

CAPÍTULO CUARTO

ÓRBITAS SATELITALES, ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y SATÉLITES

Los recursos orbitales y de espectro que constituyen los fundamentos de todas las comunicaciones espaciales están [siendo] cada vez más solicitados por nuevos servicios y sistemas. Es necesaria una comprensión detallada de los sistemas espaciales y de sus requisitos radioeléctricos, para lograr la compartición de estos recursos limitados y satisfacer al mismo tiempo las necesidades de hoy y de los próximos años.¹⁷²

Las redes y los sistemas satelitales se forman por 1) órbitas satelitales, 2) frecuencias del espectro radioeléctrico, 3) componentes en el espacio (satélites), y 4) componentes terrestres.

Los sistemas satelitales pueden prestar servicios en determinada cobertura geográfica conocida como *huella*; sin embargo, la cobertura de servicios está relacionada también con el tipo de antenas y los haces que éstas envíen.

Los elementos que forman los sistemas satelitales están interrelacionados. Para efectos didácticos se explican por separado esos elementos, advirtiendo que se busca dar información general y no técnica especializada, para la comprensión de los aspectos jurídicos y de política pública que se abordan en los próximos capítulos.

Primeramente, se presentan las características de las órbitas, las perturbaciones que pueden tener los satélites que se colocan en ellas, los tipos de órbitas GEO, GSO, LEO, MEO y HEO.

¹⁷² Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Manual de Comunicaciones para la Investigación Espacial*, Ginebra, UIT, 2014, p. iv.

En seguida, se expone lo relativo al espectro radioeléctrico, sus características y la dimensión internacional; posteriormente, se hace referencia a los satélites, sus componentes del espacio y los vehículos de lanzamiento. Para concluir este capítulo, se mencionan los componentes en Tierra, como el centro de control y operación y las estaciones terrenas.

I. ÓRBITAS SATELITALES

Órbita es la “trayectoria que recorre una estación espacial alrededor de la Tierra”,¹⁷³ es decir, el curso que sigue un satélite u otro objeto con una estación espacial (por ejemplo, la Estación Espacial Internacional) alrededor de la Tierra. La órbita está determinada por la altitud, la inclinación y la excentricidad.

- *Altitud.* La altitud se refiere a la altura sobre el nivel del mar en la que se coloca un satélite. Con base en la altitud se identifican la órbita geoestacionaria (GEO, por sus siglas en inglés *Geosynchronous Equatorial Orbit* a 35,786 km), las órbitas medias (MEO, por sus siglas en inglés *Medium Earth Orbit*, entre los 10,000 y los 20,000 km), y las órbitas bajas (LEO, por sus siglas en inglés de *Low Earth Orbit* entre los 160 y los 2,000 km).

Asimismo, la altitud en la cual se coloca un satélite repercute en la latencia de las comunicaciones y en la atenuación de señales.¹⁷⁴

¹⁷³ Artículo 3, fracción XXXIX, de la LFTR. El RR-UIT en su artículo 1, numeral 1.184, define órbita como la “Trayectoria que describe, con relación a un sistema de referencia especificado, el centro de gravedad de un *satélite* o de otro objeto espacial, por la acción principal de fuerzas naturales, fundamentalmente las de gravitación”, artículo 1, sección IV, apartado 1.184, del RR-UIT.

¹⁷⁴ Kodheli, Oltjon *et al.*, “Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Nueva York, núm. 1, vol. 23, 2021, disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9210567>, pp. 70-109, p. 80.

El periodo (tiempo de dar una vuelta) de la órbita está relacionado con la altitud, de tal suerte que a menor altitud, menor será el periodo de la órbita.¹⁷⁵ A menor distancia de la Tierra, mayor velocidad tendrá el satélite, y menor será el periodo de traslación.¹⁷⁶ La altitud de una órbita también incide en el área de cobertura (por ejemplo, a mayor altitud, mayor cobertura potencial).

- *Inclinación*. La inclinación está relacionada con la mayor o menor latitud a la que está la órbita. La línea ecuatorial está a 0° de latitud, dando lugar a la órbita ecuatorial, mientras que una órbita polar está a 90°; entre dichas latitudes, a las órbitas se les refiere como órbitas inclinadas.¹⁷⁷
- *Excentricidad*. La excentricidad es la que establecerá la forma de la órbita (por ejemplo, circular, elíptica). Si la excentricidad es 0, entonces será una órbita circular. Si la excentricidad es mayor a 0, será elíptica.

Un satélite en el apogeo (parte de la órbita más alejada de la Tierra) de la órbita cubrirá durante un mayor tiempo una región específica, mientras que en el perigeo (parte de la órbita más cercana a la Tierra) será menor el tiempo en que el satélite pase por la zona respectiva.

Así, los satélites colocados en una órbita altamente excentrica como los que están en una HEO (*Highly Elliptical Orbit* u órbita altamente elíptica) proveen largo tiempo de señales y comunicaciones cuando están en su apogeo, por lo cual son órbitas que se ocupan para colocar satélites que presten servicios en altas latitudes (por ejemplo, Rusia, Canadá).¹⁷⁸

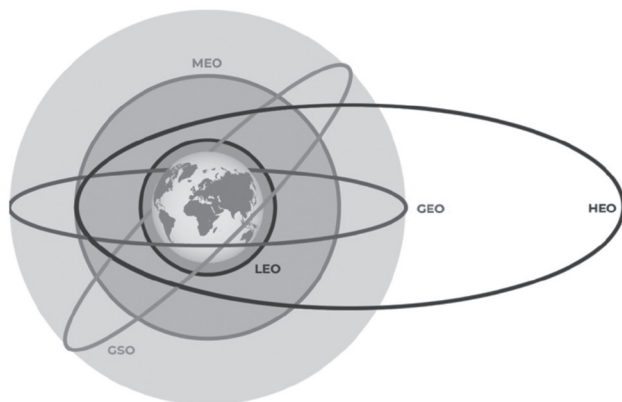
¹⁷⁵ Richharia, M. y Richharia, D., *op. cit.*, pp. 19, 40-45 y 69.

¹⁷⁶ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, p. 11. Comisión Federal de Telecomunicaciones, *Regulación satelital...*, *cit.*, p. 18.

¹⁷⁷ Richharia, M. y Richharia, D., *op. cit.*, pp. 19, 40-45 y 69.

¹⁷⁸ Kodheli, Oltjon *et al.*, *op. cit.*, p. 80.

DIAGRAMA DE ÓRBITAS



FUENTE: Chowdah, “Understanding GNSS Orbits”, Sparkfun, 2022.

Perturbaciones

Existen perturbaciones que afectan la posición de un satélite, y dicha afectación es diferente según el tipo de órbita de que se trate. Las perturbaciones pueden ser por:¹⁷⁹

- *Gravedad no uniforme*. La Tierra no es redonda, por lo que la gravedad tampoco es uniforme.¹⁸⁰ Mejía menciona que la Tierra está achatada en el Polo Norte y en el Polo Sur, además de que la gravedad puede ser diferente

¹⁷⁹ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, pp. 27 y 28; y Richharia, M y Richharia D., *op. cit.*, p. 27 y 28.

¹⁸⁰ Las leyes de Kepler en cuanto al movimiento planetario definen la forma de una órbita de un planeta y su periodo, mientras que las leyes de Newton explican su razón con base en la gravedad. Por lo que dichas leyes se ocupan también para los satélites, al referir que un satélite tendrá una trayectoria precisa (ley de Kepler). Richharia, M. y Richharia, D., *op. cit.*, p. 38.

según la densidad de la masa (por ejemplo, se ha descubierto mayor gravedad sobre la cordillera de los Andes; en un área del océano Atlántico entre Groenlandia y Europa).¹⁸¹

Con relación a la órbita GEO, Mejía refiere a los pozos de gravedad que existen en ciertas posiciones de esa órbita, lo que hace que atraigan los objetos (satélites en funcionamiento y basura espacial) hacia esos pozos de gravedad.¹⁸²

- *Gravedad del Sol y la Luna*. El Sol y la Luna también tienen efectos gravitacionales que principalmente afectan a los satélites en la órbita GEO, mientras que para aquellos en las órbitas LEO y MEO son insignificantes las repercusiones de la gravedad del Sol y de la Luna. Para corregir desviaciones de los satélites en la órbita GEO, se deben realizar ajustes con maniobras de norte-sur para mantener al satélite o estación espacial en su lugar.¹⁸³
- *Arrastre atmosférico*. El arrastre atmosférico hace que los satélites sean jalados hacia adentro de la atmósfera.¹⁸⁴ Los satélites LEO son los más afectados por el arrastre atmosférico.¹⁸⁵
- *Cinturones de radiación*. Los cinturones de Van Allen¹⁸⁶ son regiones donde quedan atrapadas partículas como con-

¹⁸¹ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, pp. 28 y 29.

¹⁸² Las posiciones son la 75.1°. Esta conocida también como L1, y la 105.3° Oeste, conocida como L2. Para más información sobre la libración y los puntos de libración, consultar Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, pp. 149 y 150.

¹⁸³ Richharia, M. y Richharia, D., *op. cit.*, p. 55.

¹⁸⁴ European Space Agency, *Gravity satellite to benefit future missions*, ESA, 2012, https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/GOCE/Gravity_satellite_to_benefit_future_missions.

¹⁸⁵ Richharia, M. y Richharia, D., *op. cit.*, p. 56.

¹⁸⁶ Estos cinturones fueron descubiertos cuando se lanzó al espacio el satélite Explorer-1 en 1958, y llevan el nombre del profesor investigador de la Universidad de Iowa, doctor James van Allen, quien realizaba la investigación espacial de rayos cósmicos desde dicho satélite. Loff, Sarah, *op. cit.*

secuencia del campo magnético de la Tierra;¹⁸⁷ estas partículas pueden generar perturbaciones sobre los satélites y estaciones espaciales.

- *Otras causas de perturbaciones.* Dentro de éstas se cuentan la presión de la radiación solar, el campo magnético de la Tierra, los meteoritos, las tormentas solares, etcétera.¹⁸⁸

Cada órbita tiene ventajas y desventajas, por lo que dependiendo de los servicios que prestará el satélite, se puede decidir qué tipo de órbita y qué tipo de satélite se usará.¹⁸⁹ Sin embargo, al analizar los factores que deben considerarse (por ejemplo, número de satélites, atenuación, estaciones terrenas), Pelton concluye que es posible que la órbita satelital ideal no esté disponible debido a la saturación orbital.¹⁹⁰

Enseguida se presentarán las órbitas relevantes para satélites: GEO y GSO, LEO, MEO y HEO. En el caso de las GEO, usted notará que se le dedica más espacio y tópicos, lo cual no debe sorprender, considerando que el enfoque principal para muchos países en cuanto a satélites de comunicaciones ha sido la órbita GEO. No obstante ello, debe señalarse que al momento de escribir esta obra las constelaciones espaciales LEO han cobrado auge, por lo que en un futuro cercano la literatura abordará con mayor profundidad todo lo relativo a sistemas satelitales colocados en la órbita LEO.

1. *Órbita geoestacionaria (GEO) y geosincrónica (GSO)*

La órbita GEO (especie) es una órbita geosincrónica (género); esta última se explicará posteriormente. La órbita geoestacionaria

¹⁸⁷ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, p. 58.

¹⁸⁸ *Ibidem*, p. 56.

¹⁸⁹ Pelton, Joseph, *Satellite Communications*, Nueva York, International Space University y Springer, 2012, p. 10.

¹⁹⁰ *Ibidem*, p. 11.

(GEO)¹⁹¹ es la órbita circular que está situada directamente sobre el plano ecuatorial de la Tierra, por lo que al colocar un satélite a 35,786 kilómetros sobre el plano ecuatorial viajará a la misma velocidad que la Tierra¹⁹² y parecerá que el satélite está fijo respecto a la Tierra en la posición que fue colocado.¹⁹³ Un satélite en la órbita GEO se mueve alrededor de la Tierra una vez cada 23 horas y 56 minutos, aproximadamente.¹⁹⁴

Los satélites en la órbita GEO se colocan en latitud de 0° (plano ecuatorial), y la longitud será la que determine la posición del satélite geoestacionario (por ejemplo, 116.0° Oeste), manteniéndose tanto en la latitud como en su longitud constantes.¹⁹⁵

Aun cuando se dice que los satélites en la órbita GEO están “fijos” respecto a la Tierra, sufren perturbaciones que afectan su ubicación, por lo que pueden moverse en dirección este-oeste en la longitud (meridianos) y norte-sur en la latitud (paralelos).¹⁹⁶ Así, los satélites en posiciones en la órbita GEO están en constante movimiento y pueden tener desplazamientos, por lo cual se establece una caja imaginaria para evitar colisiones entre los satélites.¹⁹⁷

¹⁹¹ La LFTR define como posiciones en la órbita geoestacionaria a las “Ubicaciones en una órbita circular que se encuentran en el plano ecuatorial, que permiten que un satélite mantenga un periodo de traslación igual al periodo de rotación de la Tierra”. Artículo 3, fracción XLV, de la LFTR.

¹⁹² Doyle se manifiesta en contra de considerar la órbita GEO como un recurso natural, pues argumenta que sin el combustible y el sistema de control un satélite quedaría a la deriva. Por lo cual asevera que la órbita GEO es un constructo humano y de la máquina. Doyle, Stephen, *op. cit.*, p. 639.

¹⁹³ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, pp. 15-17.

¹⁹⁴ Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 9.

¹⁹⁵ *Ibidem*, p. 9. Doyle dice que a nivel convencional se nombró satélite geoestacionario como una ficción útil, a pesar de que los satélites GEO no están estáticos. Doyle, Stephen, *op. cit.*, p. 639.

¹⁹⁶ Pelton menciona que las perturbaciones (por ejemplo, efectos gravedad del Sol y la Luna) afectan diez veces más el movimiento norte-sur (latitud) que el este-oeste (longitud). Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 9

¹⁹⁷ La caja imaginaria es de 75km x 75 km x 85km. Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, pp. 20 y 153.

Cada satélite dentro de su caja imaginaria tiene movimientos por las perturbaciones, por lo cual de vez en cuando se tienen que realizar maniobras para mantenerlo en su posición nominal. A estas maniobras se les conoce como *station keeping manoeuvres*. En éstas se encienden los motores de propulsión para lograr colocar al satélite nuevamente en su posición en la órbita GEO,¹⁹⁸ y los comandos se envían a través de su centro de telemetría, rastreo y control (TT&C por las siglas en inglés de *Telemetry, Tracking and Control*).¹⁹⁹

Se estima que un satélite geoestacionario con su *huella* cubre un tercio de la superficie de la Tierra,²⁰⁰ por lo que tres satélites colocados en la órbita GEO en diferentes posiciones (POG por posiciones en la órbita geoestacionaria) podrían prestar servicios en toda la Tierra (salvo los extremos de los polos norte y sur por la inclinación de la Tierra).²⁰¹ Adicionalmente, al estar “fijo” el satélite GEO respecto a la Tierra, es más fácil el rastreo por parte del TT&C, y las estaciones terrestres se colocan viendo al satélite sin necesidad de hacer ajustes para mantenerse conectadas.²⁰²

De las POG, hay unas más codiciadas porque están sobre áreas densamente pobladas,²⁰³ de ahí que exista congestión en segmentos sobre Europa y América, mientras que en otras regiones haya menos satélites operando.²⁰⁴

La dimensión espacial de la órbita GEO es de cerca 270,000 km de largo.²⁰⁵ Las limitaciones de la órbita GEO más que por su dimensión espacial son por un asunto del espectro radioeléctrico y de las interferencias que pueden suscitarse entre sistemas sateli-

¹⁹⁸ *Idem*.

¹⁹⁹ *Ibidem*, pp. 9 y 10.

²⁰⁰ Kodheli, Oltjon *et al.*, *op.cit.*, p. 80.

²⁰¹ European Space Agency, *Types of orbits*, ESA, 2020, disponible en: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits.

²⁰² Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 9 y 10.

²⁰³ Cochetti, Roger, *op. cit.*, p. 84.

²⁰⁴ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, p. 148.

²⁰⁵ *Ibidem*, pp. 141.

tales y terrestres. Con las nuevas tecnologías se pueden reutilizar frecuencias, aprovechar nuevas bandas de frecuencia y colocar satélites con menor espaciamento entre sí.²⁰⁶

Finalmente, debo comentar que como los satélites en la órbita GEO están a una altitud muy elevada (35,786 km), la potencia radiada (*flux density*) de los haces es menor que los satélites colocados en órbitas LEO y MEO, creándose una atenuación más grande.²⁰⁷

Geosíncronica (GSO): este tipo de órbitas siguen a la Tierra en su movimiento de rotación. Las órbitas geosíncronas mantienen su posición en la longitud (meridiano), pero cambian en la latitud (paralelo) viajando de norte a sur, por lo que la estación espacial regresará al mismo punto a la misma hora cada día.²⁰⁸

En el caso de la órbita GEO, que es un tipo de órbita geosíncronica (GSO), ésta mantiene su posición tanto en la longitud como en la latitud, lo que hace que parezca “fija” respecto a la Tierra.

La fluctuación de la latitud implica que los satélites en la órbita geosíncronica no GEO requieran más control, monitoreo y correcciones de su ubicación a que si estuvieran en la órbita GEO. No obstante ello, la colocación de satélites en este tipo de órbitas GSO “son alternativas económicas y prácticas, y mejoran el uso eficiente y racional de esta área del espacio exterior”.²⁰⁹

2. Órbita baja (LEO, Low Earth Orbit)

Las órbitas bajas o LEO (*Low Earth Orbit*) están siendo cada vez más utilizadas para diversos fines, dentro de los que desta-

²⁰⁶ *Ibidem*, pp. 141-144.

²⁰⁷ Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 7-9.

²⁰⁸ Doody, David, *Basics of Space*, NASA, disponible en: <https://solarsystem.nasa.gov/basics/chapter5-1/#:~:text=Types%20of%20Orbits-,Geosynchronous%20Orbits,to%20wander%20north%20and%20south>, capítulo *Planetary Orbits*; Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, p. 17.

²⁰⁹ “[Positions of geosynchronous satellites] are economical and practical alternatives, and improve the efficient and rational use of this area of outer space”, Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, p. 19 [traducción de Clara-Luz Alvarez].

can las comunicaciones satelitales y la investigación espacial.²¹⁰ Múltiples son las razones para que ahora las órbitas LEO sean el objeto de las conversaciones y debates a nivel internacional y nacional, así como que se estén llevando a cabo proyectos de constelaciones de miles de satélites para funcionar en las órbitas LEO (por ejemplo, Starlink de SpaceX, Kuiper de Amazon, GuoWang/StarNet).

De entre las razones para esos avances se encuentran la maduración de procesos de producción y lanzamiento, la reducción de costos de lanzamiento, la necesidad de constelaciones que provean banda ancha con baja latencia, y la incursión de emprendedores y multimillonarios al sector satelital.²¹¹

Las fuentes de información difieren en el parámetro exacto dentro del cual se puede hablar de órbita LEO. Esto no debe sorprender si se toma en consideración la rápida evolución que están teniendo los sistemas y servicios satelitales.

El límite inferior de la órbita LEO oscila de entre los 160 km a los 750 km, mientras que el superior va de los 1,000 km a 2,000 km.²¹²

²¹⁰ Kodheli, Oltjon *et al.*, *op. cit.*, p. 78. Rome refiere que al 1 de septiembre de 2021 de los 4,550 satélites en órbita, 3,790 eran LEO, 565 eran GEO, 129 MEO y 56 HEO. Rome, Primoz, “Every Satellite Orbiting Earth and Who Owns Them”, Dewesoft, 2022, disponible en: <https://dewesoft.com/daq/every-satellite-orbiting-earth-and-who-owns-them>.

²¹¹ *Ibidem*, pp. 70-109.

²¹² Las distancias de la Tierra del rango en las que están las órbitas LEO y MEO difiere según la fuente consultada. Para ESA, las LEO serían las que están entre los 160 y 1000 km, en tanto que las MEO serían las que están entre las LEO y la GEO. La UIT refiere las LEO en altitudes de entre 400 y 2,000 km y en MEO de entre 8,000 a 20,000 km por encima de la Tierra. Para Richharia y Richharia, las LEO están entre los 750-1500 km, tomando en consideración el arrastre atmosférico y el primer cinturón de Van Allen. Pelton sitúa a las LEO en el rango de 500-1,200 km, debajo de los cinturones de Van Allen. Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 6; Richharia, M. y Richharia, *op. cit.*, p. 58; y Unión Internacional de Telecomunicaciones, “Nuevos hitos para el despliegue de satélites no geoestacionarios”, *ITU News Magazine*, Ginebra, no. 6, 2019, pp. 26-27, disponible en: https://www.itu.int/en/ituneews/Documents/2019/2019-06/2019_ITUNews06-es.pdf.

Se hace referencia a la VLEO (*Very Low Earth Orbit*) cuando los satélites están entre 100 y 450 km de distancia de la superficie de la Tierra, por lo que al estar más cercanos a la Tierra, los satélites pueden ser “más simples, más pequeños y, por tanto, más baratos”.²¹³

Los satélites en la órbita LEO pueden dar la vuelta a la Tierra en noventa minutos.²¹⁴ Dado que los satélites colocados en la órbita LEO se mueven a alta velocidad y no están cubriendo la misma área geográfica todo el tiempo como los satélites en la órbita GEO. Para dar servicio en una misma área de manera constante se requieren múltiples satélites LEO.²¹⁵

La cercanía con la Tierra hace que las imágenes obtenidas desde los satélites en LEO mejoren, y la latencia (retardo en la comunicación) sea menor que cuando la comunicación es a través de un satélite en la órbita GEO.

Dentro de las órbitas LEO encontramos a la órbita polar (entre 200 y 1,000 km), cuya trayectoria va de Norte a Sur, pudiendo tener una desviación de hasta 30° del Polo Norte y del Polo Sur.²¹⁶

También está la órbita heliosíncrona (*Sun-synchronous orbit*, SSO), que es un tipo de órbita polar (altitud de entre 600-800 km), que tiene una posición “fija” respecto al Sol, lo que permite que todos los días pase a la misma hora por la misma área geográfica.²¹⁷

Finalmente, tanto la Estación Espacial Internacional como la estación espacial china Tiangong (“palacio celestial” en chino) están ubicadas en órbitas LEO. La Estación Espacial Internacional está a 400 km de altura, y viaja a 28,800 km por hora, dando la vuelta a la Tierra en 92 minutos, por lo que en

²¹³ Kodheli, Oltjon *et al.*, *op. cit.*, pp. 70-109, pp. 74 y 75.

²¹⁴ NASA, “What is an Orbit?”, NASA, 2010, disponible en: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-orbit-58.html>

²¹⁵ Kodheli, Oltjon *et al.*, *op. cit.*, p. 7.

²¹⁶ European Space Agency, “Types of orbits...”, *cit.*

²¹⁷ Este tipo de órbita sirve para la investigación científica a través de imágenes desde satélites para identificar cambios a lo largo del tiempo (por ejemplo, identificar patrones climáticos, monitorear incendios forestales). *Cfr. idem.*

un día gira dieciséis veces alrededor de nuestro planeta.²¹⁸ Por su parte, la estación espacial Tiangong²¹⁹ está en los 340 y 450 km de altura, y está siendo construida en el espacio a partir de módulos.²²⁰

3. *Órbita media* (Medium Earth Orbit, *MEO*)

Las MEO son órbitas que se ubican por encima de las LEO y por debajo de las GEO. La altura de las órbitas MEO es de entre 10,000 y 20,000 km, dan varias vueltas al día, se requieren más satélites para cobertura mundial y su latencia es menor que las órbitas GEO.²²¹

Las órbitas MEO se utilizan para la navegación, por lo cual en ellas están el Global Positioning System (GPS), el sistema Galileo de Europa²²² y el sistema ruso GLONASS.²²³

La órbita circular ecuatorial (Equatorial Circular Orbit o ECO) estaría sobre el Ecuador, pero en MEO con la capacidad de proveer servicios a los países que están en la línea ecuatorial con entre seis y ocho satélites.²²⁴

²¹⁸ Para ver dónde se encuentra la Estación Espacial Internacional, acceda a European Space Agency, *Where's the International Space Station*, European Space Agency, disponible en: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/International_Space_Station/Where_is_the_International_Space_Station.

²¹⁹ Para ver dónde se encuentra la Estación Espacial Tiangong, acceda a Astro Viewer, Current position of Tiangong, 2023, disponible en: <https://www.astroviewer.net/iss/en/position-css.php>.

²²⁰ Papadopoulos, Loukia, "Here's How the Chinese Tiangong Space Station Compares to the ISS", última actualización: 21 de septiembre de 2021, última consulta: 5 de junio de 2023, disponible en: <https://interestingengineering.com/science/heres-how-the-chinese-tiangong-space-station-compares-to-the-iss>.

²²¹ Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 8

²²² European Space Agency, *What is Galileo?*, European Space Agency, disponible en: https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What_is_Galileo.

²²³ Glonass, *About GLONASS*, disponible en: https://glonass-iac.ru/spa/about_glonass/.

²²⁴ Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 12.

4. *Órbita altamente elíptica* (Highly Elliptical Orbit, *HEO*)

Las HEO son órbitas elípticas que en un punto de su trayectoria están más cercanas a la Tierra (perigeo), y del otro extremo de su trayectoria están más lejos de la Tierra (apogeo). Los satélites en las órbitas HEO, cuando están en el apogeo pueden parecer en la misma ubicación por muchas horas (entre ocho y doce horas), y, por tanto prestar servicios a una misma zona geográfica, por lo cual las órbitas HEO sirven particularmente para países que están en latitudes altas (por ejemplo, Rusia, Canadá).²²⁵ Recuérdense los satélites Molniya de la Unión Soviética que se utilizaban en las órbitas HEO.²²⁶

II. ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Las frecuencias del espectro radioeléctrico son un recurso de la naturaleza que se utiliza como medio de transmisión.²²⁷ Las frecuencias hacen posible la transmisión y recepción de señales 1) entre los satélites y las estaciones terrenas, 2) entre los propios satélites, 3) para la comunicación con la Estación Espacial Internacional, y 4) con los vehículos de lanzamiento.

Sin las frecuencias del espectro radioeléctrico, un satélite en órbita de nada serviría; tampoco habría comunicación con la Estación Espacial Internacional ni se podría dar seguimiento a los vehículos de lanzamiento después de salir del lugar de lanzamiento.

²²⁵ *Ibidem*, p. 12.

²²⁶ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, pp. 14 y 15.

²²⁷ Para más información sobre espectro radioeléctrico y frecuencias como medio de transmisión, así como su vínculo con los derechos humanos y con un mercado en competencia, véase Álvarez, Clara Luz, *Telecomunicaciones y radiodifusión en México*, México, Posgrado de Derecho de la UNAM, 2018, http://derecho.posgrado.unam.mx/site_cpd/public/publis_cpd/telecomyradiodifMX.pdf, pp. 89-116.

- Enlace ascendente es el que ocupa frecuencias para transmitir de la estación en la Tierra tanto hacia el satélite como hacia la estación espacial o el vehículo espacial.
- Enlace descendente es el que ocupa frecuencias para transmitir señales tanto del satélite como de la estación espacial o el vehículo espacial hacia una o varias estaciones en Tierra (por ejemplo, estación terrestre, a bordo de una aeronave o una embarcación).
- Enlace de conexión es aquel entre satélites. Los enlaces intersatélites a través del servicio entre satélites pueden emplearse para mejorar el desempeño; además, se pueden establecer entre satélites de la misma órbita o de diferentes órbitas.²²⁸

Debe destacarse que las frecuencias para los enlaces ascendentes y descendentes que ocupa un sistema satelital deben ser frecuencias diferentes aunque estén en la misma banda de frecuencias.²²⁹ Por analogía, es como si la banda de frecuencia fuera una carretera de dos carriles, ocupando un carril en un sentido y el otro carril en el sentido opuesto, para evitar accidentes. En el caso de las comunicaciones por satélite, sería para evitar interferencias.

El uso del espectro radioeléctrico por diferentes sistemas satelitales y/o sistemas terrestres puede generar interferencia perjudicial y trascender las fronteras entre países.²³⁰ La interferencia perjudicial ocasiona que se degrade la calidad, se falsee o se pierda información en un sistema de radiocomunicaciones,²³¹ de tal manera que se comprometa, se interrumpa repetidamente o

²²⁸ Kodheli, Oltjon *et al.*, *op. cit.*, p. 78.

²²⁹ Para ilustrar con un ejemplo, es como si existiera una carretera que va de Este a Oeste con dos carriles, el carril A y el carril B. Los vehículos que fueran de Este a Oeste ocuparían el carril A, y los que fueran en sentido inverso ocuparían el carril B.

²³⁰ Cochetti, Roger, *op. cit.*, pp. 79 y 80.

²³¹ Artículo 1, sección VII, apartado 1.166 del RR-UIT.

se impida el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación²³² como lo son los servicios satelitales.²³³

Para evitar la interferencia perjudicial a nivel internacional, en el seno de la UIT se realizan procedimientos de coordinación, planificación y notificación de sistemas satelitales, según se explica en el cap. sexto de esta obra.

1. *Características*

Las frecuencias del espectro radioeléctrico se miden en Hertz (kHz = kilo Hertz, MHz = Mega Hertz, GHz = Giga Hertz), y se agrupan en bandas de frecuencias a las cuales se les atribuyen servicios. Esta atribución se realiza en el Cuadro Internacional de Frecuencias contenido en el RR-UIT a través de las decisiones que se adoptan en las conferencias mundiales de radiocomunicaciones (CMR) de la UIT.

Sin embargo, debe destacarse que antes de lograrse esa atribución existe un largo proceso de investigación y desarrollo tecnológico por parte de empresas privadas y de países. Para ello, se deben identificar las características de las bandas de frecuencias para poder desarrollar tecnología que las aproveche.²³⁴ En el caso del sector satelital, si se considera un sistema satelital en la órbita GEO, entonces se requieren equipos transmisores que envíen señales por medio de una frecuencia que logren viajar miles de kilómetros y atravesar varias capas de la atmósfera de la Tierra.²³⁵

²³² Artículo 1, sección VII, apartado 1.169 del RR-UIT y artículo 3, fracción XXXI, de la LFTR.

²³³ Con el incremento de satélites en el espacio existe más potencial de interferencias perjudiciales.

²³⁴ Las señales a través de ciertas frecuencias pueden atravesar paredes, mientras que otras no. Algunas pueden viajar largas distancias, otras no. Otras más necesitan tener línea de vista (por ejemplo, que la antena “vea” al satélite).

²³⁵ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, pp. 93-101. Para más información sobre la dimensión internacional del espectro radioeléctrico y características como la escasez, véase Álvarez, Clara Luz, *op. cit.*, pp. 93-101.

Para el caso de los sistemas satelitales, es relevante que las señales pueden afectarse por reflejo (*reflection*), refracción, difracción, absorción, polarización y dispersión (*scattering*), atenuación por oxígeno y vapor de agua, absorción por gases, atenuación por hidrómetros (por ejemplo, niebla, nubes, lluvia, hielo), afectaciones por la ionósfera, que ocasionan retardos en propagación, centelleo de luz (*scintillation* o brillo-destello).²³⁶ Algunas frecuencias son más útiles para lo satelital que otras, porque pueden tener distintas características, siendo algunas más económicas y fáciles de operar que otras.²³⁷

2. *Dimensión internacional*

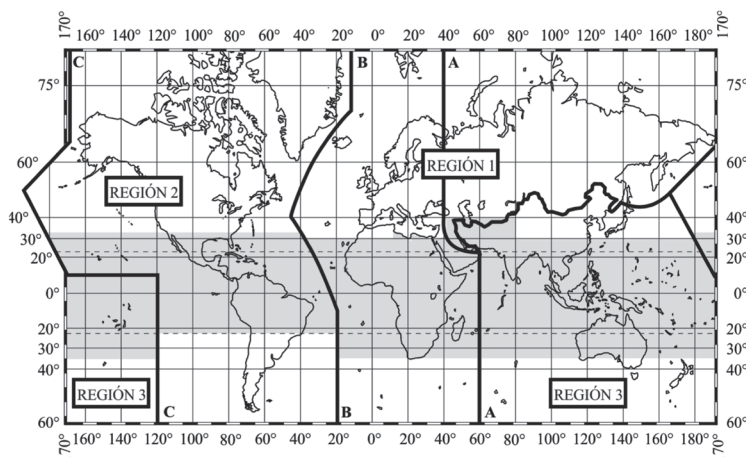
Las atribuciones de ciertas bandas de frecuencias a servicios puede ser a título primario o a título secundario. A título primario implica que tienen derecho a operar sin interferencia de otros servicios, mientras que a título secundario será para aquellos servicios que no puedan reclamar interferencia de un servicio a título primario; es decir, deberán resentir dicha interferencia sin posibilidad de reclamación.

Por otra parte, el mundo, para efectos del Cuadro Internacional de Frecuencias, se divide en tres regiones, siendo la Región 2 a la que pertenece el continente americano.²³⁸

²³⁶ Cochetti, Roger, *op. cit.*, pp. 79 y 80; y Richharia, M. y Richharia, D., *op. cit.*, pp. 101, 102 y 109.

²³⁷ *Ibidem*, p. 85.

²³⁸ La división específica viene descrita en los artículos 5.3 a 5.9 del RR-UIT.



FUENTE: Artículo 5, sección I, apartado 5.2, del RR-UIT.

Existen variaciones entre regiones con respecto a los tipos de servicios que pueden prestarse y respecto a si son a título primario o secundario,²³⁹ además de que cada país puede hacer una reserva a una atribución específica.²⁴⁰

Ejemplos del Cuadro Internacional de Frecuencias en relación con servicios por satélite son los siguientes:²⁴¹

²³⁹ El servicio que está a título primario se presenta con mayúsculas, y el que está a título secundario, con minúsculas.

²⁴⁰ En el caso de México, la delegación mexicana presenta reservas —si es que las tiene— a las decisiones que se estén adoptando en las CMR, y que se plasman en las actas finales de dichas conferencias. Estas actas finales suscritas por la delegación mexicana con las reservas que haya tenido a bien hacer, son presentadas al Senado para su ratificación. Una vez ratificadas, el IFT es el encargado de actualizar el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) y publicarlo en el *DOF*.

²⁴¹ Artículo 5, sección III, apartado 5.46 *et seq.* del RR-UIT.

3 600-4 800 MHz

Atribución a los servicios		
Región 1	Región 2	Región 3
3 600-4 200 Fijo Fijo POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Móvil	3 600-3 700 Fijo Fijo POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.434 Radiolocalización 5.433	3 600-3 700 Fijo Fijo POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización 5.435
	3 700-4 200 Fijo Fijo POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico	
4 200-4 400 MÓVIL AERONÁUTICO (R) 5.436 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.438 5.437 5.439 5.440		
4 400-4 500 Fijo MÓVIL 5.440A		
4 500-4 800 Fijo Fijo POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.441 MÓVIL 5.440A		

6 700-7 250 MHz

Atribución a los servicios		
Región 1	Región 2	Región 3
6 700-7 075 Fijo Fijo POR SATÉLITE (Tierra-espacio) (espacio-Tierra) 5.441 MÓVIL 5.458 5.458A 5.458B		

7 075-7 145 Fijo MÓVIL 5.458 5.459
7 145-7 190 Fijo MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (Tierra-espacio) 5.458 5.459
7 190-7 235 EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.460A 5.460B Fijo MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (Tierra-espacio) 5.460 5.458 5.459
7 235-7 250 EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.460A Fijo MÓVIL 5.458

Las bandas de frecuencias utilizadas para servicios satelitales se identifican con letras (C, K, Ka, Ku, L, X, Q, V).

Tecnología para mejor aprovechamiento. El desarrollo tecnológico permite un mejor aprovechamiento de las frecuencias del espectro radioeléctrico a través de distintas técnicas, procedimientos y tecnología. Enseguida, se citan sólo de manera ilustrativa y como ejemplos los siguientes:

- Los satélites pueden difundir las señales a través de múltiples haces, que son más pequeños y dirigidos a un área geográfica muy concreta. Esto hace posible que cada haz esté separado y aislado para que no interfieran con otros

- haces.²⁴² El uso de múltiples haces ayuda al reúso de frecuencias²⁴³ y a incrementar el ancho de banda.²⁴⁴
- La utilización del *software defined radio* (SDR) permite que se aprovechen de mejor manera tanto las frecuencias como la infraestructura, toda vez que hace posible que se asignen de manera dinámica frecuencias a utilizar, por ejemplo.²⁴⁵
 - Se usan técnicas de polarización para aprovechar más eficazmente las frecuencias, al poder enviar más señales en el mismo ancho de banda.²⁴⁶

Servicios satelitales y terrestres. La utilización de las frecuencias del espectro radioeléctrico se realiza tanto por sistemas satelitales como por sistemas terrestres; en algunos casos la prioridad (título primario) es para unos, y en otros para los otros. Lo cierto es que existe cierta tensión entre la atribución de frecuencias para ambos sistemas, así como para la asignación de títulos habilitantes.²⁴⁷

Por ejemplo, la banda C que ha sido empleada para servicios satelitales puede atribuirse a servicios terrestres y a servicios satelitales. ¿Debe prevalecer alguna? ¿Deben dividirse o coexistir? ¿Cuál es el equilibrio necesario para que la regulación sea neutra tecnológicamente en beneficio de la sociedad? ¿Es posible tal equilibrio?

III. SATÉLITES, COMPONENTES DEL ESPACIO Y VEHÍCULOS DE LANZAMIENTO

Los primeros satélites lanzados al espacio eran pequeños, con componentes electrónicos no tan sofisticados y con la inteligencia

²⁴² Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 38 y 47.

²⁴³ *Ibidem*, p. 47.

²⁴⁴ Kodheli, Oltjon *et al.*, *op. cit.*, pp. 70 y 71.

²⁴⁵ *Ibidem*, p. 100.

²⁴⁶ Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 42 y 43.

²⁴⁷ Kodheli, Oltjon *et al.*, *op. cit.*, p. 80.

y capacidad de cómputo residiendo en los equipos y sistemas en Tierra.²⁴⁸ Posteriormente, con el auge de los satélites para la órbita GEO, aquéllos aumentaron en tamaño y complejidad. Ahora, con los avances tecnológicos, la disminución de tamaño de componentes electrónicos y el incluir más inteligencia y capacidad a bordo del satélite, algunos sistemas satelitales están reduciendo el tamaño de sus satélites y ampliando el número de éstos en sus constelaciones.²⁴⁹

El diseño de un sistema satelital y su carga útil (*payload*) depende de múltiples factores, tales como:²⁵⁰

- En qué órbita(s) operará (por ejemplo, sólo un satélite en GEO, una constelación en LEO, una constelación híbrida con satélites en GEO y LEO).
- Qué bandas de frecuencias utilizará.
- Qué servicio(s) prestará.
- Cuál es la capacidad (*throughput capability*).
- Qué tipo de antenas y equipos terminales se emplearán.
- La vida útil que se espera tenga el satélite.
- Sistemas y sensores a bordo para cumplir con la misión.
- Consideraciones de las afectaciones posibles por la temperatura, radiación, campos magnéticos, entre otros.

El equilibrio es delgado, y no hay una solución única de cuál es el mejor diseño de un sistema satelital, por la gran cantidad de elementos que deben considerarse para que éste pueda cumplir con la misión que se plantea para dicho sistema.²⁵¹

²⁴⁸ Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 53.

²⁴⁹ Kodheli, Olton *et al.*, *op. cit.*, p. 98. Asimismo, para un comparativo de ventajas y desventajas de procesamiento a bordo de satélites de comunicación, véase Pelton, Joseph, "Satellite Communications...", *op. cit.*, pp. 42, 48 y 49.

²⁵⁰ Braun, Teresa, *Satellite Communications Payload and System*, Nueva Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2012, disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/updf-ebooks/detail.action?docID=875929>; *ibidem*, pp. 51 y 52; Richharia, M. y Richharia, D., *op. cit.*

²⁵¹ Pelton hace un contraste entre un sistema de comunicaciones móviles satelitales y uno terrestre, destacando el enorme desafío que tiene el satelital,

La vida útil de los satélites varía dependiendo de si son GEO, LEO o MEO. Los satélites GEO tienen una vida útil de entre doce y dieciocho años, y depende del combustible para los propulsores, la vida de las baterías y la degradación del desempeño de las celdas solares, principalmente.²⁵² Asimismo, puede haber fallos en el lanzamiento, o posteriormente en el sistema de estabilización o térmico.²⁵³

Los satélites MEO tienen una vida útil de entre doce y quince años, mientras que aquellos para LEO es de entre cinco y diez años.²⁵⁴ Asimismo, hay satélites para misiones de corta duración, cuya vida útil no excede de los tres años.

Existen diferentes procedimientos para el fin de la vida útil, y dependerán de la órbita en la que esté ubicado el satélite y su tamaño. Esto se abordará en el cap. séptimo.

1. *Tipos de satélite según el tamaño*

Los satélites pueden clasificarse según el tamaño en grandes, medianos y pequeños. Aunque no existe consenso en cuanto a la definición de satélites pequeños, sí se pueden destacar sus características y las misiones a las que van (por ejemplo, misiones de corta duración).

pues se despliega una antena enorme, un reflector muy grande en el espacio, y el satélite debe operar sin necesidad de reparaciones o ajustes *in situ*. *Idem*; Kodheli, Oltjon *et al.*, *op. cit.*, pp. 20, 70-109; Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 30, 37, 40-42 y 51-52; Richharia, M. y Richharia, D., *op. cit.*

²⁵² Cuando el satélite se mueve de su posición por cualquier perturbación que haya tenido, el combustible activa los propulsores para que pueda recuperar la posición correcta. De tal suerte que sin combustible, Pelton destaca que un satélite de comunicación en la órbita GEO se vuelve inútil. Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 31.

²⁵³ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, p. 29; y Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 58 y 59.

²⁵⁴ Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 59 y 60.

Tamaño		Peso en Tierra, incluyendo combustible
Grandes		Más de 1,000 kg
Medianos		500-1,000 kg
Pequeños	Mini	100-500 kg
	Micro	Menos de 100 kg
	Nano	Menos de 10 kg
	Pico	Menos de 1 kg
	Femto	Menos de .1kg

Es importante mencionar que existen las llamadas Plataformas a Gran Altitud (HAPS, por sus siglas del inglés de *High-Altitude Platform Systems*), las cuales se definen como aquella “estación situada en un objeto a una altitud de 20 a 50 km y en un punto nominal, fijo y especificado con respecto a la Tierra”.²⁵⁵

Las HAPS pueden complementar las redes satelitales y prestar servicios de comunicaciones a nivel regional; sin embargo, las HAPS enfrentan retos de distinto tipo (por ejemplo, limitada autonomía, afectación por velocidades del viento, disminución de la vida de las baterías por la temperatura).²⁵⁶

También están las plataformas de baja altitud, cuyo ejemplo por excelencia son los vehículos aéreos no tripulados, que no son materia de esta obra, por merecer una investigación específica que atienda los retos regulatorios, jurídicos y de política pública en torno a ellos.

²⁵⁵ Artículo 1, sección IV, apartado 1.66a., del RR-UIT.

²⁵⁶ Unión Internacional de Telecomunicaciones, *HAPS Sistemas de estaciones en plataformas a gran altitud*, UIT, última actualización: abril de 2022, última consulta: 14 de mayo de 2023, <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/High-altitude-platform-systems.aspx>. Kodheli, Oljton *et al.*, *op. cit.*, p. 75.

2. Componentes de los satélites

Los componentes de los satélites pueden variar dependiendo de la misión o finalidad que tiene cada satélite, por lo que un satélite de comunicaciones (por ejemplo, servicio móvil satelital) tendrá algunos componentes que pueden diferir de aquel satélite para investigación espacial.

Así que la siguiente descripción sólo busca enunciar componentes que pueden estar presentes principalmente en satélites de comunicación, ya que los satélites para observación de la Tierra e investigación espacial podrán contar con sensores activos y pasivos para cumplir con sus respectivas misiones. Asimismo, se recuerda que este libro pretende proveer una descripción general de elementos técnicos que faciliten una comprensión del marco normativo y de la política pública satelital, es decir, no puede tenerse como una obra técnica ni de ingeniería.

Plataforma. La plataforma del satélite (*bus*)²⁵⁷ es por analogía el cuerpo (estructura)²⁵⁸ del satélite donde se aloja la carga útil (*payload*), los subsistemas y las aplicaciones.

La estructura debe ser lo suficientemente ligera para, en primer lugar, ser lanzada [al espacio] mientras que también debe ser lo suficientemente fuerte y rígida para soportar la carga útil y resistir las cargas para el lanzamiento (*launch loads*) sin doblarse ni quebrarse... Una vez en órbita la estructura del satélite debe ser capaz de resistir factores ambientales.²⁵⁹

²⁵⁷ Cochetti, Roger, *op. cit.*, p. 113.

²⁵⁸ Para un recuento de los cambios en las estructuras de los satélites, véase Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 27-29.

²⁵⁹ “The structure has to be light enough to be launched in the first place while also being strong and stiff enough to support the payload and endure launch loads without bending or breaking... Once in orbit the satellite structure must then be able to resist environmental factors...”, European Space Agency, *Structures and Mechanisms*, ESA, disponible en: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Structures_and_Mechanisms [traducción de Clara-Luz Álvarez].

En la plataforma de un satélite de comunicación se alojan la carga útil, el subsistema de energía, el control de actitud y orbital, el control térmico, así como una parte del sistema de TT&C que se comunica con la parte terrestre del TT&C.

Carga útil (payload). La carga útil está formada por “esos elementos del vehículo espacial específicamente dedicados a producir datos de la misión y después enviar dichos datos de regreso a la Tierra”.²⁶⁰

Dentro de la carga útil para satélites de comunicación están:

- Transpondedores:²⁶¹ son equipos de retransmisión dentro del satélite que reciben las señales, filtran las señales que interfieren y las no deseadas, las amplifican, las cambian de frecuencia (recuérdese que el enlace ascendente es diferente del enlace descendente) y las reenvían a la Tierra para que sean recibidas por las estaciones en Tierra.²⁶²
- Las antenas asociadas a las transmisiones y recepciones de comunicaciones pueden ser de distintos tipos, y, por

²⁶⁰ “[payload is formed by] those elements of the spacecraft specifically dedicated to producing mission data and then relaying that data back to Earth”, European Space Agency, *About Payload Systems*, European Space Agency, https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/About_Payload_Systems [traducción de Clara-Luz Álvarez]. Para más información sobre carga útil, véase Braun, Teresa, *op. cit.*

²⁶¹ La palabra “transpondedor” viene de la fusión de las palabras en inglés *transmitter* (transmisor) y *responder* (respondedor). Merriam-Webster, *Transponder Definition & Meaning*, Merriam Webster Dictionary, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/transponder>, última consulta: 14 de mayo de 2023.

²⁶² Existen diferentes tipos de transpondedores, por lo que se busca proveer una explicación sobresimplificada para efectos de una comprensión básica de lo que son los transpondedores. Los transpondedores transparentes o *bent-pipe* tienen una larga data, mientras que los transpondedores regenerativos realizan tareas de procesamiento de señales que contribuyen a un mejoramiento de la señal. Braun, Teresa, *op. cit.*, pp. 3-9; Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 42 y 43; Richharia, M. y Richharia, D., *op. cit.*, p. 275; Unión Internacional de Telecomunicaciones – Radiocommunication Bureau, *Handbook on Satellite...*, *cit.*, p. 392.

tanto, proporcionar diferentes coberturas a través de los haces (*beam*) que proyectan a la Tierra (por ejemplo, haces globales, hemisféricos, de haz múltiple o *multi-beam*, de haz puntual o *spot beams*, de haz en forma de barra o *pencil beams*).²⁶³

Subsistema de energía. Éste está compuesto de (1) paneles solares que transforman la energía solar en eléctrica, y (2) baterías que se activan cuando no hay sol o cuando hay condiciones ambientales adversas.²⁶⁴ Este subsistema puede proporcionar potencia eléctrica a los motores, aunque Mejía destaca que la energía eléctrica puede ser insuficiente para mantener a un satélite en su posición.²⁶⁵

Control de actitud. El control de actitud está formado por sensores y propulsores para proveer estabilidad al satélite y orientación adecuada respecto de la Tierra. El control de actitud compensa las perturbaciones externas (por ejemplo, impacto de meteoritos, campos gravitacionales de la Tierra y la Luna, presión de la radiación solar), y su función es diferente de la del TT&C.

Control térmico. El control térmico está encargado de que la temperatura esté dentro del rango aceptable para que todos los subsistemas y equipos operen de manera adecuada y se mantengan por el tiempo de su vida útil sin ser afectados por cuestiones térmicas.²⁶⁶

Pelton recuerda que en el espacio las temperaturas son bajísimas, mientras que si el satélite carece de superficie reflejante (*reflective surfaces*), entonces puede calentarse excesivamente, además de que los componentes electrónicos dentro del satélite pueden generar altas temperaturas. Por lo que los satélites comúnmente

²⁶³ Cochetti, Roger, *op. cit.*, pp. 115-117.

²⁶⁴ Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 29 y 30.

²⁶⁵ Mejía-Kaiser, Martha, *op. cit.*, p. 30.

²⁶⁶ European Space Agency, *Thermal Control*, European Space Agency, https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Thermal_Control.

tienen tubos de calor (*heat pipes*) para extraer el calor y llevarlo a los bordes del satélite y al espacio.²⁶⁷

Telemetría, rastreo y control (TT&C). La TT&C tiene una parte de componentes a bordo del satélite y otra en Tierra en el centro de control y operación.

- La telemetría envía constantemente información a la Tierra sobre el estado de *salud* de los diversos subsistemas a bordo.

“Estos dispositivos de monitoreo miden las corrientes eléctricas dentro del satélite, la energía generada por los paneles solares, el nivel de descarga de las baterías satelitales, la temperatura dentro de la plataforma del satélite, o si ha fallado algún amplificador, filtro, dispositivo de repetición, conmutador o procesador del satélite”.²⁶⁸

A partir de la información que se recibe en Tierra de la telemetría, se puede monitorear alguna situación que requiera de la realización de acciones tanto para la reparación como para la actualización de configuración y otros.²⁶⁹

- El rastreo o seguimiento permite identificar la ubicación del satélite.

Para la orientación y posicionamiento del satélite se ocupan sensores del Sol, de la Tierra y de estrellas, así como señales de radiofrecuencia.²⁷⁰

Para determinar la ubicación del satélite se puede triangular; “esto involucra un cálculo basado en los sensores abordo [del satélite] que «perciben» dónde está el

²⁶⁷ Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 30.

²⁶⁸ “These monitoring devices measure electrical currents within the satellite, the power generated by solar arrays, the depth of discharge on the satellite batteries, the temperature within the spacecraft bus, or whether a satellite amplifier, filter, repeating device, switch, or processor has failed”, *ibidem*, p. 50 [traducción de Clara-Luz Álvarez].

²⁶⁹ Kodheli, Oltjon *et al.*, *op. cit.*, p. 77; Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 30 y 50.

²⁷⁰ Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 31 y 32.

satélite con respecto a la Tierra, el Sol o una estrella en particular”.²⁷¹

Es necesario un rastreo constante de los satélites para que sus antenas estén dirigidas a la Tierra y al área en particular hacia donde envían sus señales, lo cual es necesario para cualquier tipo de satélite.²⁷²

En el caso de sistemas satelitales LEO y MEO, se requiere de una red de TT&C más amplia que permita el rastreo de los satélites alrededor del mundo.²⁷³

- El control se lleva a cabo en una o varias estaciones en la Tierra, a las que se les denomina “centro de control y operación”. El control implica tanto poder enviar los comandos necesarios para reubicar al satélite en su posición como aquellos que se requieran para la corrección de fallas en los subsistemas a bordo del satélite.²⁷⁴

3. Vehículos de lanzamiento

Los vehículos de lanzamiento son de enorme relevancia, al ser indispensables para colocar cualquier satélite en el espacio.

La estructura de un vehículo de lanzamiento depende de su carga útil y la órbita que se busca. Como el combustible que se requiere para un vehículo de lanzamiento es grande, el combustible es almacenado en múltiples etapas. La carga útil (satélite o nave es-

²⁷¹ “This involves a calculation based on onboard sensors «perceiving» where the satellite is in relationship to Earth, the Sun or a particular star”, *ibidem*, p. 50 [traducción de Clara-Luz Álvarez].

²⁷² Pelton enfatiza la importancia de la correcta orientación de los satélites a sus áreas de servicio, en especial cuando se están utilizando haces tipo de haz puntual o *spot beam*, pues se enfocan a una cobertura geográfica más limitada, y cualquier cambio por ligero que sea, puede afectar el servicio que se presta. Para el caso de satélites en GEO, a través del TT&C se contrarresta el desplazamiento natural dentro de la caja imaginaria. *Ibidem*, p. 31.

²⁷³ *Ibidem*, p. 72.

²⁷⁴ *Ibidem*, p. 49.

pacial) se coloca en la parte más alta del vehículo de lanzamiento. Después del lanzamiento, si el combustible de cualquier etapa se agota, el tanque vacío de combustible se desprende del vehículo de lanzamiento y el combustible de la siguiente etapa se prende. Este proceso se repite hasta que el satélite o la nave espacial se despliega o se separa. Al utilizar el procedimiento de separar que se va dando de abajo para arriba, el peso general del vehículo de lanzamiento se reduce lo cual ayuda al satélite o la nave espacial a lograr más velocidad. Adicionalmente, el consumo general de combustible también se reduce.²⁷⁵

Debe mencionarse que la liberación en el espacio de las estructuras de cada una de las etapas de los vehículos de lanzamiento una vez que van agotando su combustible, es uno de los temas a considerar para la sostenibilidad del espacio (véase el cap. séptimo).

Ahora bien, el vehículo de lanzamiento coloca al satélite en su órbita, y con un “empujón” lo deja en su órbita, y permanece ahí sin mucho ajuste.²⁷⁶ Para lanzamientos a la órbita GEO, es mejor una ubicación lo más cerca de la línea ecuatorial, mientras que para órbitas polares un sitio de lanzamiento con una latitud más alta puede ser benéfico.²⁷⁷ Existen actualmente diversas opciones de vehículos de lanzamiento y organizaciones que lo realizan, para distintos tipos de satélites.²⁷⁸

²⁷⁵ “The structure of the launch vehicle depends on the payload & its intended orbit. As the fuel required for a launch vehicle is large, the fuel is stored in multiple stages. The payload (satellite or spacecraft) is kept at the top of the launch vehicle. Post-launch, if the fuel of any stage is exhausted, the empty fuel tank is detached from the launch vehicle body & the fuel in the next stage is ignited. This process is repeated till the satellite or the spacecraft is deployed or separated. By using the separation process which takes place from bottom to top, the overall weight of the launch vehicle reduces which helps the satellite or the spacecraft to gather more speed. Additionally, the overall fuel consumption is also reduced”. SATnow, *What is a Launch Vehicle?*, SaTNow, 2022, <https://www.satnow.com/community/what-is-a-launch-vehicle> [traducción de Clara-Luz Álvarez].

²⁷⁶ European Space Agency, “Types of orbits...”, *cit.*

²⁷⁷ Pelton, Joseph, *op. cit.*, pp. 79 y 80.

²⁷⁸ *Ibidem*, p. 77.

IV. COMPONENTES EN TIERRA

Los componentes básicos en tierra de un sistema satelital son el centro de control y operación, las estaciones terrenas, los equipos terminales de los usuarios, así como la infraestructura para enlazar las comunicaciones satelitales con los sistemas terrestres.

1. *Centro de control y operación*

El centro de control y operación se define como la “[i]nfraestructura en tierra que comprende el equipo de telemetría, rastreo y comando utilizados para controlar la operación de uno o más Satélites y/o Vehículos Espaciales, y las Estaciones Terrenas necesarias para dichos fines”.²⁷⁹

Así, el centro de control y operación es el cerebro que desde la Tierra identifica si el satélite requiere algún ajuste a su ubicación o alguna actualización de configuración, por ejemplo, para lo cual enviará los comandos necesarios para la corrección o actualización que precise.²⁸⁰

Las comunicaciones entre el centro de control y operación y el satélite viajan a través de frecuencias del espectro radioeléctrico, utilizando frecuencias diferentes para el TT&C que aquellas para las comunicaciones satelitales o las comunicaciones de las misiones del satélite.²⁸¹

2. *Estaciones terrenas*

El RR-UIT define a la estación terrena de la siguiente manera:²⁸²

²⁷⁹ Disposición 3, fracción IX, de las Disposiciones Regulatorias Satelitales.

²⁸⁰ Pelton destaca que para redundancia, se debe tener posibilidad de que al menos dos estaciones de control puedan dar servicios de TT&C. Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 50.

²⁸¹ Cochetti, Roger, *op. cit.*, p. 73; *ibidem*, p. 49.

²⁸² Artículo 1, sección IV, apartado 1.63, del RR-UIT.

*Estación terrena: Estación*²⁸³ situada en la superficie de la Tierra o en la parte principal de la atmósfera terrestre destinada a establecer comunicación

- con una o varias *estaciones espaciales*; o
- con una o varias *estaciones* de la misma naturaleza, mediante el empleo de uno o varios *satélites reflectores* u otros objetos situados en el espacio.

La LFTR, por su parte, define a la estación terrena como “la antena y el equipo asociado a ésta que se utiliza para transmitir o recibir señales de comunicación vía satélite”.²⁸⁴

Las estaciones terrenas pueden ser de distintos tipos, tamaños, capacidad y costos, siendo las bandas de frecuencias en las que operan las principales variables.

Las estaciones terrenas están compuestas de antenas (por ejemplo, omnidireccionales, multidireccionales, direccionales) y componentes electrónicos,²⁸⁵ pueden estar en un lugar fijo, en una aeronave o en una embarcación.

Gracias a los desarrollos tecnológicos, ha habido muchos avances en cuanto a estaciones terrenas (por ejemplo, tamaño, movilidad, facilidad de instalación y operación), habiéndose reducido sus costos e incrementado su capacidad.²⁸⁶

Las estaciones terrenas pueden ser transmisoras, receptoras o transreceptoras (transmiten y reciben señales), utilizando distintas frecuencias para los enlaces ascendentes y descendentes.

Las estaciones terrenas en movimiento (ETEM) a bordo de vehículos, aeronaves y embarcaciones están siendo vistas como

²⁸³ Estación es definida en el propio RR-UIT como “Uno o más transmisores o receptores, o una combinación de transmisores y receptores, incluyendo las instalaciones accesorias, necesarios para asegurar un *servicio de radiocomunicación*, o el *servicio de radioastronomía* en un lugar determinado”. artículo 1, sección IV, apartado 1.61, del RR-UIT.

²⁸⁴ Artículo 3, fracción XXII, de la LFTR.

²⁸⁵ Cochetti, Roger, *op. cit.*, pp. 120 y 121; Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 64.

²⁸⁶ Neri Vela, Rodolfo y Landeros, Salvador, *op. cit.*, p. 723; Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 73.

una manera de proveer comunicaciones móviles y de banda ancha por satélite.²⁸⁷

Las estaciones terrenas deben ser capaces de aislar el ruido que proviene de interferencias de diversos sitios. Pelton destaca que las señales que vienen del satélite a las estaciones terrenas a través del enlace descendente son las que reciben más *ruido* (interferencia) derivado del calor que queda en la atmósfera, mientras que cuando se envían señales al satélite (enlace ascendente) el ruido es mucho menor, y además, las estaciones terrenas tienen más potencia para enviar las señales,²⁸⁸ de ahí que los enlaces descendentes estén en frecuencias más bajas que las ascendentes, porque las frecuencias más bajas tienen menor atenuación.

²⁸⁷ En la CMR-19 se estableció que las ETEM pueden utilizar espectro del SFS del 17.7-19.7 GHz (espacio-Tierra) y 27.5-29.5 GHz (Tierra-espacio). Unión Internacional de Telecomunicaciones, Temas relativos a los satélites: Estaciones terrenas en movimiento (ETEM), UIT, última actualización 2021, <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/Earth-stations-in-motion-satellite-issues.aspx>

²⁸⁸ Pelton, Joseph, *op. cit.*, p. 64.