



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Análisis de la acumulación de satélites y sus riesgos

AUTOR/A: Ibáñez Cabezas, Pablo

Tutor/a: Ramón Fernández, Francisca

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

AUTOR/A: Ibáñez Cabezas, Pablo

Tutor/a: Ramón Fernández, Francisca

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Máster Ingeniería Aeronáutica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS DE LA ACUMULACIÓN DE SATÉLITES Y SUS RIESGOS

Autor: Pablo Ibáñez Cabezas

Tutora: Francisca Ramón Fernández

JUNIO 2023

Resumen

La cantidad de satélites que orbitan la Tierra está aumentando constantemente., esto se debe al auge de las actividades espaciales y al gran número de proyectos que requieren de la presencia de multitud de satélites para lograr su cometido. Esta situación puede llegar a ser peligrosa si la cifra de satélites llegara a descontrolarse, ya que estos pueden colisionar entre sí y provocar pérdidas millonarias. Debido a ello debe existir una rama del Derecho que sea capaz de legislar y establecer una serie de normativas para controlar esta situación, el Derecho Espacial.

A lo largo de este trabajo se ha llevado a cabo un análisis de la situación actual de la exploración y la observación espacial, centrándose en sus riesgos y tratando de aportar ideas para mitigar la posibilidad de futuras colisiones en el espacio. Para ello, se atenderá al análisis de distintos casos objeto de estudio en relación con la acumulación de satélites.

Para lograr este cometido, ha sido necesario apoyarse en el Derecho Espacial, área del Derecho que establece las normas y regulaciones de las actividades espaciales. Debido al gran avance de la tecnología y los proyectos espaciales, esta rama del Derecho aún no ha terminado de desarrollarse.

El objetivo final de este trabajo es dar a conocer y concienciar sobre situación actual del riesgo que conlleva la sobreacumulación de satélites en la órbita terrestre y la propuesta de creación de una nueva normativa internacional que abarque y cubra con mucha mayor claridad este tema.

Abstract

The number of satellites orbiting the Earth is constantly increasing due to the boom in space activities and the large number of projects that require the presence of a multitude of satellites to achieve their goals. This situation can become dangerous if the number of satellites gets out of control, as they can collide with each other and cause losses of millions of dollars. For this reason, there must be a branch of law that is capable of legislating and establishing a series of regulations to control this situation: Space Law.

Throughout this work, an analysis of the current situation of space exploration and observation has been carried out, focusing on its risks and trying to provide ideas to mitigate the possibility of future collisions in space. For this purpose, the analysis of different case studies related to the accumulation of satellites will be considered.

In order to achieve this task, it has been necessary to rely on Space Law, an area of Law that establishes the rules and regulations of space activities. Due to the great progress of technology and space projects, this branch of Law still has a lot to improve.

The final objective of this work is to make known and raise awareness of the current situation of the risk involved in the over-accumulation of satellites in Earth orbit and the proposal for the creation of a new international regulation that covers and covers this subject with much greater clarity.

Resum

La quantitat de satèl·lits que orbiten la Terra està augmentant constantment, això es deu a l'auge de les activitats espacials i al gran nombre de projectes que requereixen de la presència de multitud de satèl·lits per aconseguir la seua comesa. Aquesta situació pot arribar a ser perillosa si la xifra de satèl·lits arribara a descontrolar-se, ja que aquests poden col·lidir entre si i provocar pèrdues milionàries. A causa d'això ha d'existir una branca del Dret que siga capaç de legislar i establir una sèrie de normatives per a controlar aquesta situació, el Dret Espacial.

Al llarg d'aquest treball s'ha dut a terme una anàlisi de la situació actual de l'exploració i l'observació espacial, centrant-se en els seus regs i tractant d'aportar idees per a mitigar la possibilitat de futures col·lisions en l'espai. Per a això, s'atendrà l'anàlisi de diferents casos objecte d'estudi en relació amb l'acumulació de satèl·lits.

Per a aconseguir aquesta comesa, ha sigut necessari secundar-se en el Dret Espacial, àrea del Dret que estableix les normes i regulacions de les activitats espacials. A causa del gran avanç de la tecnologia i els projectes espacials, aquesta branca del dret encara té molt a avançar.

L'objectiu final d'aquest treball és donar a conèixer i conscienciar la situació actual del risc que comporta la *sobreacumulación de satèl·lits en l'òrbita terrestre i la proposta de creació d'una nova normativa internacional que abaste i cobrisca amb molta major claredat aquest tema.

ÍNDICE

NOMENCLATURA.....	11
INTRODUCCIÓN.....	13
OBJETIVOS	15
METODOLOGÍA.....	17
1. OBSERVACIÓN ESPACIAL: EVOLUCIÓN Y ESTADO DEL ARTE	19
1.1 Observación espacial en la época antigua.....	19
1.2 Observación espacial en la Edad Contemporánea	20
1.3 Carrera espacial	21
1.4 Estación Espacial Internacional	23
2. ÓRBITAS SATELITALES	25
2.1 La Órbita geoestacionaria.....	25
2.1.1 Historia de la órbita geoestacionaria.....	26
2.2 Órbitas LEO.....	28
2.3 Órbitas MEO.....	29
2.4 Órbitas HEO	30
2.5 El problema de la acumulación de satélites	30
3. COLISIÓN SATELITAL.....	33
3.1 Antecedentes de colisiones entre satélites	34
3.2 Costes asociados a una colisión satelital.....	36
3.3 Control de actitud	38
4. LEGISLACIÓN APLICABLE.....	41
4.1 Derecho Espacial.....	41
4.1.1 Origen del Derecho Espacial	41
4.2 Estado actual del Derecho Espacial	43
4.2.1 Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre	43
4.2.2 Convenio sobre Responsabilidad Internacional por Daños Causados por Objetos Espaciales.....	45
4.3 Normativa referente a colisión entre satélites	46
4.3.1 Responsabilidad	46
4.3.2 Satélites asegurados	48
4.3.3 Caso Cosmos 2251 vs Iridium 33	49
4.3.4 Protocolo en caso de posible colisión	50
5. PROPUESTA DE MEJORA.....	53
5.1 Normativa Internacional de Colisión Espacial	55

6.	EL FUTURO DE LA OBSERVACIÓN Y LA EXPLORACIÓN ESPACIAL	57
7.	CONCLUSIONES	59
8.	PRESUPUESTO.....	61
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	62
10.	LISTA DE FIGURAS	65
11.	LISTA DE TABLAS	66
	ANEXO I Países miembros del Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre	67
	ANEXO II Relación del Trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030	71

NOMENCLATURA

COPUOS: Comisión del Espacio entre Naciones Unidas

ESA: European Space Agency

GLONASS: Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema

GNC: Guiado. Navegación y Control

GPS: Global Positioning System

HEO: High Earth Orbit

LEO: Low Earth Orbit

MEO: Medium Earth Orbit

NASA: National Aeronautics and Space Administration

ONU: Organización de las Naciones Unidas

INTRODUCCIÓN

Desde que el ser humano tiene uso de razón ha sentido la necesidad de dar explicación a los fenómenos que suceden a su alrededor. A consecuencia de ello, siempre hemos fijado nuestros ojos en el cielo con el fin de revelar y entender los secretos que se esconden en ese gran espacio exterior.

El 17 de octubre de 1903 los hermanos Wright realizaron el primer vuelo con motor tripulado de la historia. Aquel trayecto de tan sólo 36 metros y 59 segundos de duración marcó un antes y un después en la historia de la aeronavegación. Desde entonces, multitud de inventos y avances se han precedido hasta llegar al momento actual, en el que el ser humano ha conseguido que la exploración y la observación espacial dejen de ser pura ficción.

A lo largo de este trabajo se llevará a cabo un análisis del estado actual de la observación espacial y las telecomunicaciones, centrándose en las órbitas satelitales y en la sobreacumulación de satélites que existe en ellas a día de hoy. Dicha situación puede llegar a provocar graves consecuencias como son las colisiones satelitales o la saturación de la banda de frecuencias utilizada. Para poder llevar a cabo dicho estudio, se deberá tener en cuenta en todo momento el ámbito legislativo que engloba a todas estas actividades, el cual, debido al gran auge de la exploración espacial en los últimos años, aún no está del todo desarrollado. Todos los objetos y zonas del espacio están enmarcadas bajo el mismo ámbito jurídico, el Derecho Espacial.

Mediante este trabajo se pretende realizar un análisis exhaustivo del marco que engloba el espacio y las misiones que se llevan a cabo en el mismo, centrándose en la observación espacial, y por ende, en los satélites. Para ello, se va a estudiar la situación actual de la legislación aplicable al espacio, cómo ha ido evolucionando en los últimos años, y qué se espera de ella en el futuro.

Para lograr entender y comentar la situación real de la acumulación satelital y sus diferentes riesgos se ha de realizar previamente un análisis de la evolución de la observación espacial, los primeros vuelos, la carrera espacial, y el estado actual de las distintas órbitas satelitales.

El presente trabajo resultará de especial interés en relación con los aspectos estudiados en la asignatura de "Derecho espacial" del Máster de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Politécnica de Valencia. Pudiendo ,pues, ayudar a futuros alumnos a conocer y entender ciertos términos y conceptos.

OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo será analizar la situación actual de la observación espacial y las telecomunicaciones, centrándose en la sobreacumulación de satélites en el espacio y la posibilidad de que colisionen entre sí.

La naturaleza del proyecto se centrará en comprender y dar a conocer la dificultad de legislar actividades tan complejas y modernas como es la observación espacial y el lanzamiento de satélites. El principal motivo que provoca esta situación es que se trata de un problema global que afecta a todos los estados y países del mundo, por lo que se requerirá de una legislación que englobe a todos los miembros.

A lo largo del trabajo se expondrán ejemplos de las situaciones comentadas previamente, incluyendo los argumentos empleados por ambas partes y la resolución que alcanzaron. El objetivo final del proyecto será aportar una nueva propuesta de cómo se debería actuar en estos casos incluyendo posibles modificaciones en el marco legal, analizando si la legislación actual es suficiente, o si por lo contrario, se requiere de un cambio inminente.

Por todo ello, se han establecido los siguientes objetivos a cumplir en el presente trabajo:

- Conocer la evolución de la observación espacial y el camino seguido para llegar a la situación actual.
- Entender los conceptos principales relacionados con el Derecho Espacial.
- Analizar la situación actual de las órbitas satelitales y los posibles problemas que se presenten en ellas.
- Analizar los distintos tratados que rigen las actividades y misiones espaciales y entender las controversias que se originan entre ellos.
- Estudiar los procedimientos a seguir actualmente en caso de una posible colisión entre satélites.

- Realizar una propuesta a nivel teórico para solucionar los problemas expuestos.

METODOLOGÍA

A la hora de realizar este trabajo se han seguido distintas etapas bien diferenciadas.

En primer lugar se ha llevado a cabo un estudio sobre la evolución de la observación espacial y del lanzamiento de satélites, con el fin de situarse en contexto y poder abarcar el problema a analizar.

A continuación, se presentan las órbitas satelitales más relevantes y su situación hoy en día, explicando el gran número de satélites que se encuentran en ellas, problema en el que se centra el trabajo y alrededor del cual girarán el resto de puntos tratados. Se comentarán los antecedentes históricos de colisiones satelitales y lo que estos conllevaron. A raíz de ello, se analizan los diferentes tratados y normativas que incluyen información jurídica relacionada con la exploración espacial y el lanzamiento de satélites.

En un tercer apartado, se presentará la situación legal actual referente a la colisión de satélites y los procedimientos a seguir en caso de que se prevea la posibilidad de un impacto entre dos satélites, analizándose para ello situaciones reales.

Para concluir el trabajo y alcanzar los objetivos propuestos en el apartado anterior, se llevará a cabo una propuesta principalmente a nivel legal y teórica para cambiar la normativa actual y lograr erradicar los problemas que se presentarán a lo largo de todo el trabajo.

1. OBSERVACIÓN ESPACIAL: EVOLUCIÓN Y ESTADO DEL ARTE

1.1 Observación espacial en la época antigua

Desde el principio de los tiempos el hombre se ha interesado en la observación de la Luna, el Sol y las estrellas. Las primeras constancias que tenemos de ello provienen de las primeras civilizaciones y grandes imperios que habitaron la Tierra. Los egipcios crearon un calendario basado en los astros con el fin de celebrar sus festejos y controlar la crecida del Nilo, convirtiendo a la bóveda celeste en un elemento crucial del paisaje en la cultura faraónica. (Online Star Register, 2020)

Por otro lado, los sumerios, gracias a todas las observaciones que realizaron del firmamento, fueron capaces de calcular la posición y el movimiento de los astros. Otorgaron nombre a los planetas y a las constelaciones del zodiaco y lograron dar explicación a las estaciones climáticas, llegando a ver y predecir distintos eclipses. Además, los sumerios dividieron el día en 24 horas, cada hora en 60 minutos y los minutos en 60 segundos, creando así un sistema de medición temporal que ha llegado hasta nuestros días.

Por todos es sabido que los griegos llevaron a cabo muchos descubrimientos en el mundo de la observación espacial. Eratóstenes fue capaz de medir el tamaño de la Tierra con una precisión altísima. Aristarco de Samos dio la primera propuesta de la historia para poder medir las distancias del Sol y la Luna con la Tierra. Aristóteles, al igual que había hecho Pitágoras previamente, afirmó que la Tierra era esférica, y logró entender con precisión los equinoccios, lo que permitió que predecir los eclipses fuese mucho más fácil.

En último lugar, pero no por ello menos importante, se encuentra Hiparco, quien fue capaz de determinar el periodo de rotación de los planetas y realizó un catálogo que esquematiza la posición de más de mil estrellas.

Por su lado, los mayas, prestaron un especial interés en el Sol. A través de operaciones matemáticas descifraron la trayectoria solar enmarcada por las constelaciones zodiacales. También conocían los periodos heliocéntricos y se sospecha que fueron capaces de predecir eclipses. (Asociación de Amigos de la Astronomía)

La llegada de la Era Moderna vino también acompañada de importantes creaciones y descubrimientos. Las observaciones de Nicolás Copérnico le permitieron promulgar un modelo heliocéntrico, lo cual fue un duro golpe para el antropocentrismo de la época y es uno de los mayores hitos en la historia de la observación espacial. Copérnico propuso, pues, que todos los planetas giraban en órbitas redondas alrededor del Sol, y varias décadas después, Johannes Kepler determinó que esas órbitas no eran circulares, sino que eran elípticas. Con ello Kepler propuso sus tres famosas leyes respecto a la rotación de los planetas.

Años más tarde, en 1609, Galileo presenta en Venecia su nuevo invento, un tubo con dos lentes que revolucionó la manera de ver del mundo, el telescopio. (Posada-Swafford, 2009)

1.2 Observación espacial en la Edad Contemporánea

Durante la Segunda Guerra Mundial se produjo el mayor impulso en la industria aeronáutica. Ambos bandos querían tomar la delantera en el conflicto y no tardaron en percatarse de que el control aéreo permitiría dar un gran paso frente a sus rivales. Es por ello que, en esa época, se invirtieron gran cantidad de recursos en el desarrollo de mejoras en el campo de la aviación y se produjeron numerosos avances en el diseño de las aeronaves.

Cinco años después del comienzo del conflicto, los alemanes desarrollaron el cohete V2 [Figura 1], el cual fue lanzado contra Londres en septiembre de 1944. Dicho cohete fue el primer misil balístico de largo alcance creado en el mundo y al mismo tiempo, el primer objeto construido por el hombre que realizó un vuelo suborbital. Se entiende por vuelo suborbital a aquel que supera los 100 km de altitud, distancia que delimita el espacio aéreo y el espacio ultraterrestre, conceptos que se desarrollarán más adelante. (Hollingham, 2015)



Figura 1: Cohete V2.

Fuente: https://aquimediodecomunicacion.com/wp-content/uploads/2021/09/v2_rocket_11-1024x799-1.jpg (consultado el 10/07/2022)

Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos y la Unión Soviética dejaron salir a la luz sus claras diferencias, lo que tras una serie de hechos terminó del todo con las relaciones entre ambos países y originó un ambiente de desconfianza. Pese a ello, más allá del temor por el comienzo de una tercera guerra mundial, había algo que despertaba el interés de ambas naciones, la exploración del espacio ultraterrestre, comenzando lo que se conoce como la carrera espacial.

1.3 Carrera espacial

El 4 de octubre de 1957 los soviéticos toman la delantera poniendo en órbita el primer satélite artificial de la historia, el Sputnik I. Consistía en una esfera metálica de 58 centímetros de diámetro de la cual sobresalían únicamente las antenas. Orbitó la Tierra durante tres meses y fue capaz de completar 1400 revoluciones sobre la misma. Pese a que la tecnología de la época no estaba lo suficientemente avanzada y el Sputnik I no aportaba mucha utilidad, la importancia de este hecho no puede subestimarse, ya que a partir de ese momento multitud de satélites le sucederían y se irían situando alrededor de nosotros en el espacio.

En noviembre de ese mismo año, la Unión Soviética lanza al espacio el Sputnik II, pero esta vez el objetivo de la misión era enviar un ser vivo al espacio, por lo que el satélite estaba tripulado por una perra llamada Laika, anotando así la Unión Soviética un segundo hito muy importante. (Rodríguez, 2022)

En enero de 1958 Estados Unidos pone en órbita su primer satélite, el Explorer 1, esta vez se trata de un satélite mucho más completo que contenía combustible y diversa instrumentación. Pese a que solo estuvo operativo durante un mes, aguantó en órbita durante más de 12 años.

Tras varios años de avances y lanzamientos de multitud de satélites por parte de ambos bandos, en abril de 1961 la Unión Soviética lanza el Vostok 1, nave que sorprendería mucho más al mundo ya que a bordo de ella se encontraba el cosmonauta ruso Yuri Gagarin. La misión orbitó durante 89 minutos y finalizó una hora y 48 minutos después de su lanzamiento, cuando la nave entró nuevamente en la atmósfera.

El 21 de julio de 1969 se produjeron los hechos que permitirían a Estados Unidos tomar la delantera en la carrera espacial. Aquel día todo el planeta tenía los ojos en sus televisores, donde podían ver a dos astronautas caminando sobre la superficie de la Luna [Figura 2]. Fue así como Neil Armstrong, Buzz Aldrin y Michael Collins, a bordo del Apolo 11, se posaron sobre la Luna después de orbitar sobre ella en una misión en la que la tripulación tenía por primera vez el control absoluto sobre los mandos de la nave. (Rodríguez, 2022)

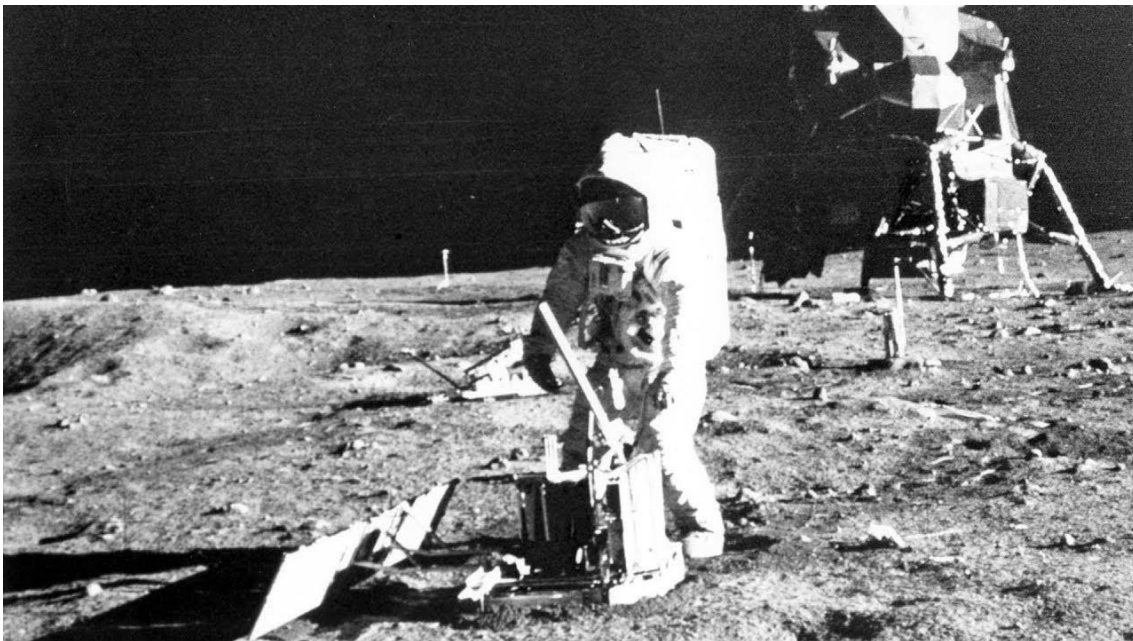


Figura 2: Misión Apolo 11.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=axWKyBJMm0w>
(consultado el 08/07/2022/)

1.4 Estación Espacial Internacional

La Estación Espacial Internacional o ISS [**Figura 3**] es el proyecto espacial más complejo y ambicioso, tanto por su tamaño como por los experimentos científicos que se planea realizar en ella. Actualmente trabajan en el proyecto 16 estados entre los que se incluyen las mayores potencias mundiales. La primera tripulación de la ISS se instaló en el año 2000 y desde ese momento ha estado habitada de forma continua.

Es el satélite artificial más grande creado por el hombre y orbita la Tierra en una órbita cercana con una altitud media de 400 km y un periodo de unos 93 minutos. Desde el punto de vista de la observación y la experimentación espacial, la ISS es la base de la mayoría de proyectos que se realizan a nivel mundial, aportando continuamente datos y resultados que permiten el continuo avance e innovación de la industria espacial. (GeoEnciclopedia)



Figura 3: Estación Espacial Internacional (ISS)

Fuente: https://www.nationalgeographic.com.es/medio/2022/03/14/tacion-espacial-internacional-fotografiada-desde-una-nave-soyuz-tras-su-desacoplamiento_4e2579a5_1280x853.jpg (consultado el 08/07/2022)

2. ÓRBITAS SATELITALES

Los satélites pueden ser ubicados en multitud de órbitas diferentes, su localización suele estar determinada por la función que éste vaya a llevar a cabo. De esta forma, la mayoría de satélites meteorológicos se encuentra en una órbita polar¹, ya que de esta forma cubren una mayor superficie en un tiempo menor. Por otro lado, los satélites de comunicaciones normalmente se sitúan en órbitas ecuatoriales, permitiéndoles así cubrir las zonas más pobladas del planeta. La mayoría de satélites de comunicaciones se lanzan a una distancia aproximada de 35.790 km, a esta altitud, el movimiento del satélite se sincroniza con el de la Tierra, permitiéndole permanecer “fijo” sobre una única localización. (Astronoo, 2014)

A lo largo de este punto se llevará a cabo una explicación de los diferentes tipos de órbitas en las que los satélites suelen ser lanzados y las características de cada una de ellas.

2.1 La Órbita geoestacionaria

Tal y como se ha comentado, la órbita geoestacionaria [Figura 4] se encuentra en el plano ecuatorial de la Tierra a una altitud de 35.796 km. Su excentricidad orbital es cero, lo que implica que se trata de una órbita totalmente circular, manteniendo así su altitud constante en todo momento.

Se trata de un caso particular de órbita geosíncrona² que permite al satélite quedarse “inmóvil” sobre la vertical del ecuador, encontrándose siempre en una posición fija respecto a cualquier punto de la superficie de la Tierra. Evidentemente el satélite se encuentra constantemente en movimiento, pero la curiosidad y gran virtud de esta órbita es que lo hace en el mismo sentido y a la misma velocidad que la Tierra, es decir, de oeste a este siguiendo el sistema de referencia celeste³, y con un periodo orbital

¹ **Órbita Polar:** Órbita situada sobre el eje de rotación de un cuerpo, es decir, con una inclinación cercana a 90°. La principal ventaja que presenta es que mientras el cuerpo gira, el satélite es capaz de pasar por cualquier zona de la superficie del mismo.

² **Órbita geosíncrona:** Órbita cuyo periodo de rotación coincide con el de la Tierra. Puede tener cualquier inclinación, cuando su inclinación es cero se dice que también es geocéntrica.

³ **Sistema de referencia celeste (ICRS):** Es el sistema de referencia celestial estándar adoptado por la Unión Astronómica Internacional. Su origen se encuentra en el baricentro del Sistema Solar y sus ejes pretenden estar “fijados” con respecto al espacio. Las coordenadas ICRS son aproximadamente iguales a las coordenadas ecuatoriales.

exactamente igual al periodo de rotación terrestre, 23 horas, 56 minutos y 4,084 segundos. A este periodo también se le conoce como día sidéreo o sideral⁴.

La órbita geoestacionaria se utiliza principalmente por dos tipos de satélites, bien aquellos cuya misión es estar constantemente cubriendo una región determinada, o por otro lado, aquel satélite que deba ser apuntado en todo momento por antenas fijas en el suelo. La mayoría de satélites que se pueden encontrar en esta órbita son satélites de telecomunicaciones, teledifusión, de observación y algunos satélites meteorológicos. (Astronoo, 2014)



Figura 4: Comparativa de órbita geoestacionaria y geosíncrona.

Fuente: <https://axessnet.com/que-son-y-para-que-sirven-los-satelites-geoestacionarios/> (consultado el 08/01/2023)

2.1.1 Historia de la órbita geoestacionaria

La primera vez que se publicó la idea de un satélite geosíncrono para comunicaciones fue en 1928, por parte del ingeniero esloveno Herman Potocnik. Dicha idea se popularizó años más tarde gracias al escritor británico de ciencia ficción Arthur Charles Clarke, quien, en 1945, por medio de su artículo “Extra-terrestrial relays” dio a conocer la utilidad de la órbita geoestacionaria en el mundo de las comunicaciones:

<< Se ha observado que una órbita con una radio⁵ de 42.000 km tiene un periodo exacto de 24 horas. Un objeto situado en esa órbita, si su plano coincide con el del ecuador de

⁴ **Día sidéreo:** Lapso de tiempo transcurrido en la consecución de dos culminaciones consecutivas de una estrella lejana en el meridiano local. Es decir, lo que tarda un cuerpo en dar una vuelta exacta sobre sí mismo.

⁵ **Radio:** Con anterioridad se ha referido a la altitud de la órbita geoestacionaria, siendo esta de aproximadamente 35.796km. Cuando hablamos de radio de una órbita, la medida se toma desde el centro del cuerpo, por lo que se ha de incluir el radio terrestre, de unos 6374 km. En cambio, la altitud, se toma desde el nivel promedio del mar.

la Tierra, girará con ella y se considerará estacionario sobre el punto del planeta en que se encuentra y supongamos que dicha estación está situada en esa órbita, se le podría equipar con receptores y transmisores pudiendo actuar como repetidor de transmisiones entre dos puntos del hemisferio que yace debajo de ella, usando cualquier frecuencia a través de la ionosfera >>. (Ramón Fernández F. 2017)

Es por ello que en determinadas ocasiones se conoce a la órbita como “órbita de Clarke”, al igual que se denomina “cinturón de Clarke” a la zona del espacio sobre el ecuador que se encuentra a una altitud de unos 35786 km. (Hmong, 2020)

Años más tarde llegó el primer satélite geoestacionario de la historia, el Syncom 3 [Figura 5]. Este satélite fue lanzado desde Cabo Cañaveral en Campo Kennedy en agosto de 1964 y tenía como misión realizar experimentos de comunicaciones y fue capaz de cubrir en vivo los juegos olímpicos de Tokio para la televisión estadounidense. Aunque originalmente, en 1961, se trataba de un satélite exclusivo y privado de la NASA, se convirtió en el primer satélite de comunicaciones del mundo geoestacionario. (SocialFuturo, 2021)

Desde aquel momento el ser humano ha seguido lanzando satélites con distintos fines y objetivos hasta alcanzar la cifra, a día de hoy, de unos 700 satélites en la órbita geoestacionaria, número que aumenta constantemente.

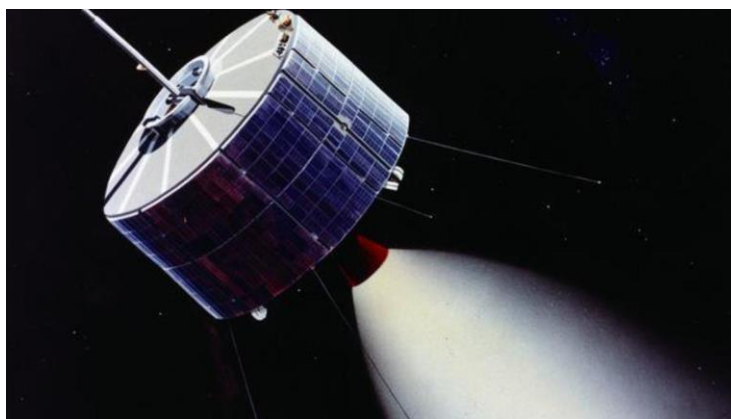


Figura 5: Syncom 3.

Fuente:<https://m.facebook.com/BeyondtheEarth.Foundation/photos/syncom-3-was-the-first-official-satellite-placed-within-geostationary-orbit-and-/455512014968666/>
(consultado el 08/07/2022)

Actualmente hay una cantidad aproximada de 700 satélites orbitando alrededor de la Tierra en la órbita geoestacionaria. Hay que entender que esta cifra varía constantemente, ya que aunque se lanzan satélites con mucha frecuencia, también hay

otros que son retirados y llevados a órbitas cementerio⁶ cuando dejan de estar operativos o han terminado su misión. Es por ello que esta cantidad fluctúa en todo momento, tanto hacia arriba como hacia abajo, aunque en los últimos años lo viene haciendo con tendencia ascendente, aumentando cada vez más el número total de satélites, lo cual puede acabar provocando un problema que se abordará en puntos sucesivos.

2.2 Órbitas LEO

Las órbitas LEO, de su acrónimo en inglés “Low Earth Orbit”, son las más utilizadas hoy en día en el sector de las telecomunicaciones. Se denominan así debido a su altitud, ya que son aquellas que se encuentran entre la atmósfera y el cinturón de Van Allen⁷, típicamente entre 120 km y 2000 km. La principal característica de estas órbitas es que debido a su baja altitud y su gran velocidad, permiten a los satélites hacer muchas pasadas alrededor de la Tierra a lo largo del día.

Un satélite en órbita LEO tiene un periodo orbital aproximado de 90 minutos (dependiendo de su altitud exacta variará), lo que le hace dar una cantidad de unas 16 vueltas a la Tierra por día. Esta característica sumada a que a bajas altitudes la resolución de las imágenes es mejor hace que varios satélites de observación también sean situados sobre estas órbitas.

El Sputnik 1, aparte de ser el primer satélite artificial de la historia, también fue el primer satélite en ser lanzado a una órbita baja. Sin duda alguna la mayor cantidad de satélites hoy en día se encuentra en la zona LEO, desde la Estación Espacial Internacional hasta las constelaciones de Starlink o OneWeb. A finales de 2022 se contabilizaban más de 3300 satélites únicamente en la zona LEO, cifra la cual sigue creciendo diariamente debido a los proyectos de grandes constelaciones satelitales que están en auge hoy en día. SpaceX ha lanzado ya cerca de 2750 satélites, lo cual puede parecer mucho, pero su objetivo final es poner en órbita un total de 12000 satélites para completar su constelación. Junto a ellos, están otras grandes empresas como OneWeb o incluso Amazon, quien está desarrollando su proyecto Kuiper que pretende lanzar hasta 3200 satélites más.

⁶ **Órbita cementerio:** Zona orbital ubicada por encima de la geoestacionaria donde se colocan satélites artificiales al final de su vida operacional para disminuir la posibilidad de colisiones con otros satélites.

⁷ **Cinturón de Van Allen:** Zona de la magnetosfera terrestre en la que se encuentran grandes cantidades de partículas cargadas de alta energía, las cuales son mayormente provenientes del viento solar y son capturadas por el campo magnético terrestre.

Todos estos satélites están correctamente diseñados y vigilados por los mayores expertos y los mejores sistemas del mundo, pero eso no significa que el riesgo de colisión sea nulo, y por esa razón las órbitas LEO son las más peligrosas y serán el foco principal de estudio en este trabajo.

2.3 Órbitas MEO

Las órbitas MEO o “Medium Earth Orbit” son aquellas que se encuentran entre la altitud de la órbita terrestre baja (2000 km) y la órbita geoestacionaria. Principalmente están destinadas para el uso por sistemas de posicionamiento geográfico, como pueden ser el GPS, el GLONASS y el GALILEO.

Estos sistemas no cuentan con tantos satélites (En torno a 31 satélites cada uno) y estos se encuentran en tres planos orbitales diferentes y bastante distanciados, por lo que la posibilidad de colisión entre cualquiera de ellos es bastante remota.

Un tipo especial de órbita media es la denominada Órbita Molniya. Tal y como se puede ver en la [Figura 6], estas cuentan con una alta inclinación y su forma tan elíptica permite tener alta visibilidad en las zonas polares, lugar donde los satélites geoestacionarios no pueden establecer comunicación. Es por eso que este tipo de órbita es utilizado especialmente por los países nórdicos, permitiéndoles establecer satélites de comunicaciones.

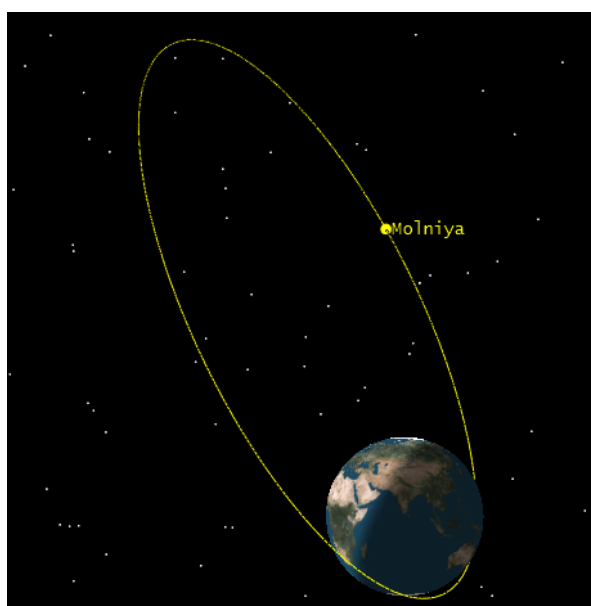


Figura 6: Representación de una órbita Molniya
Fuente: <https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/878338>

(Accedido el 25/01/2023)

2.4 Órbitas HEO

Estas son las órbitas menos usadas hoy en día debido a que no presentan alta utilidad. Sus siglas provienen del acrónimo en inglés “High Earth Orbit”. Debido a que son aquellas órbitas que se encuentran a una altitud superior a 36000km, la Tierra gira más rápido que los satélites situados sobre ellas, por lo que no tendría sentido ubicar en ellas ningún satélite de observación ni de telecomunicación. Los satélites más famosos en este tipo de órbitas han sido los conocidos como VELA, los cuales formaban parte de un proyecto para vigilar las actividades rusas y prevenir de un posible ataque nuclear durante la Guerra Fría.

2.5 El problema de la acumulación de satélites

El aumento del número de satélites conlleva directamente el aumento del número de escombros, los cuales son principalmente estructuras útiles inactivas, restos de cohetes y componentes fragmentados procedentes de colisiones accidentales. La mayoría de la basura espacial se halla en la zona LEO, donde hay mayor acumulación de satélites, sin embargo, debido a la alta presencia de satélites en la órbita geoestacionaria, también está aumentando notablemente la cantidad de residuos en la misma.

Esta gran cantidad de residuos genera un riesgo para todos los satélites operativos, ya que aparte de aumentar la probabilidad de colisión entre ellos [Figura 7], requieren llevar a cabo costosas medidas de protección, incorporando blindaje a los satélites y mejorando la capacidad de maniobra. Dicho aumento de riesgo provoca una disminución en el incentivo para invertir en satélites, ya que la vida útil del mismo es uno de los factores más importantes a tener en cuenta, y esta se puede ver gravemente reducida debido a dichas posibles colisiones.

Analizando estos factores, es lógico considerar que se han de tomar medidas con el fin de frenar la amenaza sobre los satélites actuales y futuros, ya que a medida que pase el tiempo, los restos seguirán chocando contra los satélites con una mayor frecuencia, generándose más residuos cada vez a través de un efecto cascada, el cual podría llegar a provocar que ciertas órbitas sean inutilizables. (Blodger, Ian, 2016)

Pese a que puede parecer lógico que el mayor problema se encuentra en la sobreacumulación de satélites en la órbita, a los expertos les sigue preocupando más la

saturación en la banda de frecuencias utilizadas, ya que la mayoría de sistemas utilizan las mismas frecuencias y esto puede llegar a causar interferencias entre satélites, lo cual podría desencadenar una tragedia mayor y menos previsible.

Con el fin de evitar esta situación, en los últimos años se impuso una normativa a nivel internacional que establece que todo satélite deberá abandonar la órbita una vez haya terminado su misión. Es por ello que a la hora de diseñar una misión satelital, se debe reservar una cantidad de combustible para poder retirar el satélite cuando llegue el momento, reduciendo de esta forma la vida útil del mismo y aumentando el coste de la misión. Desde un punto de vista estratégico, lo ideal sería desplazar los satélites a órbitas inferiores, donde debido al rozamiento con las capas más altas de la atmósfera, este comenzaría a frenarse y con el tiempo incluso se desintegraría. Desgraciadamente, esta normativa no especificaba en qué zona debe situarse el satélite al final de su vida, por lo que las empresas o gobiernos que están detrás de cada misión optan por enviar los satélites a órbitas cementerio superiores, ya que el gasto de propulsante para esa misión es mucho más bajo. Con este movimiento se consigue despejar la órbita, pero el satélite pasará a ser basura espacial, donde se quedará por cientos de años. (Revista del Espacio, La Revista del Universo; 2008)



Figura 7: Satélites a punto de colisionar.

Fuente: <https://computerhoy.com/noticias/life/satelites-starlink-oneweb-colision-845265>
(consultado el 26/12/2022)

3. COLISIÓN SATELITAL

Pese a que en primera instancia pueda parecer que el perímetro que recorre un satélite en una órbita es muy grande y que la probabilidad de que este colisione con otro es muy pequeña, se debe comprender que sobre todo a bajas altitudes, las órbitas se cruzan unas con otras constantemente, aumentándose de esta forma el riesgo de colisión, el cual no solo puede producirse con otros satélites, sino también con la denominada basura espacial. Es por ello que los satélites son en todo momento vigilados y sus trayectorias son calculadas y comparadas con la del resto de satélites cercanos, para que, en caso de una posible colisión, alguno de ellos pueda cambiar su actitud y evitar una catástrofe.

La Agencia Estatal Europea estima que podemos encontrar cerca de 128 millones de objetos en órbita con un tamaño de entre un milímetro y un centímetro, que, aunque puedan parecer dimensiones muy pequeñas, a las velocidades a las que estos viajan podrían causar grandes desperfectos en cualquier satélite o nave. Aun así, es evidente que los objetos más preocupantes son los de mayor tamaño, calculándose que hay en torno a 30000 objetos que tienen unas dimensiones superiores a los diez centímetros.

Las órbitas más críticas son aquellas que tienen una inclinación casi polar y una altitud entre 750 y 1000 km, ya que en ellas se localizan los satélites de mayor masa y tamaño. El número de fragmentos que se generarían de un accidente como este crece enormemente, aumentando también directamente la probabilidad de una colisión en cadena. En el año 2017, el 40% de la masa total en órbita se encontraba en torno a los 900 km de altitud y 98° de inclinación, alcanzando las 2500 toneladas.

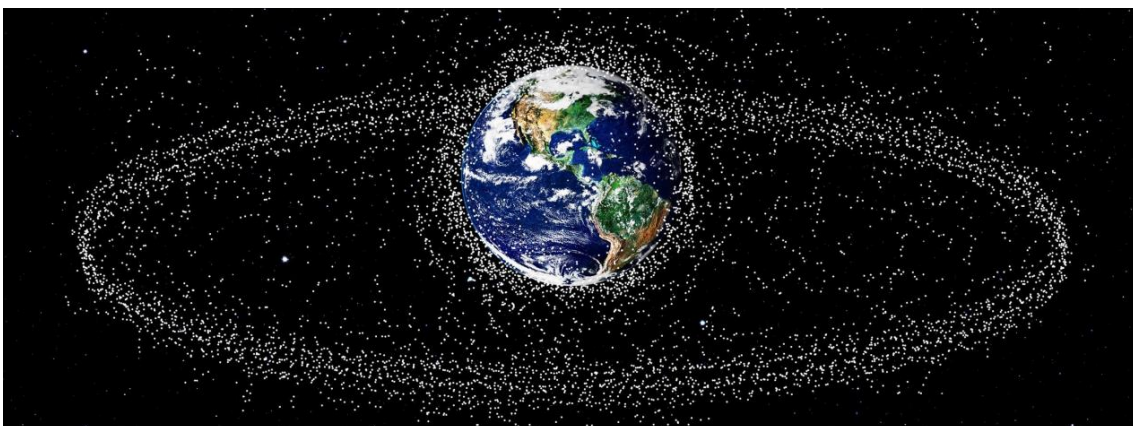


Figura 8: Congestión espacial en la actualidad.

Fuente: https://jcuva.ucm.es/PDf%20Presentaciones%20Evento%20AEDAE-AEGORA_feb2019/2.%20Cristina.%20UIT%20asignacion%20de%20frecuencias%20y%20posiciones%20%282%29.pdf
(consultado el 16/01/2023)

Para poder tener controlada en todo momento esta gran cantidad de satélites [Figura 8], y al mismo tiempo, ir comparando sus posiciones futuras con la del resto de satélites y cuerpos que orbitan la Tierra, las empresas y gobiernos han desarrollado complejos programas informáticos que permiten realizar dicha función. Estos softwares reciben constantemente datos de diferentes operadores, analizando la sensibilidad del cálculo de riesgo de colisión en caso de incertidumbres en las órbitas de los objetos involucrados. Además deben ser capaces de calcular y proporcionar una maniobra de evasión óptima para los casos de alto riesgo (se debe realizar una maniobra cuando la probabilidad de impacto supera el 0.001%), analizando al mismo tiempo los efectos que dicha maniobra pueda llegar a causar a otras posibles conjunciones posteriores. (GMV. Mayo 2022).

Cabe destacar que algunos satélites, sobre todo los más antiguos, no disponen del mecanismo o el propulsante suficiente para poder realizar una maniobra de evasión. Actualmente esta faceta está avanzando y las diferentes agencias apuestan cada vez más por dotar a sus satélites con las cualidades necesarias para poder realizar una maniobra en órbita en el caso de que fuese necesario. En el año 2010 la NASA necesitó llevar a cabo un total de 7 maniobras y la ESA 9. (Nicholas, Johnson. 2010) (H. Klinkrad and J.R. Alarcon, 2015)

3.1 Antecedentes de colisiones entre satélites

La primera y única colisión accidental entre dos satélites en órbita ocurrió en el año 2009, momento en el cual el satélite ruso Cosmos 2251 [Figura 9] y el norteamericano Iridium 33 [Figura 9] chocaron a una altitud de 790 km sobre el territorio de Siberia, a una velocidad aproximada de 41000 km/h. El satélite ruso tenía una masa de unos 900 kilogramos y llevaba varios años inoperativo en el momento del incidente, por lo que en caso de haberse desplazado a una órbita cementerio antes de terminar su vida útil, se habría podido evitar el incidente. Por otro lado, el satélite comercial Iridium 33 tenía una masa de 560 kilogramos y si se encontraba operativo.

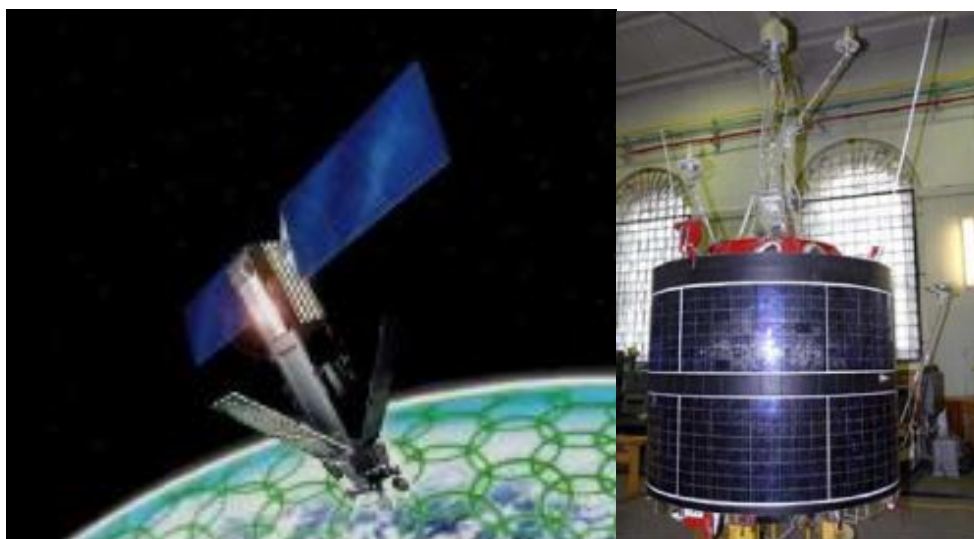


Figura 9: Iridium 33 (Izquierda) y Cosmos 2251 (Derecha).

Fuente: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20100002023>
(consultado el 19/01/2023)

No saltó ningún tipo de alarma previa al accidente en ninguno de los Estados comprometidos. Sin embargo, se ha comprobado que ambos tenían los datos necesarios para que, en caso de haber sido analizados, se hubieran dado cuenta de la alta probabilidad de que el accidente sucediera. Aunque tanto los militares rusos como los estadounidenses tenían monitoreados varios satélites con el fin de evitar posibles colisiones, ni el Cosmos 2251 ni el Iridium 33 estaban incluidos en estos programas de vigilancia.

La Red de Vigilancia Espacial de EEUU detectó ese día más de 1800 escombros superiores a los 10 cm procedentes de las dos naves, aproximadamente un 10% de la cantidad total de objetos de ese tamaño que se estimaba que había orbitando alrededor de la Tierra en ese momento. (Nicholas, Johnson. 2009)

En la [Figura 10] se puede observar la evolución de los escombros procedentes de la colisión y cómo se fueron expandiendo. La imagen de la izquierda muestra el momento del accidente, la del centro cómo se habían esparcido los restos diez minutos más tarde, y la tercera el resultado final tres horas después de la colisión. Esta imagen sirve para hacerse una idea del gran peligro que puede suponer una única colisión, generando miles de restos que se esparcen rápidamente por diferentes zonas y que puede provocar que muchos otros satélites sufran incidentes similares ya que el tiempo de reacción en estos casos puede ser muy corto.

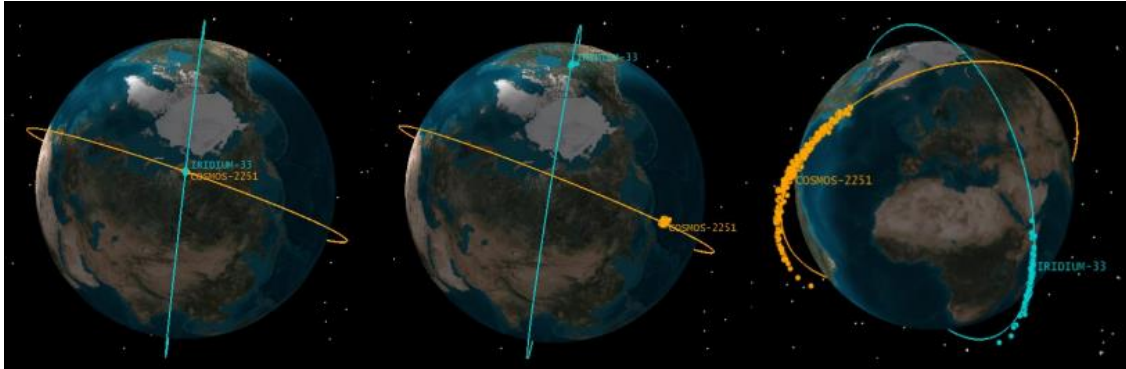


Figura 10: Evolución de los escombros procedentes de la colisión entre el Iridium 33 y el Cosmos 2251

Fuente:

https://swfound.org/media/6575/swf_iridium_cosmos_collision_fact_sheet_updated_2012.pdf
(consultado el 19/01/2023)

3.2 Costes asociados a una colisión satelital

Para poder realizar una estimación de los gastos asociados a una colisión entre dos satélites se deberán desarrollar los diferentes costes provenientes de la misma. De forma evidente, en primer lugar se encuentran los costes de fabricación de cada satélite, los cuales pueden variar enormemente dependiendo de las funciones que este realice y la tecnología de la que esté equipado. Por otro lado se hallan los gastos asociados al lanzamiento y mantenimiento del satélite, los cuales serán inútiles en caso de que el satélite quede inutilizado, igual que todo el tiempo y demás recursos asociados a la construcción del mismo y que no se pueden reflejar únicamente como una cantidad monetaria.

Dado que todos los satélites son lanzados con una misión que cumplir y una vida útil de diseño, también deberán considerarse como pérdidas todos los ingresos que estos dejan de producir e incluso la posible sustitución de los satélites en caso de que sean imprescindibles.

Si se diera el caso de que los escombros originados generen una cadena de colisiones, los costes del accidente se pueden agrandar exponencialmente, dependiendo del número de satélites o cuerpos afectados. Aunque esto no llegara a suceder, dichos escombros deberían ser retirados mediante algún programa de mitigación de basura espacial.

En último lugar, incluir los costes provenientes de una futura investigación que se origine a posteriori del accidente con el fin de evaluar y conocer sus causas y maneras de evitar posibles incidentes futuros similares.

A continuación se muestra una tabla que refleja los diferentes costes comentados anteriormente. Debe entenderse que la cifra variará dependiendo del tipo de satélites que se vean involucrados, su año de fabricación, la tecnología que lleven a bordo y las posibles consecuencias a mayores que el accidente genere.

Causa	Coste asociado
Satélite A	
Coste satélite	500 M €
Coste del lanzamiento y posicionamiento en órbita del satélite	100 M €
Posible coste de la sustitución del satélite	600 M €
Pérdidas de ingresos	100 M €
Satélite B	
Coste satélite	500 M €
Coste del lanzamiento y posicionamiento en órbita del satélite	100 M €
Posible coste de la sustitución del satélite	600 M €
Pérdidas de ingresos	100 M €
Costes comunes	
Investigación del accidente	500.000 €
Programa de mitigación de basura espacial	300 M €
Reclamaciones y denuncias	200.000 €
Coste total del accidente	2.900,7 M €

Tabla 1: Costes asociados a una colisión satelital

Tal y como se puede ver en la [Tabla 1], los costes que se podrían asociar a una colisión entre dos satélites modernos ascienden a casi 3.000 M €. Esta cifra puede ayudarnos a entender la gravedad de la situación y las grandes

consecuencias que puede acarrear un incidente de este tipo. Cabe destacar que en la estimación anterior no se han añadido los posibles gastos que podrían aparecer en caso de producirse una colisión múltiple en cadena en consecuencia de los restos del primer impacto, situación altamente probable debido a la gran cantidad de satélites que viajan hoy en día en la misma constelación.

3.3 Control de actitud

El control de actitud de un satélite será el responsable de, una vez detectada la necesidad de cambiar la posición o trayectoria de un satélite, efectuar la maniobra correspondiente de la manera más rápida y eficiente posible.

Se entiende por control de actitud al conjunto de acciones que se usan para controlar la orientación y posición de un objeto respecto a un sistema de referencia inercial. Para ello son requeridos varios subsistemas, como sensores, algoritmos y actuadores, y todos ellos conforman lo que se denomina GNC: “Guiado, Navegación y Control”. A continuación se dará una breve explicación del funcionamiento y utilidad de cada uno de estos subsistemas.

- **Sensores** Los sensores son los encargados de detectar el cambio de actitud y determinar la posición actual. Existen varios subtipos.
 - **Sensores de actitud relativa:** Estos sensores se encargan de detectar e indicar el ritmo de cambio de la actitud. Para ello deben disponer de información previa referente a la actitud inicial conocida con el fin de poder determinar la actitud final aplicando esos ritmos de cambio. Debido a las imprecisiones que pueden producirse causadas por señales ruidosas, los cálculos de los sensores de actitud relativa son corregidos mediante información aportada por los de actitud absoluta.

Entre los sensores de actitud relativa destacan los giróscopos, tanto clásicos como láser, los cuales son capaces de detectar la rotación en el

espacio tridimensional sin necesidad de depender de la observación de objetos externos.

Otro tipo de estos sensores son los denominados Unidades de movimiento de referencia. Estos modernos sensores de uno o varios ejes utilizan microelectrónica para producir sistemas que caben en el tamaño de un chip al mismo tiempo que poseen una gran precisión. Entre sus usos típicos destacan:

- Compensación de movimiento y estabilización de antenas
- Posicionamiento dinámico
- Control de movimiento y amortiguamiento
- Medición de ondas oceánicas

- **Sensores de actitud absoluta:** Los sensores de actitud absoluta son los encargados de determinar la posición de objetos y campos fuera del satélite. Entre ellos los más importantes son el sensor de horizonte y el sensor solar.

El sensor de horizonte detecta la luz del borde de la Tierra. Para ello utiliza un infrarrojo térmico que compara la temperatura de la atmósfera con el del fondo cósmico. Este sensor aporta información respecto a los ejes ortogonales de la Tierra.

Por otro lado, el sensor solar se encarga de medir la dirección solar, lo cual es muy importante a la hora de orientar las placas solares.

- **Algoritmos** Los algoritmos son todos esos programas que se encargan de recibir los datos de los sensores y determinar las acciones que deberán efectuar los actuadores. La complejidad de los algoritmos dependerá de la misión para la que sean diseñados.
- **Actuadores** Los actuadores son el último subsistema del control de actitud, son los encargados de llevar a cabo las acciones determinadas por los algoritmos. Los más relevantes son:

- **Propulsores** Son claramente el actuador más común y el primero que se viene a la mente cuando pensamos en ellos. Se utilizan para mantener la órbita y deben ser capaces de mantener la estabilización en los tres ejes. La eficiencia de un propulsor queda determinada por su consumo específico y el menor impulso de torque que pueda llegar a dar. Normalmente se da un pequeño impulso en una dirección, para posteriormente dar otro en dirección contraria con el fin de corregir los posibles errores en la orientación que hayan podido surgir.
- **Ruedas de inercia** Consisten en rotores que se hacen girar mediante un motor eléctrico en dirección opuesta a la del movimiento deseado. Dado que cuentan con una pequeña masa que es muy pequeña comparada con la masa total del satélite, las ruedas de inercia resultan ser un método muy preciso para ejercer control. Con el fin de mantener la orientación en un espacio tridimensional es necesario el uso de un mínimo de tres ruedas de inercia, aunque generalmente se usan más con el fin de otorgar redundancia.
- **Velas solares** Las velas solares son capaces de realizar pequeños ajustes en posición y velocidad a través de una fuerza de propulsión que producen como reacción inducida al reflejar la luz incidente del sol.

4. LEGISLACIÓN APLICABLE

4.1 Derecho Espacial

El Derecho Espacial se define de la siguiente manera:

<< El conjunto de principios y reglas que ordenan las condiciones en que deben desenvolverse la exploración, el uso y explotación del espacio y de los cuerpos celestes, los vehículos que por ellos circulan, el personal responsable de su tripulación y las relaciones jurídicas que surjan como consecuencia de tales actividades >>. (Ramón Fernández F. 2017)

El Derecho Espacial surge a raíz de la necesidad de legislar las distintas actividades que son llevadas a cabo en el espacio. Es por ello que ha ido evolucionando a lo largo de los últimos años al mismo tiempo que ha ido creciendo el interés por el espacio. Se trata de una rama especializada junto con el Derecho Marítimo y Aéreo.

Se debe entender como el conjunto de leyes que rigen las distintas actividades relacionadas con el espacio, abarcando normas y principios tanto nacionales como internacionales. Entre los distintos parámetros que rigen se encuentran la exploración espacial, las telecomunicaciones, el uso de armas, preservación ambiental, responsabilidad de daños, nuevas tecnologías y ética. Dentro del Derecho espacial también integra otras ramas como son el Derecho Administrativo, Derecho Ambiental, Derecho Penal, Derecho Comercial y Derecho de la Propiedad Intelectual.

4.1.1 Origen del Derecho Espacial

En el año 1919 el Derecho Internacional reconoció la soberanía de cada país sobre el espacio aéreo que se encuentra sobre su territorio. Dicha declaración fue reforzada en 1944 en la Convención de Chicago y es considerada el origen del Derecho Espacial tal y como lo conocemos.

En el año 1942 varios científicos se unieron en Caltech para formar Aerojet, una compañía centrada en el desarrollo de cohetes. Con el fin de cerciorarse de que no se encontrarían con problemas legales trabajaron en todo momento junto al abogado Andrew G. Haley, a quien hicieron responsable de salvaguardar el proyecto y

asegurarles que toda actividad se realizaría bajo la legislación vigente de la época. Unos años más tarde, Haley publicó su obra “Ley espacial y gobierno”. (Haley, A. 1963)

También hay quien considera el lanzamiento del Sputnik I en 1957 como el origen del Derecho Espacial, ya que a partir de ese momento las operaciones en el espacio aumentaron drásticamente en número e importancia, incorporándose muchos países y estados, y viéndose forzados a regular de alguna manera todas las actividades llevadas a cabo en el espacio. En ese momento los países comenzaron a buscar un sistema que asegurase el uso pacífico del espacio exterior. Debido a las discusiones frecuentes entre Estados Unidos y la Unión Soviética, las cuales provocaron un debate en la ONU en 1958, en el año 1959 la ONU creó la Comisión del Espacio entre Naciones Unidas (COPUOS). A su vez, COPUOS creó dos subcomités distintos, el científico y Técnico y el Jurídico. Dicha Subcomisión de Asuntos Jurídicos ha sido un foro principal para el debate y la negociación de temas centrados en acuerdos internacionales relacionados con el espacio ultraterrestre.

En el año 1963 la Universidad de Yale publicó el documento “Law and Public Order in Space” (Ley y Orden Público en el espacio), escrito por Harold Lasswell, Myres McDougal e Ivan Vlasic.

Desde la creación del COPUOS se han llevado a cabo cinco tratados espaciales:

- Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre (1967)
- Acuerdo sobre el rescate y retorno de astronautas y la devolución de objetos lanzados al espacio ultraterrestre (1968)
- Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales (1972)
- Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio exterior (1975)
- Acuerdo que rige las actividades de los Estados en la Luna y otros cuerpos celestes (1979)

De entre todos ellos el más relevante y más ampliamente adoptado es el primero, el Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre (1967), el cual consta con más de 105 estados miembros. En este trabajo se analizará principalmente este tratado, ya que es el que contiene y abarca más información correspondiente a la utilización y exploración del espacio exterior. También se llevará a cabo un análisis del Convenio sobre la

responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales (1972), ya que explica las posibles condenas en caso de un accidente en el espacio.

4.2 Estado actual del Derecho Espacial

A lo largo de este punto se describirán los distintos tratados y convenios que han sido llevados a cabo a lo largo de los últimos años y que contienen información relativa al lanzamiento de satélites, delimitación del espacio, uso de las diferentes órbitas y actuación en caso de colisión.

4.2.1 Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre

El tratado sobre el Espacio ultraterrestre fue firmado por Estados Unidos, Reino Unido y la Unión Soviética el 27 de enero de 1967 [Figura 11]. En él se incluyen los principios que rigen las actividades de los estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre. Es el acuerdo que sentó las bases del Derecho Espacial tal y como lo entendemos hoy en día. En un principio únicamente fue firmado por 3 países, pero esa cifra fue creciendo exponencialmente, hasta llegar a los 105 países que hoy en día forman parte del tratado, junto con otros 24 que lo han firmado pero todavía no lo han ratificado. Puede verse la lista completa de los países miembros y la fecha en la que firmaron en el Anexo I.

El Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre establece que el espacio ultraterrestre es patrimonio de la Humanidad, y por lo tanto, no puede ser objeto de apropiación. (Ramón Fernández F. 2017)

Este tratado está compuesto por 17 artículos. En ellos se prohíbe la colocación de armas de destrucción masiva en la órbita terrestre o en cualquier cuerpo celeste. Se limita el uso de los cuerpos celestes y la Luna a actividades con fines pacíficos, prohibiendo explícitamente el uso y prueba de armas. En él también se establece que la exploración espacial ha de realizarse en beneficio de todos los países y que el espacio podrá ser usado y explorado por todos los estados.

En el artículo I de dicho tratado puede leerse lo siguiente:

<< La exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, deberán hacerse en provecho y en interés de todos los países, sea cual fuere su grado de desarrollo económico y científico, e incumben a toda la humanidad.

El espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, estará abierto para su exploración y utilización a todos los estados sin discriminación alguna en condiciones de igualdad y en conformidad con el derecho internacional, y habrá libertad de acceso a todas las regiones de los cuerpos celestes.

El espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, estarán abiertos a la investigación científica, y los Estados facilitarán y fomentarán la cooperación internacional en dichas investigaciones.>>



Figura 11: Firma del Tratado del Espacio Ultraterrestre (1967)

Fuente: <https://www.derechoespacial.org/2017/01/50-anos-de-la-firma-del-tratado-del-espacio/>
(consultado el 08/01/2023)

4.2.2 Convenio sobre Responsabilidad Internacional por Daños Causados por Objetos Espaciales

El Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales, también conocido como Convenio sobre Responsabilidad, entró en vigor el 1 de septiembre del año 1972 con el fin de aumentar la normativa del Tratado del Espacio Ultraterrestre correspondiente a reglas de responsabilidad. En el año 2020 cuatro organizaciones espaciales internacionales (la ESA, la organización Europea de Telecomunicaciones por Satélite, la Organización Internacional de Comunicaciones del Espacio Intersputnik y la organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos) aceptaron los derechos y obligaciones estipulados en el Convenio sobre Responsabilidad. Por otro lado, 96 Estados han ratificado el convenio y otros 19 lo han firmado pero no ratificado.

La idea de elaborar este convenio surgió tras una serie de incidentes internacionales causados por objetos espaciales que cayeron en territorio de terceros. Desde entonces, se entendió que era necesario aplicar unas normas capaces de establecer un responsable en caso de incidente e indemnizar de forma plena y equitativa a las víctimas.

El artículo I del Convenio sobre Responsabilidad define daño como “la pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales u otros perjuicios a la salud, así como la pérdida de bienes o los perjuicios causados a bienes de Estados o de personas físicas o morales, o de organizaciones internacionales intergubernamentales”. Es por ello que para que un daño deba ser recompensado este deberá haber sido causado por un objeto espacial o sus distintos componentes en la Tierra, en el espacio aéreo o en el espacio ultraterrestre.

El convenio establece que ha de asegurarse el pago rápido y justo de una indemnización por parte del estado de lanzamiento, cubriéndose así los daños causados, los cuales son determinados “conforme al derecho internacional y a los principios de justicia y equidad, a fin de reparar esos daños de manera tal que se reponga a la persona, física o moral, al Estado o a la organización internacional en cuyo nombre se presente la reclamación en la condición que habría existido de no haber ocurrido los daños”. (DerechoEspacial.Org, 2017)

4.3 Normativa referente a colisión entre satélites

La poca legislación aplicable en caso de colisión entre dos satélites proviene del Tratado del Espacio Ultraterrestre (1967) y el Convenio sobre Responsabilidad Internacional por Daños Causados por Objetos Espaciales (1972). Basándose en estos tratados, el responsable es el país o estado de lanzamiento de los objetos a órbita.

El artículo VI del Tratado del Espacio establece que son los Estados los sujetos pasibles de responsabilidad. Esto quiere decir que serán ellos los únicos responsables a nivel internacional de cualquier daño producido por una actividad que haya sido realizada en el espacio ultraterrestre, ya sea tanto por entidades privadas como por organismos gubernamentales.

Analizando el Convenio de 1972, se aprecia que existen dos definiciones diferentes de Estado.

➤ **Estado de lanzamiento**

Será el Estado que haya lanzado o promovido el lanzamiento de un objeto espacial, incluyéndose el Estado desde cuyo territorio o instalaciones haya sido lanzado el objeto.

➤ **Estado de registro**

Será aquel estado de lanzamiento en cuyo registro se inscriba un objeto espacial. Este concepto fue ampliado en el año 1975 cuando entró en vigor el Convenio sobre Registro de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre, en el cual se establece que el Estado en cuyo registro se encuentre el objeto espacial lanzado, retendrá el control y jurisdicción sobre él y sobre el personal que pueda ir dentro durante el tiempo que el objeto se encuentre en el espacio ultraterrestre o sobre un cuerpo celeste.

4.3.1 Responsabilidad

A la hora de atribuir la responsabilidad de un suceso ocurrido en el espacio o en actividades referentes con el mismo, el Derecho Espacial distingue en dos modelos diferentes.

- **Responsabilidad subjetiva o por culpa:**

En caso de accidente fuera de la superficie de la Tierra, el Convenio sobre Responsabilidad de 1972 establece que aquel Estado que reclame responsabilidad e indemnización, deberá ser capaz de probar la culpa o negligencia del Estado causante de los daños. Este escenario subjetivo de atribución de daños suele beneficiar al Estado causante de los daños, ya que el proceso por el que el Estado afectado debe probar la responsabilidad del otro es bastante tedioso, ya que el incidente habrá ocurrido en el espacio a una altitud entre 1000 y 36000 km de la Tierra. Es por ello que desde la entrada en vigor del Convenio en el año 1972, nunca ha sido aplicada la responsabilidad subjetiva.

- **Responsabilidad objetiva o absoluta:**

En un segundo caso se encuentra la responsabilidad objetiva. Este sistema establece que la víctima no tiene la necesidad de demostrar la culpa o la negligencia por parte del Estado causante del daño, siendo únicamente necesario establecer una relación causa efecto entre el objeto espacial y el daño que este ha producido. (Morales Gutierrez F. 2012)

Este segundo sistema de atribución de responsabilidades fortaleció principalmente a los países subdesarrollados, los cuales, debido a que contaban con una capacidad jurídica menor, tenían mayor dificultad para demostrar la responsabilidad del país causante, siendo ahora únicamente necesario justificar la existencia de una relación causa-efecto.

Una vez explicados ambos modelos se procede a desarrollar la posibilidad de que un estado quede exento de responsabilidad tras un accidente espacial, es decir, que resulte exonerado.

De acuerdo al artículo VI del Convenio Sobre Responsabilidad de 1972: “un Estado de lanzamiento quedará exento de la responsabilidad absoluta en la medida en que demuestre que los daños son total o parcialmente resultado de negligencia grave o de un acto de omisión cometido con la intención de causar daños por parte de un Estado demandante o de personas físicas o morales a quienes este último Estado represente.”

Artículo VI, inciso 2 : *“no se concederá exención alguna en los casos en que los daños sean resultado de actividades desarrolladas por un Estado de lanzamiento en las que no se respete el derecho internacional, incluyendo, en especial, la Carta de las Naciones Unidas y el Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes.”*

Según este artículo, la única manera de que un estado demandado se libere de tener la responsabilidad e indemnizar al demandante, es que aporte pruebas de que se ha cometido algún tipo de negligencia grave por parte del estado demandante.

De acuerdo al inciso 2 del artículo VI, en caso de que se demuestre que el Estado demandado ha realizado actividades que no respeten el Derecho Internacional o el Tratado sobre el Espacio Extraterrestre, éste será el responsable de responder por todos los daños sucedidos en el accidente.

4.3.2 Satélites asegurados

Hoy en día la mayoría de bienes de un coste elevado están asegurados, por lo que no podía ser menos en el caso de los satélites, los cuales, como es evidente tienen un coste muy alto. Con el avance de las actividades comerciales espaciales y considerándose el riesgo que estas conllevan, se creó con el paso de los años un seguro comercial que cubre las diferentes actividades espaciales.

Existen cuatro tipos diferentes de seguro en función de la etapa en la que se encuentre la misión:

- **Prelanzamiento:**

Esta primera parte de la póliza es la encargada de cubrir al satélite por cualquier daño que pueda llegar a sufrir mientras se encuentre en la Tierra. Cubriendo desde que se abandona las instalaciones del fabricante hasta que el satélite es entregado en el lugar de lanzamiento.

- **Lanzamiento**

Esta etapa de la misión es posiblemente la más drástica, por lo que en ella el seguro cubre cualquier fallo debido a un fallo de lanzamiento.

- **En órbita**

Durante la vida útil del satélite en órbita, este estará cubierto por daños, pérdidas físicas y posibles fallos.

- **Responsabilidad Civil**

Se entiende como un seguro a terceros, esta parte de la cobertura del seguro cubre la responsabilidad por lesiones o daños materiales causados sobre terceros. Por ejemplo, si durante el lanzamiento surgiese un accidente y restos del satélite cayesen sobre alguna vivienda.

4.3.3 Caso Cosmos 2251 vs Iridium 33

Podría pensarse que el caso del accidente entre el satélite Cosmos 2251 y el Iridium 33 visto en el apartado 3.1 fue un caso claro en el que debería haberse aplicado el Convenio sobre Responsabilidad Internacional por Daños Causados por Objetos Espaciales, pero la realidad fue muy distinta.

Pese a que ambas partes reconocieron el accidente, no se llegó a realizar ninguna acción diplomática con el fin de reclamar una indemnización. Tras analizar el caso se han propuesto varios motivos que puedan justificar la ausencia de acciones legales posteriores. La primera de ellas es que el satélite Iridium 33 contaba con un seguro que le cubría todos los gastos en caso de accidente en órbita, por lo tanto no vio necesidad económica de involucrarse en procesos judiciales.

Por otra parte, tal y como se ha visto, el Tratado sobre Responsabilidad establece que la empresa Iridium LLC debía ser capaz de demostrar la culpabilidad de la colisión por parte del Estado Ruso. En su defensa, Rusia declaró que el satélite Cosmos 2251 había sido abandonado y se encontraba inoperativo, por lo que no tenía capacidad para realizar una maniobra evasiva, afirmando que no tenía obligación bajo el derecho internacional de disponer de esta capacidad una vez había sido desechado en el espacio.

Rusia, por su parte, culpó del incidente a la empresa Iridium, ya que como su satélite sí se encontraba operativo, consideraron que era el que debía haber maniobrado para evitar la colisión.

De acuerdo al concepto de Estado de Lanzamiento visto en el Convenio de Responsabilidad, Rusia sería el responsable del accidente en caso de que el Cosmos 2251 fuese declarado culpable. Sin embargo, por parte del Iridium 33, en ningún momento se registró el satélite por parte de las Naciones Unidas, tal y como exige la Convención de Registro de 1974, por lo que no queda claro si el Estado de Lanzamiento era también Rusia, Estados Unidos o Kazajastán.

La suma de estas situaciones provocaba un escenario complejo en el que al final ningún estado fue culpado del accidente y nadie tuvo que pagar ninguna indemnización de daños, poniendo en duda el Convenio sobre Responsabilidad. (DerechoEspacial.Org, 2017)

4.3.4 Protocolo en caso de posible colisión

En el apartado 3 “COLISIÓN SATELITAL” se comentó que cuando un satélite tiene una probabilidad de colisión con otro objeto superior al 0,001%, este debe realizar una maniobra para evitar un posible accidente. Pero, ¿qué sucede cuando esa posibilidad de colisión aparece entre dos satélites?, ¿cuál de los dos debe realizar la maniobra?

Para responder estas preguntas podemos recurrir al incidente sufrido el 30 de marzo de 2021 entre un satélite de OneWeb y otro de SpaceX. Aquel día, la Fuerza Espacial norteamericana detectó una alerta roja e inmediatamente notificó a OneWeb y a Space X de que dos de sus satélites iban a pasar entre sí a una distancia de tan solo 57 metros, existiendo un 1,3 % de probabilidad de colisión.

Dado que estos satélites no viajan solos, sino que lo hacen en constelaciones, aquella colisión podría haber desencadenado un desastre inimaginable y sin antecedentes en la historia espacial. Pese a ello, la forma en la que se resolvió el incidente fue bastante sorprendente para el mundo, ya que ambas empresas se pusieron en contacto por mail y se lograron coordinar para que Space X desviase el rumbo de su satélite, desactivando su sistema de inteligencia artificial antichoques, lo cual creó aún más alertas, ya que al analizar la situación, no tiene sentido que un satélite dependa de una

inteligencia artificial para evitar una colisión, y cuando exista probabilidad de la misma, el sistema sea desactivado para llevar a cabo una maniobra de forma manual.

La realidad es que aquel día quedó al descubierto que no existe un protocolo internacional para actuar en caso de que dos satélites vayan a colisionar. Esta situación es bastante peligrosa, y más aun considerando que el número de satélites aumenta constantemente y son muchas el número de empresas y gobiernos dueños de cada uno de ellos.

Al mismo tiempo, varias empresas se quejaron del uso de SpaceX de una inteligencia artificial para evitar la colisión, ya que de esta forma, el resto de empresas o gobiernos no podrán saber en ningún momento cómo o cuándo va a responder la IA, poniendo en evidencia cualquier tipo de sistema manejado únicamente por un ordenador para casos de tanta importancia como este. (Pascual Estapé, J. Antonio. 2021)

5. PROPUESTA DE MEJORA

A lo largo de todo el trabajo se ha expuesto la situación de que la cantidad de objetos en órbita está creciendo rápidamente, aumentando de esta forma el riesgo de colisión entre satélites y demás objetos en el espacio. Es por ello que se requiere de una mejora importante en la calidad de los sistemas de seguimiento y control de los satélites y otros objetos en órbita, con el fin de prevenir posibles colisiones en el futuro. Dicha innovación implicará una gran inversión en tecnologías y sistemas dedicados al control, seguimiento y detección de objetos en órbita, medida la cual reduciría el riesgo de colisión, mejorando de esta forma la seguridad y sostenibilidad de las actividades en el espacio.

Los objetivos a lograr con dicha mejora son los siguientes:

- Disminuir el riesgo de colisión entre cuerpos en órbita
- Aumentar la seguridad y sostenibilidad de las actividades espaciales
- Mejorar la capacidad actual de los sistemas de seguimiento y control de los objetos en órbita.

Para ello, se propone tomar las siguientes acciones:

- Desarrollo y mejora de sistemas y tecnologías para el seguimiento y control de objetos en órbita.

El uso de estos sistemas, como pueden ser tecnologías radar, cámaras ópticas, algoritmos avanzados y sensores infrarrojos, permitirían llevar un control más detallado de la posición de cada uno de los cuerpos en órbita y prevenir posibles colisiones.

- Eliminación de objetos en órbita en desuso.

Otra acción debería ser la incentivación de eliminar todos los cuerpos en órbita que ya no sea útiles, creando programas de incentivos y multas para asegurar una eliminación segura de cada uno de estos cuerpos en órbita.

- Creación de una normativa internacional referente a la eliminación de objetos en órbita, la cual garantice que esta actividad se realice de manera sostenible y segura.

- Creación de un sistema de seguimiento centralizado.
Se podría llevar un control mucho más exhaustivo con un sistema de seguimiento y control centralizado para objetos en órbita, el cual incluya datos de todos los satélites a tiempo real y que sea común para todas las agencias espaciales, estados y operadores de satélites.
- Creación de una normativa o procedimiento internacional que especifique cómo se ha de actuar en caso de que se detecte una posible colisión. Con el fin de evitar situaciones de incertidumbre como la que se vivió en el año 2021 entre OneWeb y SpaceX, se debería establecer una serie de procedimientos que indiquen cómo se debe actuar cuando surge una situación de posible colisión inminente.

Dicha normativa debería establecer los siguientes puntos:

1.- El canal de comunicación entre las agencias o empresas afectadas, siendo este un canal que permita una comunicación inmediata y directa.

2.- Debe haber un sistema de alarma que notifique de forma instantánea a todos los posibles afectados por la colisión, tanto directa como indirectamente.

3.- Cualquier satélite debe ser capaz de realizar una maniobra de evasión por su cuenta en el caso de que el sistema establezca que se trata de una situación crítica, sin necesidad de la aprobación humana.

4.- Uso de un sistema internacional y común del estado de todos los satélites a tiempo real, con el fin de no tener que cruzar informaciones de diferentes sistemas.

5.- Se deberá establecer qué satélite ha de desplazarse en caso de que haya duda o ninguno de los dos se haya salido de su órbita, siendo preferiblemente el que cuyo movimiento conlleve un menor uso de recursos.

6.- Creación de un protocolo de investigación para establecer las causas del suceso una vez haya pasado y evitar que vuelvan a suceder situaciones similares.

En el caso de que la posible colisión se de entre un satélite y otro objeto sin control de actitud, también se deberían aplicar algunos de los puntos anteriores, como pueden ser el seguimiento a nivel internacional de todos los satélites y objetos en órbita, o las investigaciones a posteriori de cada uno de los sucesos independientes.

Con todas estas mejoras se espera poder alcanzar los siguientes objetivos:

- Reducción de forma significativa del riesgo de colisión espacial, pese a que el número de cuerpos en el espacio siga aumentando constantemente.
- Mejora de la sostenibilidad y seguridad de todas las actividades espaciales.
- Reducción a la larga de todos los costes que van asociados con la prevención y reparación de colisiones satelitales.
- Fomentar más la cooperación internacional en las actividades espaciales, adoptando estándares y normativas globales

En definitiva, la mejora en el seguimiento y control de cuerpos espaciales es esencial si queremos que las actividades espaciales sigan siendo seguras en el futuro. Se requerirá de una gran inversión inicial en sistemas y tecnología, así como en la implantación de nuevas normativas y estándares a nivel internacional, pero con el tiempo dicha inversión será rentable. Esta propuesta permitirá reducir significativamente el riesgo de colisión satelital, haciendo posible un uso más seguro de la tecnología en las actividades espaciales.

5.1 Normativa Internacional de Colisión Espacial

Con el fin de evitar posibles futuras colisiones y de lograr recompensar al estado que sea víctima de dicha colisión, se considera necesario la creación de una nueva normativa internacional que regule todos los aspectos que abarquen este tipo de accidentes.

Por un lado, esta Normativa Internacional de Colisión Espacial deberá establecer desde un principio la cantidad mínima de equipos y sistemas que debe llevar a bordo un satélite, sonda o nave para poder emitir en todo momento su posición y detectar la presencia de cuerpos en su órbita o trayectoria. Dichos sistemas deberán ser monitorizados desde la Tierra y estar conectados por una red global que abarque a todas las agencias y estados implicados, con el fin de poder actuar de la manera más rápida posible.

La nueva normativa deberá ser capaz de establecer una serie de criterios para determinar quién ha sido el causante o el responsable de cualquier tipo de incidente, sin la necesidad de que el estado “víctima” deba demostrar la culpabilidad del estado “causante”, tal y como sucede hoy en día.

En caso de detección de una posible colisión, deberán estar fijados una serie de pasos o procedimientos para que uno de los cuerpos se desplace de la órbita evitando de esta forma que ambos cuerpos pasen demasiado cerca entre ellos. Por norma general, dicho movimiento debería ser realizado bien por el satélite cuya trayectoria no sea la que le corresponde, y por tanto esté causando esta situación de riesgo, o si no se diese el caso, por aquel que tenga una mayor capacidad de maniobra y pueda hacer el movimiento de la manera más eficiente posible.

6. EL FUTURO DE LA OBSERVACIÓN Y LA EXPLORACIÓN ESPACIAL

Tal y como lo lleva haciendo en el último siglo, se espera que la exploración y la observación espacial sigan avanzando e innovándose en varias áreas distintas.

El gran avance tecnológico de los últimos años ha provocado que la mayoría de satélites que orbitan la Tierra a día de hoy hayan quedado obsoletos, teniendo en cuenta además que algunos de ellos ya están cerca de terminar su ciclo de vida útil, las agencias espaciales ya están valorando el reemplazo o sustitución de dichos satélites, con el fin de conseguir satélites más eficientes y que aporten más información. Este proceso de cambio deberá hacerse de manera controlada y cerciorándose de enviar los satélites anticuados a su correspondiente órbita cementerio, o bien, hacerlos volver a la Tierra, con el fin de dar por terminada su vida útil.

En los últimos años se está viendo una tendencia entre las grandes empresas de sustituir los satélites actuales, de gran tamaño y mayor riesgo en caso de fallo o colisión, por constelaciones de cientos o miles de satélites más pequeños que cumplan las mismas funciones al mismo tiempo que logran una cobertura mucho mayor, aumentando la capacidad de respuesta. Entre estas constelaciones de satélites destaca la red Starlink de SpaceX, la cual tiene como fin aportar conexión a internet de alta velocidad en cualquier parte del planeta. Actualmente este proyecto ha lanzado más de 1800 satélites situados en órbita baja, aunque varios de ellos han sido desplazados o retirados de órbita por diversas razones. El objetivo final de SpaceX es ubicar en órbita en torno a 12000 satélites, cifra la cual aumentaría el número total de satélites alrededor de la Tierra de forma descomunal.

Por otro lado, OneWeb también tiene un proyecto muy similar con el fin de proporcionar conexión global a internet, con una constelación de más de 600 satélites, la cual será capaz de proporcionar una conexión de alta velocidad y baja latencia a usuarios situados por todo el mundo.

El hecho de que estos satélites sean de un menor tamaño y más ligeros conlleva una reducción muy significativa de los costes de producción y lanzamiento, generando que empresas bastante pequeñas o incluso universidades hayan sido capaces de desarrollar y lanzar sus propios satélites. Esto va a provocar que evidentemente cada

vez haya más y más satélites sobre nuestras cabezas, aumentándose el riesgo de colisión entre ellos.

Este problema ya ha sido contemplado por las agencias espaciales y se está trabajando en tecnologías para mitigar sus riesgos, como lo es la telemetría. Esta tecnología monitoriza de forma constante la posición y la trayectoria de los objetos en el espacio. El avance en este tipo de tecnologías es más que necesario si se quiere seguir lanzando satélites al ritmo que se está haciendo en los últimos años.

Respecto a la exploración espacial, por todos es sabido que las grandes empresas espaciales están planeando grandes misiones y tienen muchos objetivos en mente para los próximos años. Entre las más destacadas se encuentran la vuelta del hombre a la Luna y la exploración de Marte con misiones tripuladas.

El regreso a la Luna tiene como objetivo establecer una base permanente sobre su superficie para el año 2028, con el fin de poder realizar experimentos en ella y obtener resultados que desde la Tierra no son viables. Este ambicioso proyecto de la NASA, aparte de conllevar un elevado coste, requeriría de un gran número de lanzamientos tanto para poder montar la instalación como para lograr conservar el proyecto y mantener la presencia humana sobre la Luna de forma permanente. Es un proyecto bastante ambicioso, pero el cual sería clave con el fin de sentar las bases para la exploración del resto del espacio en el futuro.

Otro de los proyectos más conocidos y que ha dado mucho que hablar en los últimos años es el envío de misiones tripuladas a Marte. El primer paso para ello es conocer mejor el Planeta Rojo, para ello, tanto la NASA como otras agencias espaciales, ESA y CNSA, han enviado varias misiones a Marte y trabajan en programas de exploración del planeta. Se podría decir que la exploración de Marte es un esfuerzo global y que aún estamos lejos de conseguir, pero cada día que pasa está más cerca de ser realidad.

7. CONCLUSIONES

La tecnología evoluciona a pasos agigantados y hace años que el ser humano tiene sus objetivos fijados en el control del espacio. A lo largo de todo el trabajo se ha expuesto una situación crítica referente a la cantidad de satélites que orbitan actualmente la Tierra y la velocidad a la que esta cifra aumenta. Este hecho sumado a la ausencia de regulación y normativa por parte de los organismos internacionales para tratar de controlar la situación puede llegar a causar graves consecuencias.

Hasta la fecha los distintos estados o agencias involucrados en colisiones satelitales o situaciones de riesgo se han visto obligados a actuar sobre la marcha e improvisar ante la ausencia de un patrón o normativa a seguir. Por consiguiente, se considera necesaria la creación de un convenio o tratado a nivel internacional que regule el lanzamiento de satélites, el uso de estos durante su vida útil, y el establecimiento de unos criterios en referencia a situaciones de riesgo por colisión, cómo actuar y quién es el responsable, incluyéndose también condenas y repercusiones para los estados causantes de un accidente espacial.

El caso del accidente entre el Cosmos 2251 y el Iridium 33 en el año 2009 abrió los ojos al mundo del problema existente y de la ineficacia del Convenio de Responsabilidad de 1972 para solventar estos temas por una vía legal, siendo incapaces de demostrar quién fue el causante o responsable del accidente y por ende de que se recompense a la víctima en este tipo de situaciones. Pese a ello, a día de hoy no se ha realizado ninguna modificación en el Convenio, y es sólo cuestión de tiempo que otra situación similar vuelva a suceder para despertar a los fantasmas del pasado y revivir una situación de impotencia similar a la de 2009. Prueba de este riesgo fue el incidente reciente entre OneWeb y SpaceX en el año 2021. La cantidad de satélites que se han lanzado en la última década supera con creces a las cifras que se podían prever, y dado que la mayoría de ellos se sitúan en órbitas bajas y viajan en constelaciones, los costes que podría suponer un accidente a estos niveles son inimaginables.

El Convenio sobre Responsabilidad Internacional de 1972 establece que se debe asegurar el pago rápido y justo de una indemnización por parte del estado de lanzamiento del satélite causante del accidente. El hecho de que en la única colisión satelital sucedida hasta la fecha no fuese posible aplicar dicho convenio, deja clara la

incapacidad por parte del mismo de solventar estas situaciones y la necesidad de adaptarlo o sustituirlo por una normativa más moderna y detallada.

Por todo ello, en este trabajo se han aportado diferentes ideas y soluciones que deberían incluirse en esta nueva normativa con el fin de evitar futuros accidentes, y de que en caso de que estos surjan, se puedan solventar de manera justa y recompensar a las víctimas del mismo.

8. PRESUPUESTO

En este apartado se estimarán y desglosarán los diferentes costes derivados de la elaboración de este proyecto. En la tabla 1 se pueden ver las siguientes subcategorías entre las que se han dividido:

- Costes asociados a la investigación bibliográfica.
- Costes asociados al estudio y la redacción del trabajo.
- Costes derivados de la elaboración del trabajo (recursos).
- Coste total bruto del trabajador.

		Tiempo (h)	Coste unitario (€/h)	Coste total (€)
Investigación bibliográfica	Estudiante	100	12	1200
	Tutor	5	30	150
Redacción del trabajo	Estudiante	180	12	2160
	Tutor	20	30	600
Recursos	Ordenador	305	2	610
	Electricidad	305	0,0216	6,588
COSTE TOTAL				4726,588

Tabla 2: Costes asociados de la elaboración del proyecto

9. BIBLIOGRAFÍA

Asociación de Amigos de la Astronomía. Historia de la Astronomía. Astroelda.com.

Recuperado de:

<https://astroelda.com/index.php/grupos-de-trabajo/historia-de-la-astronomia> [Accedido el 8 de julio de 2022].

Astronoo (2014). Orbita geoestacionaria. Recuperado de:

<http://www.astronoo.com/es/articulos/orbita-geoestacionaria.html> [Accedido el 11 de julio de 2022].

Blodger, Ian (2016). Reclassifying geostationary earth orbit as private property: why natural law and utilitarian theories of property demand privatization. Minnesota Journal of Law, Science & Technology. Recuperado de:

<https://scholarship.law.umn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1006&context=mjlst> [Accedido el 6 de agosto de 2022].

DerechoEspacial.Org (2017). Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales.

Recuperado de: <https://www.derechoespacial.org/2017/03/puede-fallar-el-convenio-sobre-la-responsabilidad-internacional-por-danos-causados-por-objetos-espaciales/> [Accedido el 19 de enero de 2023]

Gabrynowicz, J.I. (2007). A journal devoted to space law and the legal problems arising out of human activities in outer space. Journal Of Space Law, 33, 1. Recuperado de:

<https://airandspace.law.olemiss.edu/pdfs/jsl-33-1.pdf> [Accedido el 18 de agosto de 2022]

GeoEnciclopedia. Información y Características | Ciencias de la Tierra. 2022. Estación Espacial Internacional. Recuperado de:

[https://www.geoenciclopedia.com/estacion-espacial-internacional/#:~:text=La%20Estaci%C3%B3n%20Espacial%20Internacional%20\(International,y%20operan%20varias%20asociaciones%20internacionales](https://www.geoenciclopedia.com/estacion-espacial-internacional/#:~:text=La%20Estaci%C3%B3n%20Espacial%20Internacional%20(International,y%20operan%20varias%20asociaciones%20internacionales) [Accedido el 10 de julio de 2022].

GMV, Software para análisis de riesgos de colisión y cálculo de maniobras de evasión para usuarios del EU SST. Recuperado de:

<https://www.gmv.com/es-es/comunicacion/prensa/notas-de-prensa/seguridad-espacial/software-para-analisis-de-riesgos-de>

[Accedido el 16 de enero de 2023]

Haley, A. (1963). Space Law and Government.

Hmong (2020). Órbita geoestacionaria Historia y Usos. Recuperado de:

https://hmong.es/wiki/Geostationary_orbit [Accedido el 10 de julio de 2022].

Hollingham (2015). BBC News Mundo.2022.V2: el cohete nazi que pudo haber hecho que los británicos llegaran primero al espacio. Recuperado de:

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150830_vert_fut_finde_nazi_britanicos_espacio_yv[Accedido el 10 de julio de 2022].

H. Klinkrad, J.R. Alarcon (2005). Collision Avoidance for Operational ESA Satellites.

Recuperado de: <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc4/paper/49/SDC4-paper49.pdf> [Accedido el 19/01/2023]

Pascual Estapé, J. Antonio (2021). Los satélites de Starlink y OneWeb han estado a punto de chocar, podría haber ocurrido un desastre en cadena. Recuperado de: Los satélites de SpaceX y OneWeb han estado a punto de chocar, podría haber ocurrido un desastre en cadena | Computer Hoy [Accedido el 20/01/2023]

Lyall, F. & Larsen, P.B. (2009). Space Law. A teatrise.

Morales Gutierrez, Valentina (2012). Responsabilidad Internacional Por Daños Causados Por Objetos Espaciales.

Nicholas, Johnson (2009). The Collision of Iridium 33 and Cosmos 2251: The Shape of Things to Come. Recuperado de: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20100002023> [Accedido el 19/01/2023]

Nicholas, Johnson (2010). Orbital Debris: the Growing Threat to Space Operations. Recuperado de: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20100004498> [Accedido el 19/01/2023]

OACI. Convenio sobre Aviación Civil Internacional (Versión 2006)

Online Star Register (2020). La astronomía en el antiguo Egipto. Recuperado de: <https://osr.org/es/blog/astronomia-es/la-astronomia-en-el-antiguo-egipto/#:~:text=Como%20sucedi%C3%B3%20en%20muchas%20culturas%20antiguas%20la%20astronom%C3%ADa,y%20cinco%20d%C3%ADas%20a%C3%B1adidos%20al%20final%20del%20a%C3%B1o.> [Accedido el 8 de julio de 2022].

Posada-Swafford (2009). El telescopio: la historia del invento que revolucionó la ciencia. Recuperado de: <https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/el-telescopio-la-historia-del-invento-que-revoluciono-la-ciencia> [Accedido el 8 de julio de 2022].

Ramón Fernández F. (2017). Derecho Espacial. Teoría y Prácticas. Tirant Lo Blanch

Revista del Espacio, La Revista del Universo (2008). La saturación de la órbita geostacionaria. Recuperado de: <https://www.gtd.eu/es/blog/la-saturacion-de-la-orbita-geostacionaria> [Accedido el 26 de diciembre de 2022]

Rodríguez (2022). National Geographic. La Carrera Espacial paso a paso. Recuperado de: https://www.nationalgeographic.com.es/llegada-del-hombre-a-la-luna/carrera-espacial-paso-a-paso_14369 [Accedido el 10 de julio de 2022].

SocialFuturo (2021). Syncom 3, El primer satélite geostacionario de comunicaciones - Social Futuro. Recuperado de: <https://www.socialfuturo.com/tal-dia-como-hoy/syncom-3-el-primer-satelite-geostacionario-de-comunicaciones/> [Accedido el 10 de julio de 2022].

Traductor Valenciano (2020). Recuperado de: <https://salt.gva.es/es/traductor> [Accedido el 18 de mayo de 2023]

Velázquez, J. C. (2013). El derecho del espacio ultraterrestre en tiempos decisivos: ¿estabilidad, monopolización o universalidad?. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-46542013000100014 [Accedido el 18 de agosto de 2022].

10. LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cohete V2.....	21
Figura 2: Misión Apolo 11.	22
Figura 3: Estación Espacial Internacional (ISS)	23
Figura 4: Comparativa de órbita geoestacionaria y geosíncrona.....	26
Figura 5: Syncom 3.....	27
Figura 6: Representación de una órbita Molniya	29
Figura 7: Satélites a punto de colisionar.	31
Figura 8: Congestión espacial en la actualidad.....	33
Figura 9: Iridium 33 (Izquierda) y Cosmos 2251 (Derecha).....	35
Figura 10: Evolución de los escombros procedentes de la colisión entre el Iridium 33 y el Cosmos 2251	36
Figura 11: Firma del Tratado del Espacio Ultraterrestre (1967).....	44

11. LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Costes asociados a una colisión satelital	37
Tabla 2: Costes asociados de la elaboración del proyecto.....	61
Tabla 3: Estados miembros del Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre	69
Tabla 4: Estados que han firmado pero no han ratificado el tratado sobre el Espacio Ultraterrestre.....	70

ANEXO I Países miembros del Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre

Desde la entrada en vigor del Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre en 1967 son 105 los estados han entrado a formar parte de él, ya sea firmándolo y ratificándolo, por consentimiento, y como sucesión de estados ya no existentes. [Tabla 3]

Por otro lado, hay 24 países que lo han firmado pero aún no lo han ratificado, por lo que no forman parte del mismo. [Tabla 4]

Estado	Firmado	Depositado	Método
Afganistán	1967	1988	Ratificación
Argelia		1992	Consentimiento
Antigua y Barbuda		2988	Sucesión de Reino Unido
Argentina	1967	1969	Ratificación
Australia	1967	1967	Ratificación
Austria	1967	1968	Ratificación
Azerbaijan		2015	Consentimiento
Bahamas		1976	Sucesión de Reino Unido
Bangladesh		1986	Consentimiento
Barbados		1968	Consentimiento
Bielorrusia	1967	1967	Ratificación
Bélgica	1967	1973	Ratificación
Benín		1986	Consentimiento
Brasil	1967	1969	Ratificación
Bulgaria	1967	1967	Ratificación
Burkina Faso	1967	1968	Ratificación
Canadá	1967	1967	Ratificación
Chile	1967	1981	Ratificación
China		1983	Consentimiento
Cuba		1977	Consentimiento
Chipre	1967	1972	Ratificación
República Checa		1993	Sucesión de Checoslovaquia
Dinamarca	1967	1967	Ratificación
República Dominicana	1967	1968	Ratificación
Ecuador	1967	1969	Ratificación
Egipto	1967	1967	Ratificación
El Salvador	1967	1969	Ratificación
Guinea Ecuatorial		1989	Consentimiento
Estonia		2010	Consentimiento
Fiyi		1972	Sucesión de Reino Unido
Finlandia	1967	1967	Ratificación
Francia	1967	1970	Ratificación

Estado	Firmado	Depositado	Método
Alemania	1967	1971	Ratificación
Grecia	1967	1971	Ratificación
Guinea-Bissau		1976	Consentimiento
Hungría	1967	1967	Ratificación
Islandia	1967	1968	Ratificación
India	1967	1982	Ratificación
Indonesia	1967	2002	Ratificación
Iraq	1967	1968	Ratificación
Irlanda	1967	1968	Ratificación
Israel	1967	1977	Ratificación
Italia	1967	1972	Ratificación
Jamaica	1967	1970	Ratificación
Japón	1967	1967	Ratificación
Kazajistán		1998	Consentimiento
Kenia		1984	Consentimiento
Corea del Norte		2009	Consentimiento
Corea del Sur	1967	1967	Ratificación
Kuwait		1972	Consentimiento
Laos	1967	1972	Ratificación
Líbano	1967	1969	Ratificación
Libia		1968	Consentimiento
Lituania		2013	Consentimiento
Luxemburgo	1967	2006	Ratificación
Madagascar		1968	Consentimiento
Mali		1968	Consentimiento
Mauritania		1969	Sucesión de Gran Bretaña
México	1967	1968	Ratificación
Mongolia	1967	1967	Ratificación
Marruecos		1967	Consentimiento
Birmania	1967	1970	Ratificación
Nepal	1967	1967	Ratificación
Holanda	1967	1969	Ratificación
Nueva Zelanda	1967	1968	Ratificación
Níger	1967	1967	Ratificación
Nigeria		1967	Consentimiento
Noruega	1967	1969	Ratificación
Pakistán	1967	1968	Ratificación
Papúa Nueva Guinea		1980	Sucesión de Australia
Paraguay		2016	Consentimiento
Perú	1967	1979	Ratificación
Polonia	1967	1968	Ratificación
Portugal		1996	Consentimiento
Qatar		2012	Consentimiento
Rumanía	1967	1968	Ratificación

Estado	Firmado	Depositado	Método
Rusia	1967	1967	Ratificación
San Vicente y las Granadinas		1999	Sucesión de Gran Bretaña
San Marino	1967	1968	Ratificación
Arabia Saudí		1976	Consentimiento
Seychelles		1978	Consentimiento
Sierra Leona	1967	1967	Ratificación
Singapur		1976	Consentimiento
Eslovaquia		1993	Sucesión de Checoslovaquia
Sudáfrica	1967	1968	Ratificación
España		1968	Consentimiento
Sri Lanka	1967	1986	Ratificación
Suecia	1967	1967	Ratificación
Suiza	1967	1969	Ratificación
Siria		1968	Consentimiento
Tailandia	1967	1968	Ratificación
Togo	1967	1989	Ratificación
Tonga		1971	Sucesión de Gran Bretaña
Túnez	1967	1968	Ratificación
Turquía	1967	1968	Ratificación
Uganda		1968	Consentimiento
Ucrania	1967	1967	Ratificación
Emiratos Árabes Unidos		2000	Consentimiento
Reino Unido	1967	1967	Ratificación
Estados Unidos	1967	1967	Ratificación
Uruguay	1967	1970	Ratificación
Venezuela	1967	1970	Ratificación
Vietnam		1980	Consentimiento
Yemen		1979	Consentimiento
Zambia		1973	Consentimiento

Tabla 3: Estados miembros del Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre

Estado	Firmado
Bolivia	1967
Botsuana	1967
Burundi	1967
Camerún	1967
República Central Africana	1967
Colombia	1967
República Democrática del Congo	1967
Etiopía	1967
Gambia	1967
Gana	1967
Guayana	1967
Haití	1967
Santa Sede	1967
Honduras	1967
Irán	1967
Jordania	1967
Lesoto	1967
Malasia	1967
Nicaragua	1967
Panamá	1967
Filipinas	1967
Ruanda	1967
Somalia	1967
Trinidad y Tobago	1967

Tabla 4: Estados que han firmado pero no han ratificado el tratado sobre el Espacio Ultraterrestre

ANEXO II Relación del Trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030

A continuación se muestra el grado de relación del trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible propuestos por la agenda 2030 (ODS)

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				x
ODS 2. Hambre cero.				x
ODS 3. Salud y bienestar.				x
ODS 4. Educación de calidad.				x
ODS 5. Igualdad de género.				x
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				x
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				x
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				x
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	x			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.	x			
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				x
ODS 12. Producción y consumo responsables.				x
ODS 13. Acción por el clima.			x	
ODS 14. Vida submarina.				x
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				x
ODS 16. Paz, injusticia e instituciones sólidas.			x	
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.		x		

Tal y como se puede apreciar los grados de relación más altos coinciden con los ODS 9 y 10, la industria e innovación y reducción de desigualdades. Analizando el trabajo se puede ver como los objetivos del mismo se centran en lograr un uso más apropiado y seguro de la tecnología espacial, logrando que la observación espacial y en concreto el lanzamiento de satélites pasen a ser actividades con menor riesgo.

Respecto a la reducción de desigualdades, se ha expuesto en el apartado **4** cómo a través del Convenio sobre Responsabilidad Internacional por Daños Causados por Objetos Espaciales aplicándose la Responsabilidad objetiva en lugar de la subjetiva, se puede lograr con mucha mayor facilidad una indemnización para el estado demandante, cosa la cual es difícil de obtener por medio de la responsabilidad subjetiva, tal y como sucedió en el Caso entre el Iridium 33 y el Cosmos 2251, accidente alrededor del cual gira este proyecto. Debido ello, y aunque en menor medida, se ha considerado que este trabajo guarda relación con el ODS 16: Paz, injusticia e instituciones sólidas.

También se observa una relación de grado medio con el ODS 17: Alianzas para lograr objetivos, ya que en todo momento se ha defendido que los objetivos propuestos a lograr en este trabajo se deben enfocar desde un punto de vista mundial. Esto se debe a que el problema expuesto afecta a todos los países a la vez, incluyendo a aquellos que tienen satélites en el espacio y también indirectamente a los que no, por lo que las medidas a tomar y las posibles nuevas normativas propuestas deberán tener un carácter internacional y enfocarse desde un punto de vista que favorezca a todos.