

CONTEXTO E INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA ESPACIAL





Contexto e introducción a la ingeniería espacial

Curso de Introducción a la Ingeniería Espacial por Altrya Space en colaboración con la Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo (UCLM)

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD DE USO:

Por favor, lee este descargo de responsabilidad detenidamente antes de utilizar el contenido proporcionado. El siguiente descargo de responsabilidad rige el uso del contenido, que ha sido elaborado únicamente con fines educativos y no está destinado a un uso comercial ni a ningún otro propósito más allá del estudio.

1. **Sin uso comercial:** El contenido proporcionado está estrictamente destinado a fines educativos y no debe utilizarse para ninguna actividad comercial. No está autorizado su venta, distribución ni ninguna otra forma de beneficio monetario.
2. **Solo con fines de estudio:** El contenido está diseñado para facilitar el aprendizaje y la comprensión del tema. Debe utilizarse exclusivamente para el estudio, la investigación o fines educativos personales.
3. **No es un consejo profesional:** El contenido proporcionado no constituye un consejo profesional. No es un sustituto de consultar con expertos o profesionales en el campo relevante. Cualquier decisión o acción tomada basada en el contenido se hace bajo su propio riesgo.
4. **Precisión de la información:** Si bien nos esforzamos por proporcionar información precisa y actualizada, no ofrecemos garantías de ningún tipo, expresas o implícitas, sobre la integridad, precisión, confiabilidad, idoneidad o disponibilidad del contenido. Usted es responsable de verificar la información antes de confiar en ella.
5. **Responsabilidad limitada:** No seremos responsables de ninguna pérdida o daño que surja del uso del contenido. Esto incluye, entre otros, daños directos, indirectos, incidentales, punitivos o consecuentes, incluso si se le ha informado de la posibilidad de dichos daños.
6. **Contenido y enlaces de terceros:** El contenido puede incluir referencias o enlaces a sitios web, recursos o contenido de terceros. No respaldamos, controlamos ni garantizamos la precisión, relevancia, puntualidad o integridad de ningún contenido de terceros. El acceso al contenido de terceros se realiza bajo su propio riesgo.
7. **Propiedad intelectual:** El contenido proporcionado está protegido por las leyes de propiedad intelectual, incluyendo, pero no limitado a, los derechos de autor. No se permite reproducir, distribuir, modificar, mostrar, realizar o transmitir el contenido sin permiso previo por escrito. Todos los derechos están reservados al profesor de la asignatura.
8. **Cambios en el descargo de responsabilidad:** Nos reservamos el derecho de modificar o actualizar este descargo de responsabilidad en cualquier momento sin previo aviso. Es tu responsabilidad revisar periódicamente este descargo de responsabilidad en busca de cambios.

Al utilizar el contenido, reconoces que has leído, entendido y aceptado este descargo de responsabilidad. Si no estás de acuerdo con alguna parte de este descargo de responsabilidad, abstente de utilizar el contenido.

Si tienes alguna pregunta o inquietud acerca de este descargo de responsabilidad, por favor contáctanos.

altryacontact@gmail.com

Índice general

1	Introducción	2
1.1	Misiones espaciales	2
1.1.1	Tipos de Misiones en Relación a la Vida Humana	2
1.1.1.1	Misiones no tripuladas (o misiones robóticas)	2
1.1.1.2	Misiones tripuladas	3
1.1.2	Tipos de misiones según la carga útil	3
1.1.2.1	Observación de la Tierra y Meteorología	4
1.1.2.2	Comunicación y Navegación (Punto a Punto o Difusión)	4
1.1.2.3	Astronomía	4
1.1.2.4	Exploración Humana y Estaciones Espaciales	5
1.1.3	Tipos de misiones según la órbita	5
1.1.3.1	Órbitas de baja altura terrestre	5
1.1.3.2	Órbitas intermedias (MEO)	6
1.1.3.3	Órbitas geoestacionarias (GEO)	6
1.1.3.4	Órbitas Halo	7
1.1.3.5	Órbitas de alta excentricidad (HEO)	7
1.1.3.6	Órbitas de asistencia gravitatoria (swing-by)	8
1.1.3.7	Aterrizadores y rovers en la superficie	8
1.2	Nuevo espacio - espacio tradicional	9
1.2.1	Espacio Antiguo	9
1.2.2	Nuevo Espacio	9
1.2.3	CubeSats	10
2	Sistemas	11
2.1	Ingeniería de sistemas	11
2.2	Gestión de proyectos	11
2.3	Astronáutica	12
2.4	Ingeniería de propulsión	12
2.5	Ingeniería de comunicaciones	13
2.6	Ingeniería informática	13
2.7	Ingeniería de software	14
2.8	Ingeniería eléctrica	14
2.9	Teoría de control y dinámica de actitud	14
2.10	Ingeniería térmica	15
2.11	Ingeniería Mecánica	15
3	Entorno espacial	16
3.1	Campos magnéticos	17
3.1.1	Campo Magnético	17
3.1.1.1	El origen del campo magnético de la Tierra	17
3.1.1.2	Modelos de campo magnético	18
3.1.1.3	Dependencia temporal del campo magnético de la Tierra	19
3.2	Radiación ultravioleta	20
3.3	Radiación encerrada y cinturones de Radiación de Van Allen	20

3.3.1	Introducción	20
3.3.2	Estructura y composición de los cinturones	21
3.3.2.1	El Cinturón Interno	21
3.3.2.2	El Cinturón Externo	22
3.4	Viento Solar y Magnetosferas Planetarias	22
3.4.1	El Sol	22
3.4.1.1	Características generales del Sol	22
3.4.1.2	Estructura del Sol	23
3.4.1.3	Campo Magnético del Sol y Actividad Solar	24
3.4.2	El Viento Solar	25
3.4.3	Magnetosfera Planetaria	26

Lista de acrónimos

ADM-AEOLUS

Atmospheric Dynamics Mission Aeolus. 4

AOCS

Attitude and Orbit Control System. 14

ATV

Automated Transfer Vehicle. 2

CDHS

Command Data Handling Subsystem. 10

CFD

Computer Fluid Dynamics. 11

CHEOPS

Characterising ExOPlanets Satellite. 4, 5

CME

Coronal Mass Ejections. 24–26

EARTHCARE

Earth Cloud Aerosol and Radiation Explorer. 4

ECLSS

Environmental Control and Life Support System. 3

ECSS

European Cooperation for Space Standardization. 10, 16

EM

Electromagnetic. 24–26

ENVISAT

Environmental Satellite. 4, 5

EPS

Electrical Power System. 14

ESA

European Space Agency. 4, 9, 10, 16, 25

EUV

Extreme Ultraviolet. 16, 20

GAIA

Global Astrometric Interferometer for Astrophysics. 4, 5, 7

GCR

Galactic Cosmic Ray. 16

GEO

Geostationary Orbit. 4, 6, 7, 16

GOCE

Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer. 4, 5

GPS

Global Positioning System. 4, 6

HEO

Highly Elliptical Orbit. 4, 8

LISTA DE ACRÓNIMOS

HST

Hubble Space Telescope. [4](#), [5](#), [21](#)

IAGA

International Association of Geomagnetism and Aeronomy. [19](#)

IGRF

International Geomagnetic Reference Field. [19](#)

ISS

International Space Station. [3](#), [5](#), [21](#)

JWST

James Webb Space Telescope. [4](#), [7](#)

LEO

Low Earth Orbit. [4–7](#), [21](#)

MASTER

Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference. [16](#)

MEO

Medium Earth Orbit. [4](#), [22](#)

MHD

Magneto Hydrodynamic. [26](#)

NASA

National Aeronautics and Space Administration. [8–10](#), [16](#)

OB

Onboard. [10](#)

OBC

OB Computer. [10](#)

OBDH

On-Board Data Handling. [10](#), [13](#), [14](#)

OBDHS

On-Board Data Handling Subsystem. [10](#)

PROOF

Program for Radar and Observation Forecasting. [16](#)

RTG

Radioisotope Thermoelectric Generator. [14](#)

S/C

Spacecraft. [9](#)

SAA

South Atlantic Anomaly. [19](#), [21](#)

SC

Subscriber Communicator. [19](#), [25](#)

SLEO

Super Low Earth Orbit. [5](#)

SMOS

Soil Moisture and Ocean Salinity. [4](#)

SOHO

Solar and Heliospheric Observatory. [7](#)

SSCC

Space Situational Awareness Weather Coordination Centre. [25](#)



SSO

Sun-Synchronous Orbit. [5](#)

STCS

Spacecraft Thermal Control System. [15](#)

TCS

Thermal Control System. [15](#)

TTC

Telemetry, Tracking and Command. [13](#)

URSS

Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. [8](#)

UV

Ultraviolet. [16](#), [20](#)

VLF

Very Low Frequency. [22](#)

1 | Introducción

1 | 1

Misiones espaciales

Una misión se compone de una serie de acciones planificadas con el objetivo de lograr un propósito específico. Las misiones de naves espaciales tienen como finalidad aprovechar el espacio exterior como un lugar singular y privilegiado para:

- Realizar experimentos en ciencias físicas y de la vida en condiciones de microgravedad, vacío y exposición a radiaciones.
- Facilitar las comunicaciones, incluyendo ayudas a la navegación espacial.
- Observar el planeta Tierra, tanto en su totalidad como en detalle, así como el resto del Universo, sin las limitaciones que se tienen desde la superficie terrestre impuestas por el filtro atmosférico. Con ello es posible realizar seguimientos ambientales.
- Llevar a cabo exploraciones, ya sea viajando a otros mundos mediante telepresencia o incluso con la presencia física de seres humanos.

El proceso de planificación de una misión espacial suele comenzar con la definición de la carga útil y la órbita, que generalmente están estrechamente relacionadas. Luego, se selecciona la plataforma o módulo de servicio adecuado, se elige un lanzador apropiado y, finalmente, se planifican las operaciones en tierra, que incluyen el sistema del vehículo espacial y la carga útil, junto con las necesidades de los usuarios finales, además del segmento terrestre requerido.

Estas misiones de naves espaciales pueden ser tripuladas, con astronautas a bordo, o robóticas, operadas de forma remota. Las misiones robóticas se clasifican según los objetivos de la carga útil que llevan. Aunque por lo general no se considera que los cohetes lanzadores y los cohetes sonda sean naves espaciales, la distinción se vuelve difusa cuando se consideran vehículos reutilizables, como los transbordadores espaciales y los aviones espaciales. Incluso los globos de gran altitud, que vuelan a aproximadamente 40 km sobre la Tierra, comparten muchas de las características del entorno espacial, al menos en lo que respecta a problemas relacionados con el control térmico.

1 | 1 | 1 | Tipos de Misiones en Relación a la Vida Humana

1 | 1 | 1 | 1 | Misiones no tripuladas (o misiones robóticas)



Estas misiones involucran la utilización de vehículos espaciales no tripulados, como satélites convencionales, naves de carga y sondas profundas. Actualmente, hay alrededor de 2500 satélites en órbita alrededor de la Tierra, que se utilizan en una variedad de aplicaciones, desde comunicaciones hasta investigaciones científicas y aplicaciones militares. Estos satélites varían en tamaño, desde los diminutos nano-satélites de aproximadamente 0.3 m de tamaño y 10 kg de peso, que consumen alrededor de 100 W de energía, hasta los gigantes satélites de comunicación de aproximadamente 3 m de tamaño, con un peso de 10 Tn y una potencia de 10 kW.

Además de los satélites, también existen unidades llamadas “pallets”, que pueden estar unidas a otras naves espaciales o moverse de forma independiente, aunque carecen de capacidades de navegación autónoma. Las naves de carga, como el *Progress*, el *Automated Transfer Vehicle* [4] y el *H-II* [14], suelen llevar a cabo misiones de corta duración y no son recuperables, con el propósito de cargar materiales en el espacio y deshacerse de residuos.

Figura 1.1: Nave Progress M. Extraída de [16].

Por otro lado, las sondas profundas se aventuran mucho más allá de la órbita terrestre, viajando a la Luna, otros planetas y sus lunas, cometas o incluso en dirección al Sol. Estas sondas suelen llevar módulos de aterrizaje y rovers para realizar investigaciones más detalladas en estos destinos. Algunos ejemplos notables incluyen el despliegue de dos globos sonda en la atmósfera de Venus y los rovers lunares y marcianos de diferentes compañías como el mostrado en la Figura 1.2.



Figura 1.2: Mars Curiosity Rover. Extraída de [3].

1 1 1 2 Misiones tripuladas

Estas misiones implican la participación de seres humanos en el espacio. Incluyen vehículos de transferencia, como la *Soyuz* [soyuz], el *Shuttle* [13] o la *Orion* [10] (a partir de 2014), estaciones en órbita como *Mir* [15] e *ISS*, y misiones que implican sobrevuelos y aterrizajes en la Luna, y posiblemente en Marte en la década de 2030.

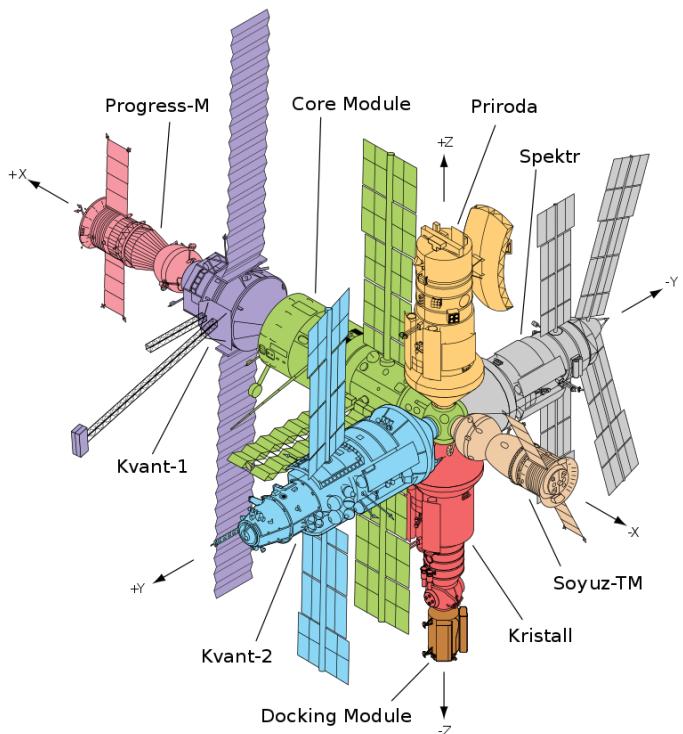


Figura 1.3: Elementos de la estación a mayo de 1996. Extraída de [15].

Desde el primer hito en la historia de la exploración espacial con el lanzamiento del *Sputnik-1* (1957), seguido por el *Sputnik-2* (1957), que llevaba a la perra *Laika* en su fatídico viaje orbital, hasta el épico vuelo de *Yuri Gagarin* a bordo de la *Vostok-1* (1961), los seres humanos han demostrado una insaciable sed de aventura en el cosmos y un inextinguible anhelo de comprender su misterio a un nivel más profundo. Esto hace que nuevas empresas como *SpaceX* o *Blue Origin* pongan sus esfuerzos en hacer que el vuelo espacial sea accesible incluso a turistas, dando paso así a que el público de a pie tenga más interés en el espacio.

1 1 2 Tipos de misiones según la carga útil

La carga útil se refiere a la parte de una carga espacial que genera ingresos, y todas las inversiones y gastos relacionados con la nave espacial se justifican en función de los beneficios que esta carga útil puede proporcionar, ya sea de naturaleza comercial, científica u otra. En esta sección se examinarán los principales tipos de cargas útiles no militares.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1 | 1 | 2 | 1 Observación de la Tierra y Meteorología

Estas misiones implican la utilización de satélites en órbita baja de la Tierra (**Low Earth Orbit**) con órbitas polares para obtener cobertura global o en órbita geoestacionaria (**Geostationary Orbit**) para garantizar una cobertura continua. Algunos ejemplos de misiones dedicadas a *observar la Tierra* son **Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE)**, **Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS)**, **SWARM** (Campo Magnético de la Tierra), **Atmospheric Dynamics Mission Aeolus (ADM-AEOLUS)**, **CRYOSAT** (misión de hielo de la **ESA**) o **Earth Cloud Aerosol and Radiation Explorer (EARTHCARE)**.



Figura 1.4: Misiones espaciales relacionadas con observación de la Tierra. De izquierda a derecha: **GOCE**, **SMOS**, **SWARM**, **ADM-AEOLUS**, **CRYOSAT** and **EARTHCARE**,

1 | 1 | 2 | 2 Comunicación y Navegación (Punto a Punto o Difusión)

Estas misiones se llevan a cabo mediante satélites **GEO** para cubrir latitudes bajas y medias, órbitas Molniya y otras órbitas de alta excentricidad (**Highly Elliptical Orbit**) para latitudes altas, o mediante constelaciones de satélites en **LEO** o en órbita terrestre media inclinada (**Medium Earth Orbit**) para lograr una cobertura global. Un ejemplo importante es el proyecto **Galileo**, que es la contribución de la *Unión Europea* al Sistema de Posicionamiento Global (**Global Positioning System**). Algunos ejemplos de *satélites de telecomunicaciones* son **ARABSAT**, **ANIK F3**, **HISPASAT**...



Figura 1.5: Satellites de comunicaciones. De izquierda a derecha: **ARABSAT**, **ANIK F3**, **HISPASAT**

1 | 1 | 2 | 3 Astronomía

Las misiones astronómicas pueden requerir una variedad de órbitas, que van desde **LEO** hasta **HEO**, **GEO** o *puntos de Lagrange*, según los objetivos de la misión. El *Telescopio Espacial Hubble (Hubble Space Telescope)*, por ejemplo, se encuentra en **LEO** a una altitud de 590 km y ha sido servido en múltiples ocasiones por el *Transbordador Espacial*. Su sucesor, el Telescopio Espacial James Webb (**James Webb Space Telescope**), se ha lanzado y se ubica en una órbita heliocéntrica a 1.500.000 km de la Tierra (punto *L2*), donde estará protegido térmicamente del Sol y aislado del resto de sistemas de la nave espacial por un parasol masivo compuesto por cinco láminas metalizadas.

Algunos ejemplos de misiones relacionadas con *propósitos científicos* son **GAIA**, **XMM-Newton** (observatorio espacial de rayos X), **GOCE**, **Environmental Satellite (ENVISAT)**, **BEPI-COLOMBO**, **telescopio HERSCHEL**, **CHAracterising ExOPlanets Satellite (CHEOPS)**, o **SENTINEL-3** (Radiómetro de Microondas).



Figura 1.6: Satélites científicos. De izquierda a derecha: **GAIA**, XMM-Newton, **GOCE**, **ENVISAT**, BEPI-COLOMBO, HERSCHEL, **CHEOPS** and **SENTINEL-3**.

1 | 1 | 2 | 4 Exploración Humana y Estaciones Espaciales

Estas misiones pueden involucrar **LEO** o sondas profundas dirigidas a la Luna. Después de la exploración inicial, estas misiones pueden conducir a investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos adicionales en el espacio.

Misión	Órbita	Actitud	Potencia instalada [W]
Ciencia (astronomía)	HEO	Apuntando al Sol, estrellas o planetas	200..1500
Ciencia (espacio profundo)	Órbitas de transferencia	Apuntando al Sol o planetas	200..1500
Telecomunicaciones	GEO	Apuntando a la Tierra	500..5000
Observación de la Tierra	LEO polar	Apuntando a la Tierra	500..5000
Meteorología	GEO	Apuntando a la Tierra	500..5000
Navegación global	MEO, $i = 56^\circ$	Apuntando a la Tierra	200..1500
Vehículos tripulados	LEO+transferencia	Apuntando a la Tierra	1000..10000
Estaciones tripuladas	LEO	Apuntando a la Tierra	10000..100000

Tabla 1.1: Misiones típicas y potencia instalada.

1 | 1 | 3 Tipos de misiones según la órbita

Las órbitas se caracterizan principalmente por el objeto alrededor del cual se desarrollan (como la Tierra, la Luna o el Sol) y su distancia o altitud en relación con ese cuerpo celeste. Además de estos factores, también incluyen otros aspectos geométricos y temporales. Los tipos principales de órbitas se describen a continuación.

1 | 1 | 3 | 1 Órbitas de baja altura terrestre

El conjunto de órbitas de baja altura terrestre se refiere a trayectorias alrededor de la Tierra que están relativamente cerca del planeta. Estas órbitas suelen ser circulares y se encuentran a altitudes que van desde 300 a 900 km sobre la superficie de la Tierra. Esta altitud se selecciona específicamente para evitar la fricción atmosférica excesiva (por debajo de 250 km) y la radiación perjudicial de los *cinturones de Van Allen* (por encima de 1000 km). Un ejemplo conocido de órbita de baja altura terrestre es la Estación Espacial Internacional (**ISS**), que se encuentra a aproximadamente 400 km de la Tierra.

Estas órbitas tienen un período de rotación relativamente corto, alrededor de 90 a 100 minutos para dar una vuelta completa a la Tierra. Un aspecto clave de estas órbitas es la inclinación en relación con el plano ecuatorial de la Tierra, que puede variar según la misión. Esta inclinación afecta la cantidad de tiempo que un satélite pasa en la sombra de la Tierra durante su órbita.

Las órbitas de baja altura terrestre tienen muchas aplicaciones, como la observación de la Tierra, la ubicación de estaciones espaciales, el despliegue de sensores astronómicos que evitan la atmósfera terrestre (como el **HST**), la facilitación de comunicaciones móviles (como la constelación de satélites *Iridium*) y su uso como órbita de estacionamiento para misiones posteriores, como viajes a la Luna.

Un tipo especial de órbita en esta categoría es la órbita síncrona al Sol (**Sun-Synchronous Orbit**) en **LEO**. En esta órbita, el plano de la órbita mantiene una posición constante en relación con el Sol y se utiliza ampliamente para la observación de la Tierra.

Es importante destacar que las órbitas super bajas (**SLEO**) requieren un sistema de propulsión constante para contrarrestar la fricción atmosférica y evitar que la órbita decaiga. Estas órbitas se utilizan en misiones específicas y pueden operar a altitudes extremadamente bajas, como 180 km.

El costo de lanzar una masa a órbita de baja altura terrestre es significativo, aproximadamente 10.000 kg .

1 | 1 | 3 | 2 Órbitas intermedias (MEO)

Órbitas de media altura terrestre son trayectorias que están ubicadas a medio camino entre la **LEO** y **GEO** alrededor de la Tierra. Estas órbitas son principalmente utilizadas para alojar satélites de navegación y tienen un período orbital de aproximadamente 12 a 15 horas, lo que significa que los satélites completan casi dos órbitas alrededor de la Tierra en un día. Esta característica facilita el seguimiento de los satélites y es fundamental para los sistemas de navegación.

Un ejemplo notable de satélites en órbitas de media altura terrestre es el sistema de navegación **GPS**, que consta de una constelación de 31 satélites (se han lanzado 54 en total) ubicados a una altitud de aproximadamente 20.200 km con una inclinación orbital de 55 grados. Además, el sistema Glonass utiliza 24 satélites en órbitas similares a una altitud de 19.100 km con una inclinación orbital de 64,8 grados. El sistema Galileo, que lanzó sus primeros dos satélites en 2011, también utiliza órbitas de media altura terrestre a una altitud de 23.300 km con una inclinación orbital de 56 grados y una relación de repetición de pista de $5/3$ (lo que significa que se requieren 5 órbitas para que el satélite vuelva al mismo punto subsatélite en 3 días).

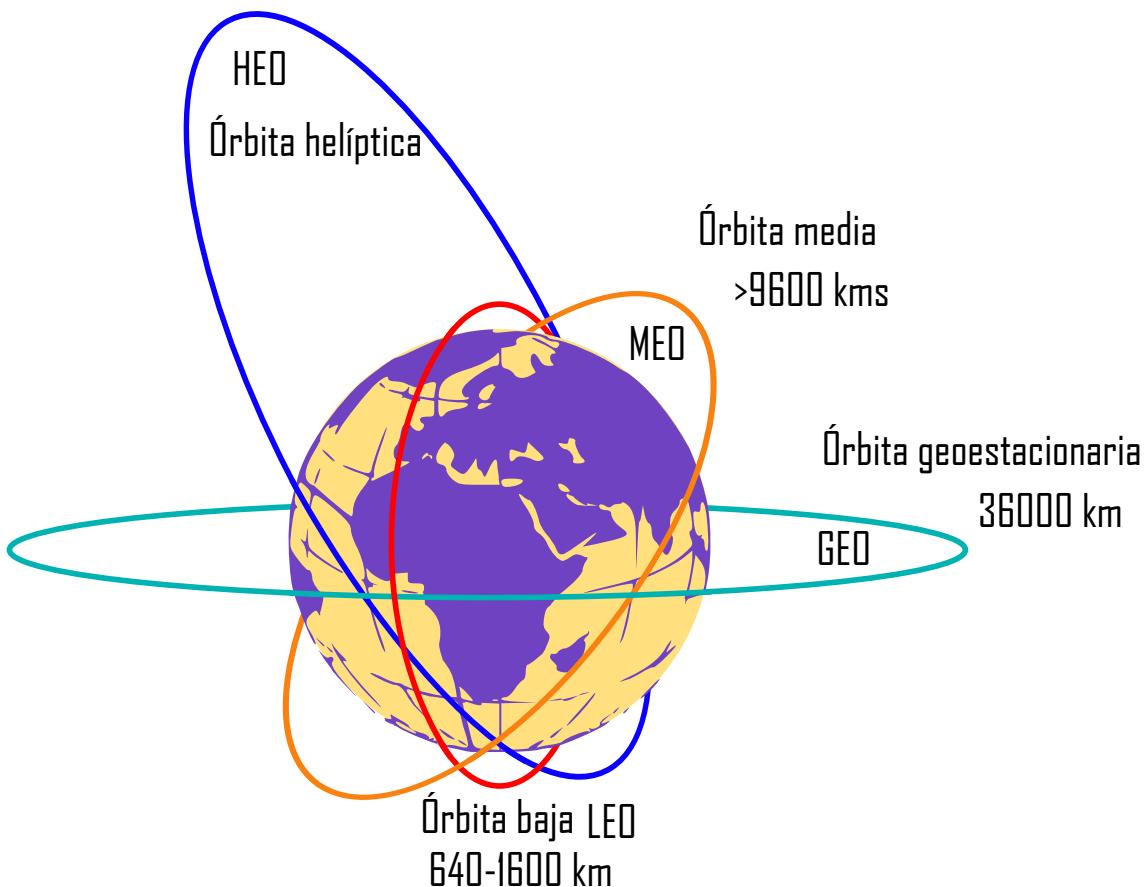


Figura 1.7: Tipos de órbitas terrestres.

Es importante tener en cuenta que las naves espaciales en órbitas de media altura terrestre y en órbitas geoestacionarias se encuentran dentro de los *cinturones de radiación de Van Allen* de alta energía, lo que puede tener implicaciones significativas para su diseño y operación debido a la exposición a la radiación espacial.

1 | 1 | 3 | 3 Órbitas geoestacionarias (GEO)

Son trayectorias circulares que se encuentran en el plano ecuatorial de la Tierra a una altitud de aproximadamente 36.000 km (con un valor específico de alrededor de 42.164 km). Estas órbitas se caracterizan por moverse en la misma dirección de rotación de la Tierra, lo que significa que los satélites en **GEO** tienen un período orbital exactamente igual a un día sidéreo,

que es de 86.164 s (equivalente a 23, 934 horas). Esto tiene como resultado que, desde la perspectiva de la Tierra, los satélites **GEO** parecen estar inmóviles en el cielo, ya que siguen el mismo ritmo de rotación de nuestro planeta.

Un aspecto importante de las órbitas **GEO** es que tienen una inclinación orbital nula, es decir, son ecuatoriales. Esto significa que su órbita está alineada con el ecuador terrestre, y la huella en la superficie de la Tierra corresponde a un punto fijo.

Existen numerosos ejemplos de satélites en órbitas geoestacionarias, incluyendo *Meteosat* (7 unidades), *Intelsat* (27 unidades), *Astra* (14 unidades), *Telecom* (5 unidades), *Eutelsat* (3 unidades), *Inmarsat* (11 unidades), *Hispasat* (3 unidades), *Brazilsat* (3 unidades), entre otros.

El costo asociado con el lanzamiento de una masa a una órbita **GEO** es significativamente mayor, aproximadamente alrededor de $30.000/kg.$, en comparación con órbitas de baja altura terrestre debido a los requisitos de energía y la complejidad técnica involucrada en alcanzar y mantener una órbita **GEO**.

1 1 3 4 Órbitas Halo

Alrededor de los puntos de Lagrange, en el contexto de la mecánica orbital de tres cuerpos, se encuentran ubicados cinco puntos especiales. Estos puntos rotan alrededor de la masa más grande en el sistema al mismo ritmo que la masa más pequeña. Los puntos de Lagrange se numeran como *L1*, *L2*, *L3*, *L4* y *L5*.

- *L1* se ubica entre las dos masas principales.
- *L2* está en la dirección opuesta a la masa pequeña.
- *L3* está en la dirección opuesta a la masa más grande.
- *L4* y *L5* se encuentran a 60 grados de separación en el plano del movimiento de los tres cuerpos.

En el sistema Sol-Tierra (*Sun-Earth*), estos puntos se conocen como *SEL1* y *SEL2*, mientras que en el sistema Tierra-Luna (*Earth-Moon*) se denominan *EML1* y *EML2*. Un objeto colocado en uno de estos puntos (o cerca de ellos) tiene una estabilidad marginal y sigue órbitas cuasi-periódicas alrededor de estos puntos, llamadas órbitas halo.

SEL1 se encuentra a aproximadamente $0,99\text{ UA}$ unidades astronómicas (la distancia promedio entre la Tierra y el Sol) y *SEL2* a alrededor de $1,01\text{ UA}$. Estos puntos son particularmente beneficiosos porque mantienen todas las fuentes de luz importantes (Sol, Tierra y Luna) casi fijas en relación con el sistema de tres cuerpos y no experimentan eclipses. Además, la inestabilidad marginal en *L1* o *L2* (o *L3*) naturalmente elimina los escombros no controlados, a diferencia de *L4* y *L5*.

SEL1 es especialmente adecuado para observar directamente el Sol (con la Tierra detrás, como en el caso de la misión **Solar and Heliospheric Observatory**) o para observar la Tierra iluminada constantemente. En cambio, *SEL2* es ideal para observar el resto del universo y ha sido elegido para misiones como *Planck*, *Herschel*, **GAIA**, *Spica*, *Euclid* y **JWST**.

Es importante mencionar que *SEL2* se encuentra ligeramente más allá de la sombra de la Tierra en comparación con *SEL1*, lo que significa que no bloquea completamente la radiación solar. Sin embargo, las órbitas halo están diseñadas para tener un gran rango alrededor del punto *SEL2*, lo que permite que los paneles solares alimenten la nave espacial sin sufrir eclipses.

En otro contexto, se ha propuesto utilizar el punto Tierra-Luna-*L2*, que está a unos 61.500 km de la Luna, como ubicación para un satélite de comunicación que cubriría el lado lejano de la Luna. Los puntos de Lagrange en el sistema Sol-Marte tienen poco interés debido a las perturbaciones significativas en la órbita de Marte y la extensión de la sombra solar más allá del punto Sol-Marte *L2*.

1 1 3 5 Órbitas de alta excentricidad (HEO)

En la Tierra, las órbitas de transferencia, como la órbita de Hohmann utilizada para moverse desde **LEO** a **GEO**, son una aplicación importante de estas trayectorias. Además, se emplean para configuraciones de comunicación específicas en regiones de alta latitud, como las órbitas Molniya.

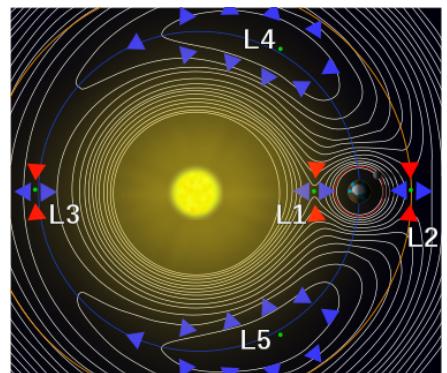


Figura 1.8: Curvas de potencial en un sistema de dos cuerpos (aquí el Sol y la Tierra), mostrando los cinco puntos de Lagrange. Las flechas señalan la dirección de aumento de potencial alrededor de los puntos L – acercándose o alejándose de ellos. Contra la intuición, los puntos L4 y L5 son mínimos. Extraída de [17].

Estas órbitas también se aprovechan para enviar sondas espaciales en misiones profundas hacia otros cuerpos celestes. Por ejemplo, el *Solar Orbiter*, con su perihelio a 0,28 UA y afelio a 1,3 UA, y la *Parker Solar Probe*, que se acerca al Sol a una distancia de 0,05 UA.

El primer satélite en HEO fue el Molniya-1, lanzado en 1965 por la **Unión de Repúlicas Socialistas Soviéticas**. Este satélite se utilizó para comunicaciones en regiones de alta latitud y se caracterizó por tener una altitud de 1500 km en su punto más cercano a la Tierra (perigeo) y 40.000 km en su punto más alejado (apogeo). Tenía una inclinación orbital de 63,4 grados, diseñada para contrarrestar la regresión de los apsides debido a la forma ligeramente achatada de la Tierra. La órbita de Molniya tenía un período orbital de 12 horas, lo que la hacía semi-síncrona, con aproximadamente 11 horas del día de comunicación sobre el hemisferio norte.

Estas órbitas ofrecen ventajas específicas según su aplicación, ya sea para comunicaciones, exploración espacial o investigación astronómica en el espacio profundo.

1 | 1 | 3 | 6 Órbitas de asistencia gravitatoria (swing-by)

Las órbitas de asistencia gravitatoria son trayectorias casi hiperbólicas que se emplean para aumentar el impulso o momento de una nave espacial mediante el efecto de la asistencia gravitatoria. Este método se utiliza ampliamente en todas las sondas espaciales interplanetarias.

Es importante destacar que la mayoría de estas órbitas están ubicadas cerca del plano de la eclíptica, que es el plano en el que la mayoría de los planetas del sistema solar orbitan el Sol. Las sondas Voyager, específicamente Voyager 1 y Voyager 2, fueron lanzadas por la NASA en 1977 con el propósito de estudiar los planetas gigantes Júpiter y Saturno, así como sus lunas y anillos. Estas sondas se valieron de la maniobra de asistencia gravitacional en su camino hacia estos planetas. Aquí hay un resumen de cómo funcionó la maniobra de asistencia gravitacional en las misiones *Voyager*:

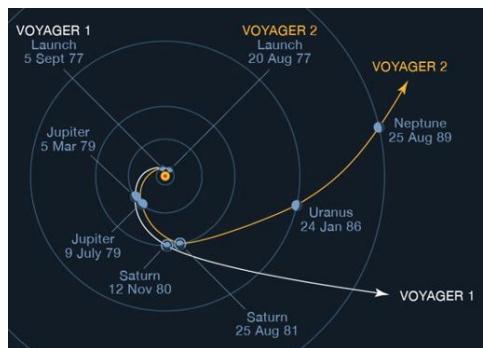


Figura 1.9: Maniobras de asistencia gravitatoria de las sondas Voyager 1 y Voyager 2, aprovechando el «tirón» de varios planetas - NASA. Extraída de NASA.

- **Encuentro con Júpiter (Voyager 1 y Voyager 2):** La primera maniobra de asistencia gravitacional se realizó en Júpiter. Ambas sondas se acercaron al planeta gigante y utilizaron su gravedad para acelerar y cambiar su dirección. Esto permitió que las sondas alcanzaran velocidades mucho más altas de las que habrían logrado simplemente mediante el impulso de cohetes.
- **Encuentro con Saturno (Voyager 1 y Voyager 2):** Después de su visita a Júpiter, ambas sondas se dirigieron a Saturno, donde realizaron una segunda maniobra de asistencia gravitacional similar. Saturno también proporcionó un impulso adicional y cambió sus trayectorias para enviar a las sondas hacia nuevos destinos.
- **Voyager 2 a Urano y Neptuno:** Voyager 2 continuó su viaje después de Saturno, utilizando una tercera maniobra de asistencia gravitacional en Urano en 1986 y una cuarta en Neptuno en 1989. Estos encuentros permitieron a la sonda estudiar estos planetas distantes y sus sistemas de anillos y lunas.
- **Salida del sistema solar:** Después de completar sus misiones primarias, ambas sondas continuaron su viaje hacia el espacio interestelar. Las maniobras de asistencia gravitacional en los planetas gigantes les proporcionaron suficiente velocidad para escapar de la influencia gravitatoria del Sol y continuar su viaje hacia las regiones más allá del sistema solar.

La maniobra de asistencia gravitacional es una técnica eficaz para ahorrar combustible y alcanzar velocidades impresionantes en misiones espaciales de largo alcance. Las *Voyager* han sido algunas de las sondas más exitosas en la historia de la exploración espacial y han proporcionado valiosos datos sobre los planetas exteriores y el espacio interestelar.

1 | 1 | 3 | 7 Aterrizadores y rovers en la superficie

Los aterrizadores son naves espaciales diseñadas para descender y aterrizar en la superficie de un cuerpo celeste. Su principal función es estudiar el entorno y realizar experimentos en el lugar de aterrizaje. Los aterrizadores se utilizan en misiones que requieren la recopilación de datos detallados sobre la composición de la superficie, la atmósfera, la geología y otros aspectos de un cuerpo celeste. Ejemplos de aterrizadores famosos incluyen el módulo lunar del *Apolo 11*, que llevó a *Neil Armstrong* y *Buzz Aldrin* a la Luna, y la sonda *InSight* de la **NASA**, que aterrizó en Marte para estudiar su actividad sísmica.

Los aterrizadores pueden utilizar una variedad de sistemas para asegurar un aterrizaje seguro. Esto puede incluir cohetes

retorreactores para frenar la velocidad de descenso, airbags o patas amortiguadoras para absorber el impacto, y paneles solares o baterías para proporcionar energía a los instrumentos científicos.

Los rovers son vehículos robóticos diseñados para moverse sobre la superficie de un cuerpo celeste después de aterrizar. Están equipados con instrumentos científicos y cámaras para realizar investigaciones y transmitir datos de regreso a la Tierra. Los rovers son ideales para misiones que requieren la exploración de grandes áreas y la recopilación de muestras de suelo o rocas. El rover más conocido es el *Mars Rover* de la [NASA](#), que incluye misiones como el rover *Sojourner*, el rover *Spirit* y *Opportunity*, y el rover *Curiosity*, que han explorado la superficie de Marte en busca de signos de vida pasada y condiciones habitables.

Los rovers están equipados con ruedas o patas diseñadas para moverse sobre la superficie del cuerpo celeste. Utilizan energía proporcionada por paneles solares o baterías recargables y están programados para llevar a cabo una variedad de tareas, como perforar rocas, analizar muestras de suelo, tomar imágenes y realizar mediciones ambientales.

Como se puede observar en la Figura 1.10, podemos implementar varias estructuras de [S/C](#) que se utilizan para *aterrizar en otros cuerpos celestes* como: sondas, robots, telescopios, sistemas de aterrizaje...



Figura 1.10: De izquierda a derecha: *Cassini-Huygens probe*, *Bridget* ([ESA](#)), *Herschel telescope* and *Moonlander*.

1 2

Nuevo espacio - espacio tradicional

"Nuevo espacio es una tendencia global que abarca una filosofía de inversión emergente y una serie de avances tecnológicos que conducen al desarrollo de una industria espacial privada impulsada en gran medida por motivaciones comerciales". Nuevo espacio tiene una inversión privada que se centra en obtener un rendimiento de esa inversión. Algunos puntos clave son:

- Nuevo espacio ≠ Cubesats. Los Cubesats son parte del llamado Nuevo Espacio, pero el Nuevo Espacio no se limita a misiones de bajo peso, además el Nuevo Espacio puede ser más ambicioso que el Espacio "tradicional".
- El Nuevo Espacio aprovecha todo el conocimiento previo obtenido de la era del "viejo espacio" → la colaboración entre ambos es de gran interés.
- Los actores del Espacio Antiguo todavía están presentes y no han sido reemplazados por las compañías del Nuevo Espacio, por lo que todavía son muy relevantes para la industria y economía espaciales.

1 2 1 **Espacio Antiguo**

El ámbito espacial en tiempos pasados estaba bajo el control de gobiernos y grandes corporaciones que mantenían contratos gubernamentales sustanciales, incluyendo la [NASA](#), la [ESA](#) y otras agencias espaciales, así como empresas como *Boeing* y *Airbus*. Se centraba principalmente en actividades como lanzamientos de transbordadores, la gestión de estaciones espaciales internacionales, programas de satélites gubernamentales y seguridad nacional, así como el desarrollo de satélites de comunicación y misiones de exploración. Los participantes en esta era eran de gran envergadura, operaban con estructuras cerradas, tendían a ser burocráticos y solían avanzar a un ritmo más lento en comparación con los actores del espacio contemporáneo.

1 2 2 **Nuevo Espacio**

La década de 2000 marcó el surgimiento de lo que llamamos la *Segunda Era Espacial* y, con ella, la llegada del *Nuevo Espacio*. Las empresas involucradas en el *Nuevo Espacio*, como *SpaceX*, *Virgin Galactic*, *Blue Origin*, algunas universidades y *OneWeb*, tenían como objetivo principal revolucionar la forma tradicional de operar en la industria espacial. Se enfocaron

en eliminar las barreras que dificultaban la participación en este sector, centrándose en proyectos que reducirían significativamente los costos, ampliarían el acceso al espacio para empresas e individuos, y crearían una economía espacial vibrante que hace apenas dos décadas parecía inimaginable.

El *Nuevo Espacio* abarca una amplia gama de áreas de interés, que incluyen la minería de asteroides, la implementación de satélites de Internet, la colonización de Marte, el desarrollo de cohetes reutilizables, la creación de satélites de alta calidad para imágenes privadas, la innovación en tecnología de CubeSats y NanoSatélites, la construcción de estaciones espaciales comerciales, la manufactura en el espacio, avances en condiciones de gravedad cero, y el floreciente sector del turismo espacial, entre otros.

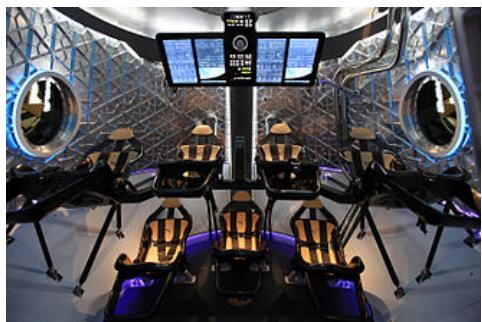


Figura 1.11: Interior de la *Dragon V2*, mostrando la configuración de asientos. Extraída de [18].

En contraste con la forma tradicional de operar en el espacio, que se basaba en la reutilización de sistemas previamente validados en misiones anteriores con pequeñas mejoras incrementales, el Nuevo Espacio busca introducir innovaciones más significativas en los sistemas. Esto puede incluir la creación de diseños completamente nuevos, lo que a su vez requiere una costosa campaña de calificación.

Es por esta razón que agencias espaciales como la **ESA** están promoviendo la adopción de procesos industriales más avanzados y uniformes en el campo de los sistemas embebidos de aviónica y **OB Computers** para la industria espacial. Esto se hace con un doble propósito: mejorar la eficiencia y aumentar la confiabilidad en esta nueva era espacial que estamos experimentando.

1 2 3 CubeSats

Los CubeSats, tal como los define la **NASA**, son una categoría de nanosatélites que siguen un estándar en cuanto a su tamaño y formato. Este estándar se basa en la unidad de medida conocida como "1U", que tiene dimensiones de $10 \times 10 \times 10$ cm, aunque es posible encontrar CubeSats de tamaños mayores, como 1.5U, 2U, 3U, 6U e incluso 12U o 24U. La idea original detrás de los CubeSats se originó en 1999 gracias a la colaboración entre la *Universidad Estatal Politécnica de California* en San Luis Obispo (Cal Poly) y la *Universidad de Stanford*. Su propósito inicial era proporcionar una plataforma para fines educativos y para la exploración del espacio.

Con el tiempo, el desarrollo de los CubeSats ha evolucionado para dar lugar a toda una industria en sí misma, con la colaboración de gobiernos, la industria y el ámbito académico, con el objetivo de mejorar constantemente sus capacidades. En la actualidad, los CubeSats representan una plataforma económica que se utiliza para llevar a cabo investigaciones científicas, realizar demostraciones de nuevas tecnologías y experimentar con conceptos avanzados de misiones espaciales, como la implementación de constelaciones de satélites y sistemas de enjambre, entre otros.

En cuanto a los tamaños de los CubeSats, generalmente se sigue un acuerdo aproximado que podría ser el siguiente:

- | | | |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Satélites grandes: ≥ 1000 kg. ■ Satélites pequeños/medianos: 500 a 1000 kg. ■ Minisatélites: 150 a 500 kg. | <ul style="list-style-type: none"> ■ Microsatélites: 40 a 150 kg. ■ Nanosatélites: 1 a 40 kg. ■ Picosatélites: 100 g a 1 kg. ■ Femtosatélites: 10 a 100 g. | <ul style="list-style-type: none"> ■ Attosatélites: 1 a 10 g. ■ Zeptosatélites: 0.1 a 1 g. |
|--|--|--|

Te darás cuenta (probablemente ya lo hayas hecho) de que en el negocio espacial hay miles de acrónimos. El tema de **OBDHS**, **OBDH** o **CDHS** no es una excepción... Por favor, pregunta siempre que se haya utilizado un acrónimo y su significado no esté claro. **ECSS** proporciona diccionarios de términos y acrónimos muy útiles que se pueden descargar de forma gratuita: <https://ecss.nl/glossary/glossary-definitions-abbreviated-terms/>.