of Low Mass and Low Energy Consumption. *MDPI Resources*.
- Agnieszka Drobniak, Maria Mastarlez. (January de 2022). Rare Earth elements: A brief overview. *Indiana geological & water survey, Indiana Journal of Earth Sciences*.
- Andrew Ross Wilson, Massimiliano Vasile. (13 de September de 2023). The space sustainability paradox. *Journal of Cleaner Production*.
- Arkady Ursul, Tatiana Ursul. (2019). From planetary to space mining: prospects for sustainable development. *MATEC Web of Conferences*.
- C.Heinicke, B. Foing. (30 de July de 2021). Human habitats: prospects for infrastructure supporting astronomy from the Moon. *Royal Society Publishing* .
- Chekfoung Tang, Michael Emes, Muna M. Almahad. (2022). Achieving sustainability through the circular economy in the space sector . *UKAIS 2022 Annual Conference: Information systems for a sustainable future*.
- Claire McLeod, Mark Krekler. (23 de August de 2017). Sources of extraterrestrial Rare Elements: The Moon and Beyond. *MDPI Resources*.
- David, L. (2022). Europe cancels joint missions with Russia. *Scientific American*.
- ESA. (2019). *ESA Space Resources Strategy*. European Space Agency.
- ESA. (02 de September de 2019). *Europe's Rockets*. Obtenido de www.esa.int: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/06/Europe_s_rockets
- ESA. (2022). *Annual Report*. European Space Agency.
- ESA. (2023). *Independent advisory group presents report on European space revolution to ESA*. Obtenido de www.esa.int: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Independent_advisory_group_presents_report_on_European_space_revolution_to_ESA
- ESA. (s.f.). *A history of collaboration*. Obtenido de www.esa.int: <https://www.cosmos.esa.int/web/double-star/history-of-collaboration>
- ESA. (s.f.). *A history of European astronaut selection*. Obtenido de www.esa.int: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/European_Astronaut_Selection_2008/A_history_of_European_astronaut_selection
- ESA. (s.f.). *A new European vision for space exploration*. Obtenido de www.esa.int: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/A_new_European_vision_for_space_exploration

- ESA. (s.f.). *ESA and the EU*. Obtenido de www.esa.int:
https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_and_the_EU
- ESA. (s.f.). *International cooperation*. Obtenido de www.esa.int:
https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/International_cooperation
- ESA. (s.f.). *Mission Navigator*. Obtenido de www.esa.int:
https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mission_navigator
- ESA. (s.f.). *Redirecting ESA programmes in response to geopolitical crisis*. Obtenido de www.esa.int:
https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/Redirecting_ESA_programmes_in_response_to_geopolitical_crisis
- European Science Foundation, National Research Council, Division on Engineering and Physical Sciences, Space Studies Board, and Applications Commission on Physical Sciences, Mathematics, European Space Science Committee. (1998). *U.S. - Europe collaboration in space science*. National Academies Press.
- G. Leclerc, S. Lessard. (1988). *Canada and ESA: 20 years of cooperation*. European Space Agency.
- Hoersch, B. (2005). *ESA Third Party Missions Programme*. European Space Agency, Directorate of Earth Observation Programmes.
- Impey, C. (2021). *Unbound: Ethics, Law, Sustainability and the new Space Race*. *Studia Humana*.
- J.G Del Real, G. Barakos, H. Mischo. (2020). *Space mining is the industry of the future... or maybe the present? SME Annual meeting*. Phoenix.
- Jan Cilliers, Katheryn Hadler, Joshua Rasero. (March 25 de 2023). *Toward the utilisation of resources in space: knowledge gaps, open questions and priorities*. Obtenido de Nature Journal .
- JAXA. (2018). *JAXA-ESA Joint Statement concerning bilateral cooperation*. Obtenido de global.jaxa.jp: https://global.jaxa.jp/press/2018/03/20180303_esa.html
- Jimenez, J. M. (2009). *Mineralogía de los elementos del grupo platino en las cromititas ofiolíticas sometidas a diferentes tasas de alteración*. Universidad de Granada, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Kalhor, A. (2023). *Strategic triangle in outer space: China, Russia and the US*. *The Pakistan Institute of International Affaris*.
- Kathleen Magamo, Simone McArthy. (4 de October de 2023). *China's next moon mission aims to do what no country has ever done. Its space ambitions don't end there*. Obtenido de CNN Space's Next Chapter:
<https://edition.cnn.com/2023/10/04/china/china-moon-chang-e-lunar-mission-scn-intl-hnk/index.html>

Kevin Pollpelter, Elisabeth Barrett, Jeffrey Edmonds, Amanda Kerrigan, Andrew Taffer. (2023). *China-Russia cooperation: The Strategic, Military, Diplomatic and Economic implications of a Growing Relationship*. China Aerospace Studies Institute.

Peggy Hollinger, Clive Cookson. (2023). European agency aims to develop spacecraft to take astronauts to Moon. *Financial Times*.

R.P Mueller, L. Sibille, K.Leucht, J.D. Smith, I.I. Townsend, A.J. Nick, J.M. Schuler. (2015). Swamp Works: A New Approach to Develop Space Mining and resource extraction technologies at the NASA Kennedy Space Center. *Third International Future Mining Conference*. Sidney.

Regolith. (s.f.). Obtenido de www.regolith.eu: <https://regolith.eu/>

Ugur Murat Leloglu, Baris Gençay. (2012). *How newcomers will participate in space exploration*. TUBITAK Space Technologies Research Institute .

Xu, F. (2014). The approach to sustainable space mining: issues, challenges, and solutions. *IOP Conference series: Materials Science and Engineering*. San Francisco .

Yanes, J. (14 de Marzo de 2019). *Helio-3: La fiebre del oro lunar*. Obtenido de BBVA OPEN MIND: <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/fisica/helio-3-la-fiebre-del-oro-lunar/>

