



ACADEMIA DE LAS CIENCIAS
Y LAS ARTES MILITARES

Comunicaciones académicas

La exploración espacial, clave del futuro poder geoestratégico. Programa Artemis

Moisés M. Fernández Álvaro
Academia de las Ciencias y las Artes Militares
Sección de Prospectiva de la Tecnología Militar

26 de junio de 2023

Fases del programa

El programa ha sido concebido como un esfuerzo conjunto liderado por NASA, con la colaboración de diversas instituciones de investigación del gobierno, de la industria espacial americana de alta tecnología y de diversas agencias espaciales nacionales e internacionales (ESA, CSA, JAXA, etc.), con el objetivo de desplegar una infraestructura espacial que permita una presencia sostenible en la superficie y órbita lunares, y sirva de plataforma de lanzamiento a la futura exploración humana de Marte.

La participación de empresas privadas utilizando tanto sus desarrollos (por ejemplo el lanzador, los módulos de aterrizaje *Starship* y *Blue Moon* desarrollados por *SpaceX* y *Blue Origin* respectivamente, para las futuras misiones tripuladas), como sus servicios (por ejemplo la utilización de servicios de comunicación espacial con redes comerciales), va a proporcionar una mayor competencia, agilidad y

flexibilidad en las fases de planificación, desarrollo y puesta a punto de los sistemas que se necesitan.

Actualmente se han planificado las fases siguientes:

- Artemis I: finalizada con éxito el pasado 11 de diciembre de 2022. Utilizó el SLS Block 1 y la nave Orion no tripulada, en órbita lunar.
- Artemis II: previsto su lanzamiento en noviembre de 2024. Utilizará el SLS Block 1 y la nave Orion tripulada por 4 miembros, incluyendo una mujer y una persona de color, en órbita lunar.
- Artemis III: previsto su lanzamiento en diciembre de 2025. Utilizará el *SLS Block 1B*, la nave Orion con 4 tripulantes y el módulo de descenso, *Human Landing System (HLS) Starship*, para pisar la superficie lunar por primera vez una mujer y una persona de color.
- Artemis IV: previsto su lanzamiento en 2026. Utilizará el *SLS Block 1B*, la nave Orion tripulada, el *HLS Starship* y la estación espacial lunar *Gateway*, en misión de exploración de la superficie lunar y misión orbital en la *Gateway*.
- Artemis V – IX: previstos sus lanzamientos entre 2027 y 2034. Utilizarán el *SLS Block 1B*, los módulos *HLS Starship* y *Blue Moon*, diversos módulos de hábitat lunar, rovers, instrumentos científicos y equipos de explotación de recursos naturales; serán misiones orbitales en la *Gateway* y de exploración en la superficie, para preparar una presencia humana continuada en órbita y en superficie en las siguientes misiones regulares en la década de 2030.

Para la realización de estas fases del programa son también necesarios el lanzamiento de misiones logísticas de suministro y apoyo, para posicionar tanto en órbita lunar los diversos módulos de ampliación de la *Gateway*, módulos de alunizaje robóticos, satélites relé de comunicaciones y de posicionamiento global,

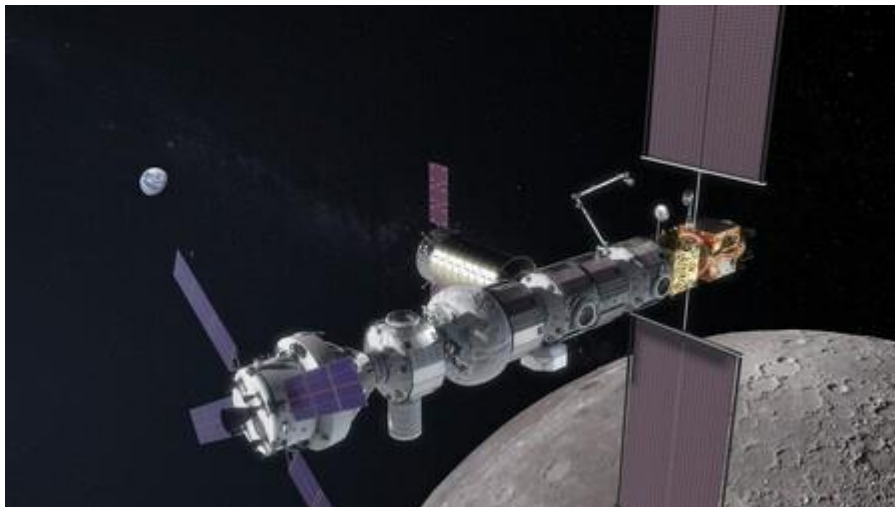


Ilustración de la futura estación espacial lunar, Gateway. Imagen: NASA

como en la superficie lunar la infraestructura básica vital, de investigación, de movilidad y para la explotación de recursos naturales.

Como se ha mencionado, la colaboración internacional es muy importante en el programa. El módulo de acoplamiento de la nave Orion al lanzador ha sido desarrollado por la ESA y ha permitido el lanzamiento de 8 cubesats en la misión Artemis I.

Ejemplos de la importancia de la colaboración comercial en el programa son la iniciativa CLPS (*Comercial Lunar Payload Services*) de NASA y la participación de una empresa tejana para desarrollar un sistema de navegación global por satélite (el Lunar *GNSS Receiver Experiment*) que proporcione navegación precisa a las futuras misiones de exploración de la superficie lunar.

Además, para el desarrollo de la capacidad completa de la *Gateway* la ESA fabricará diversos módulos.

A continuación, se van a detallar los desarrollos tecnológicos y los objetivos operacionales más significativos conseguidos en la primera fase y los que se prevén alcanzar en la próxima misión de demostración Artemis II, precursora de la primera misión humana al polo sur de la Luna, y en la futura Artemis III, en la que la primera mujer y el primer hombre de color pisarán su superficie.

Misión Artemis I

El pasado 11 de diciembre la nave Orion amerizaba en el pacífico después de 25,5 días de la misión Artemis I a la Luna.



Lanzamiento del vuelo de ensayo Artemis I, el miércoles 16 de noviembre de 2022, con el cohete Space Launch System (SLS) de NASA, con la nave Orion, desde el Complejo de Lanzamiento 39B del Kennedy Space Center de NASA en Florida. Imagen: NASA/Joel Kowsk



La nave Orion en el pacífico, 11 de diciembre de 2022. Imagen: NASA

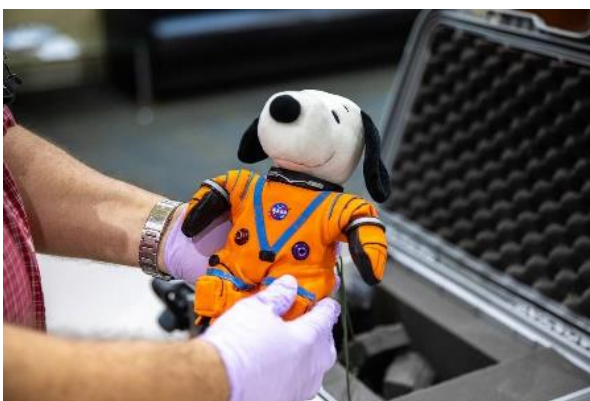
Esta misión no tripulada, lanzada el 16 de noviembre desde el Centro Espacial Kennedy de NASA en Florida, iniciaba el retorno a nuestro satélite después de casi cincuenta años desde que los astronautas *Eugene Cernan* y *Harrison Schmitt* del Apollo XVII dejaron la superficie de la Luna por última vez en diciembre de 1972.

La misión Artemis I ha permitido realizar con éxito numerosos ensayos. En primer lugar, comprobar el perfecto acoplamiento entre el lanzador *Space Launch System* (SLS) y la nave Orion, y el establecimiento de un enlace fiable de comunicaciones y control con la Red de Espacio Profundo (*Deep Space Net, DSN*) de la NASA.

Otro hito importante ha sido comprobar el perfecto funcionamiento del escudo térmico protector de la cápsula de mando y servicio de la nave Orion (y de sus futuros ocupantes) en la maniobra de reentrada en la atmósfera.

La nave ha recorrido casi 270.000 millas comprobando el correcto funcionamiento de todos los sistemas de a bordo así como las prestaciones de guiado, navegación y control en la órbita seleccionada alrededor de la Luna,

De todas las posibles órbitas NASA seleccionó una trayectoria de alta excentricidad, NRHO (*Near-Rectilinear Halo Orbit*), optimizada para los objetivos a largo plazo cuando NASA y las organizaciones colaboradoras integren los sucesivos módulos de la estación espacial lunar, *Gateway*, que servirá de puerto de atraque y descenso del módulo lunar a la superficie en las futuras misiones Artemis.



Mascota con sensor de gravedad cero. Imagen: NASA

Gracias a su equilibrio gravitacional en el sistema Tierra-Luna, esta órbita maximiza la eficiencia del consumo de combustible, permite establecer comunicaciones casi permanentes con la tierra y un acceso directo a cualquier punto de la superficie lunar.

A bordo de la nave viajaron cuatro maniqués sensorizados (dos masculinos y dos femeninos) y la mascota *Snoopy*, equipada con

pequeños sensores de gravedad cero para proporcionar información visual cuando la nave alcanza las condiciones de microgravedad.

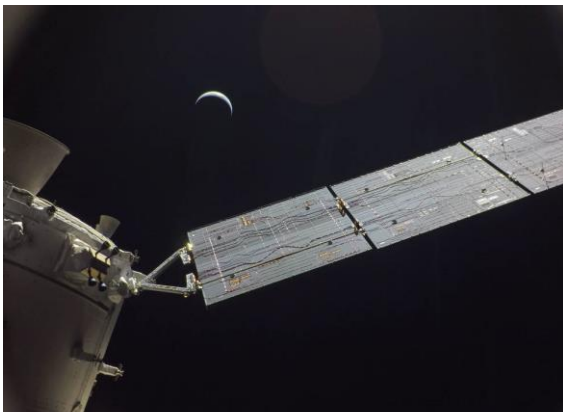
Los dos maniquies femeninos, *Helga* y *Zohar*, iban equipados con detectores de radiación como parte de la investigación *Matroshka AstroRad Radiation Experiment* (MARE) de la Agencia Espacial Alemana, y el torso de *Zohar* llevaba también un vestido de protección de la radiación. Con este experimento se podrá reducir el riesgo de exposición a la radiación de los futuros astronautas.



Maniquí femenino. Imagen: NASA



En la posición de comandante de la nave iba situado uno de los dos maniquies masculinos, llamado *Moonekin Campos* en honor del ingeniero eléctrico Arturo Campos, cuyo rediseño del sistema eléctrico del módulo de mando de la misión Apolo 13 aportando una solución de emergencia permitió salvar la vida de sus tripulantes y volver a la Tierra.



Durante la misión Artemis I la nave Orion capturó esta imagen de la Tierra con una cámara situada en uno de los paneles solares. Imagen: NASA

Misión Artemis II



Commander Reid Wiseman, Pilot Victor Glover, Mission Specialist Christina Hammock Koch, Mission Specialist Jeremy Hansen. Imagen: NASA

Después del lanzamiento, la nave Orion acoplada con el módulo ICPS (*Interim Cryogenic Propulsion Stage*) orbitará la Tierra dos veces para asegurar que sus sistemas funcionan correctamente. La primera órbita, elíptica (115 por 1800 millas), durará unos 90 minutos y se realizará un primer encendido del ICPS para mantener la órbita de la nave e impulsarla hacia una órbita elíptica de gran excentricidad (235 millas de perigeo y 68,000 millas de apogeo), la cual le permitirá ganar velocidad antes de iniciar las maniobras de desacople entre la nave y el módulo de propulsión.

Una vez producido el desacoplamiento, y antes de la reentrada en la atmósfera terrestre del módulo ICPS, la tripulación le utilizará como referencia para ensayar operaciones de proximidad. Los astronautas pasarán el control de la nave a modo manual y pilotarán la trayectoria del vuelo y la orientación de la nave. Utilizando

las cámaras a bordo y la visión desde las ventanas de la nave espacial, ejecutarán maniobras para alinearse con el ICPS a medida que se acercan y se alejan, para evaluar la maniobrabilidad de Orión.

Esta demostración proporcionará datos de rendimiento de los controles de vuelo y una experiencia operativa a la tripulación que no podría obtenerse fácilmente en tierra, tal como la preparación para las operaciones críticas de encuentro, proximidad y acoplamiento, así como para las operaciones de desacoplamiento en órbita lunar que comenzarán en la misión Artemis III.

Una vez finalizadas las operaciones de proximidad, la tripulación devolverá el control de la nave Orión a los controladores de misión en el *Johnson Space Center* (JSC), en Houston, y utilizará el resto de la órbita para verificar el funcionamiento de los sistemas de la nave en ambiente espacial. Mientras permanezcan en el entorno terrestre, la tripulación evaluará el funcionamiento de los sistemas de soporte vital necesarios para generar aire respirable y eliminar el dióxido de

carbono y el vapor de agua que se producen cuando los astronautas respiran, hablan o hacen ejercicio.



Imagen: NASA

El largo periodo orbital alrededor de la Tierra en la segunda órbita, alrededor de 42 horas, ofrece la oportunidad de probar dichos sistemas durante periodos de ejercicio, en los que la tasa metabólica de la tripulación es la más alta, y un periodo de sueño, en el que la tasa metabólica de la tripulación es la más baja. El cambio entre los modos de traje y de cabina en el sistema de soporte vital, así como el rendimiento del sistema durante los períodos de ejercicio y de sueño, permitirá confirmar toda la gama de capacidades del sistema de soporte vital y garantizar la preparación de la tripulación para la parte de la misión correspondiente al sobrevuelo lunar.

En el curso de esta órbita se quitarán el traje especial que llevan para el lanzamiento, denominado *Orion Crew Survival System*, y pasarán el resto de la misión con el traje diseñado para protección de la radiación, hasta que vuelvan a ponerse ese traje para preparar la reentrada en la atmósfera terrestre y posterior recuperación final de la cápsula en el océano.

En esta fase del vuelo se comprobarán los sistemas de comunicación y de navegación. La órbita elíptica alrededor de la Tierra permite volar brevemente más allá del alcance de los satélites GPS y de los satélites TDR (*Tracking and Data Relay*) de la Red de Espacio Cercano de la NASA para realizar una comprobación temprana de las capacidades de comunicación y navegación de la Red de Espacio

Profundo (DSN) de la agencia. Durante las fases posteriores de vuelo hacia la luna y alrededor de la luna, el control de la misión dependerá de la Red DSN para comunicarse con los astronautas, enviar imágenes a la Tierra y controlar la nave.

Una vez finalizadas estas comprobaciones, el módulo de servicio proporcionará el último empujón necesario para poner a Orión en camino hacia la Luna, con una maniobra de impulsión denominada encendido de inyección translunar (TLI), que enviará durante unos cuatro días a la tripulación en el viaje de ida y posterior sobrevuelo alrededor de la parte posterior de la Luna.

Durante el resto del viaje, los astronautas seguirán evaluando los sistemas de la nave, incluyendo la demostración de las operaciones de salida y regreso a la Tierra y prácticas de procedimientos de emergencia, entre otras actividades. El viaje de regreso durará otros cuatro días, sin necesidad de propulsión adicional, y la misión completa poco más de 10 días.

Esta trayectoria de bajo consumo de combustible aprovecha el campo gravitatorio del sistema Tierra-Luna y permite que, tras su viaje alrededor de la cara oculta de la Luna, Orión sea atraída de forma natural por la gravedad terrestre para el regreso.

Misión Artemis III

Después de los dos primeros vuelos de prueba, otra tripulación de cuatro personas viajará nuevamente a la Luna en la nave Orion, esta vez para hacer historia con la primera mujer y el primer hombre de color que caminen sobre su superficie. A partir de Artemis III, los objetivos de NASA se centrarán en misiones tripuladas para establecer sucesivas capacidades de exploración, habitabilidad, movilidad e investigación científica en la superficie lunar, y para construir la estación lunar *Gateway* en la órbita NRHO alrededor de la Luna.

Para esta misión histórica NASA ha seleccionado a *SpaceX* para desarrollar la nave *Starship* (el módulo de aterrizaje humano, *Human Landing System*, HLS) que transportará a los astronautas desde la nave Orión, en órbita lunar, hasta la superficie de la Luna y viceversa.

Para aumentar la eficiencia global del módulo de aterrizaje, *SpaceX* planea realizar al menos una misión de demostración sin tripulación en la que la nave *Starship* aterrice en la superficie lunar de manera segura y fiable. Antes del lanzamiento de la tripulación, *SpaceX* pondrá en órbita terrestre un depósito de almacenamiento de combustible y posteriormente con una serie de cohetes cisterna reutilizables transportará propulsante al depósito para aprovisionar la nave *Starship*.

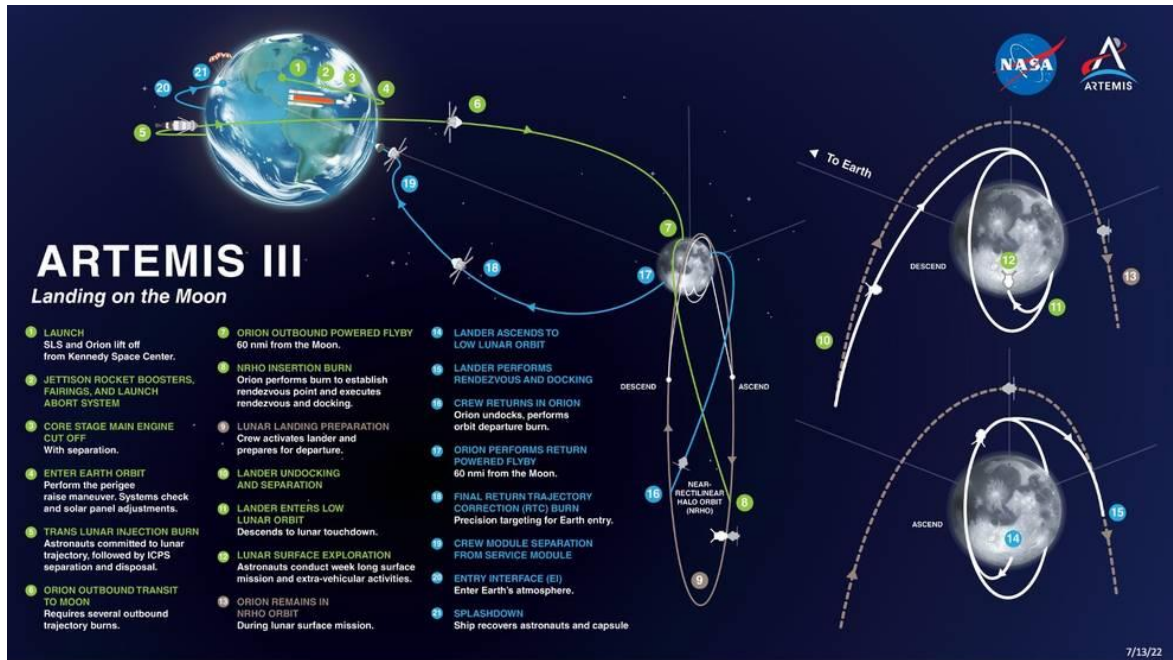


Imagen: NASA

A continuación, el módulo *Starship* se pondrá en órbita terrestre para reunirse con el depósito de almacenamiento y repostar sus tanques antes de ejecutar el encendido del motor de inyección translunar; a continuación, viajará durante unos seis días hasta la órbita NRHO, donde esperará la llegada de la tripulación de Artemis III.



Ilustración del Starship, diseño del HLS de SpaceX. Imagen: SpaceX

Cuando ambas naves se encuentren en la NRHO, Orión se acoplará a *Starship* para preparar la primera expedición a la superficie lunar del siglo XXI. Una vez que la tripulación y sus suministros estén listos, dos astronautas abordarán la nave *Starship* mientras que los otros dos permanecerán en la nave Orión. Orión se

desacoplará y se alejará de la *Starship* para permanecer en NRHO durante una órbita alrededor de la Luna, que durará aproximadamente 6,5 días. En ese tiempo los dos astronautas deberán terminar su trabajo en la superficie lunar para volver a reunirse con la nave espacial.

NASA ha seleccionado 13 lugares, cercanos al Polo Sur, para la era Artemis de exploración lunar humana. Sus condiciones extremas, con grandes contrastes, hacen que sea un lugar difícil para la exploración, pero la zona tiene unas características únicas que permiten aventurar descubrimientos científicos sin precedentes en el espacio profundo.

Tras el aterrizaje, la primera tarea de la tripulación de superficie será asegurarse de que todos los sistemas están listos para su estancia en la superficie lunar. Los astronautas realizarán trabajos científicos en el interior de la *Starship* y llevarán a cabo una serie de paseos lunares para explorar la superficie, utilizando trajes espaciales ergonómicos especialmente diseñados para protegerles de la radiación. NASA ha seleccionado a *Axiom Space* para suministrar los trajes de superficie Artemis III y los sistemas asociados para el paseo espacial.

Durante sus paseos lunares, los astronautas tomarán fotografías y vídeos, estudiarán la geología lunar, recogerán muestras y recopilarán datos para cumplir objetivos científicos específicos. La vista desde la región del Polo Sur lunar será muy diferente de las fotos tomadas en las misiones Apolo en la región ecuatorial de la Luna. El Sol se situará justo por encima del horizonte, proyectando sombras largas y oscuras sobre el terreno, por lo que la tripulación deberá explorar utilizando linternas frontales y dispositivos de navegación.

Los equipos de control de la misión en tierra estarán en contacto permanente con la tripulación mientras transmiten lo que ven, oyen y sienten. Gracias a la cobertura de la misión con la red DSN de NASA y a la capacidad de los sistemas para enviar a tierra imágenes y vídeos de alta calidad con tecnologías avanzadas de comunicación, compartirán con el mundo una experiencia humana única.

Al finalizar su misión en la superficie, los dos astronautas despegarán en la nave *Starship* y regresarán a la órbita NRHO para reunirse con sus compañeros de tripulación en la nave Orión. Tras el acoplamiento, la tripulación pasará hasta cinco días en órbita, transfiriendo muestras entre ambos vehículos y preparándose para el viaje de regreso a la Tierra.

Cuando alcancen el punto de partida óptimo de la NRHO, la nave Orion con los cuatro astronautas se desacoplará y encenderá los motores de Orión para impulsar la nave hacia la Tierra, viajando a unas 24.855 millas por hora (unos 40.000 kilómetros por hora) hasta alcanzar la reentrada en la atmósfera terrestre. Con la

ayuda de 11 paracaídas para la desaceleración, la cápsula de mando amerizará en el Océano Pacífico, donde será recuperada junto con su tripulación.

La misión Artemis III será sin duda una de las empresas de ingeniería e ingenio humano más complejas de la historia de la exploración del espacio profundo hasta la fecha y marcará el comienzo de un futuro en el que el ser humano podrá acceder de manera regular y sostenible a la Luna. Cada nueva misión Artemis aumentará los conocimientos científicos, perfeccionará las operaciones y probará la tecnología más avanzada, mientras el ser humano se prepara para la primera misión tripulada a Marte.

Conclusiones

El Programa Artemis supone el proyecto espacial más ambicioso en marcha en el momento presente y para alcanzar sus objetivos probablemente se extenderá hasta mediados de la próxima década. Esta vez, NASA lidera el regreso a la Luna a través de un programa de exploración innovador y sostenible con socios comerciales e internacionales para sentar las bases de una futura expansión humana por el sistema solar y traer de vuelta a la Tierra nuevos conocimientos y oportunidades.

Sin embargo, su desarrollo plantea retos colosales en muchos ámbitos y de manera simultánea:

- Nuevos desarrollos tecnológicos de multitud de equipos, sistemas, materiales avanzados y módulos, en un amplio abanico de áreas técnicas:
 - generación de energía,
 - medios propulsivos,
 - habitabilidad,
 - protección anti-radiación,
 - movilidad en superficie,
 - supervivencia,
 - redes de comunicaciones espaciales multipunto,
 - sistemas espaciales de localización y posicionamiento lunar,
 - cartografía lunar de precisión,
 - sistemas autónomos de ensamblaje y acoplamiento en el espacio,
 - sistemas robóticos móviles de inspección, análisis e investigación de recursos lunares,
 - sistemas de tele-fabricación de piezas 3-D y ensamblaje robotizado de módulos de superficie,
 - módulos autónomos de alunizaje,
 - etc.
- Desarrollo de procedimientos operativos de todo tipo:

- Operaciones espaciales en órbita y en superficie,
- Supervivencia y seguridad,
- Gestión logística de recursos y equipos,
- Mantenimiento y gestión de estado de los equipos desplegados,
- Control y actualización del SW implementado,
- Movilidad,
- etc.
- Gestión de los recursos humanos desplegados:
 - Monitorización permanente de la salud de las tripulaciones,
 - Sistemas de soporte vital,
 - Ergonomía en entorno espacial,
 - Respuesta frente a emergencias,
 - etc.
- Gestión y control de todo el programa, que integra multitud de proyectos de I+D+i y de fabricación, y multitud de agentes externos (organizaciones nacionales e internacionales, empresas, universidades y centros de investigación científica, agencias espaciales, etc.), que deben coordinarse de manera precisa en un único cronograma para el éxito global del programa.

El esfuerzo que exige es descomunal pero también lo son los réditos, beneficios y capacidades logrados. Por ello, podemos afirmar que el éxito global en este empeño posicionaría a EE. UU. en una situación de liderazgo tecnológico y científico mundial y que la exploración espacial sostenible es un factor clave del poder geoestratégico y económico a medio y largo plazo.

Nota: Las ideas y opiniones contenidas en este documento son de responsabilidad del autor, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento de la Academia de las Ciencias y las Artes Militares.

© Academia de las Ciencias y las Artes Militares - 2023