



Facultad de Ciencias Humanas y Sociales

Grado en Relaciones Internacionales

Trabajo Fin de Grado

**Análisis de la realidad legal actual de las
mega-constelaciones: problemas y potenciales
soluciones regulatorias**

Estudiante: **Natalia Martínez-Arroyo Mayoral**

Director: Irene Claro Quintáns

Madrid, abril 2023

RESUMEN

Las mega-constelaciones son conglomerados de cientos o miles de satélites posicionados en la zona LEO (Low Earth Orbit) que ofrecen diversos servicios y facilidades a nivel terrestre. Su existencia y funcionamiento no se encuentran regulados a nivel internacional, lo cual plantea una serie de problemas como la forma de tratar los residuos espaciales, el respeto a los principios de libertad de acceso y no apropiación, los perjuicios causados a la astronomía, etc. El siguiente trabajo pretende analizar los principales problemas que emanan de este fenómeno y plantear potenciales soluciones regulatorias para minimizar los efectos adversos de las mega-constelaciones.

Palabras clave: Mega-constelaciones, Low Earth Orbit, derecho espacial, gestión de tráfico espacial, política espacial, satélites.

ABSTRACT

Mega-constellations are clusters of hundreds, or thousands of satellites positioned in the LEO (Low Earth Orbit) area offering various services and facilities at terrestrial level. Their existence and operation are not regulated at the international level, which raises a number of issues such as how to deal with space debris, the respect of the principles of freedom of access and non-appropriation, the damage caused to astronomy, etc. The following paper aims to analyse the main problems arising from this phenomenon and to propose potential regulatory solutions to minimise the adverse effects of mega-constellations.

Key words: Mega-constellations, Low Earth Orbit, space law, space traffic management, space policy, satellites.

ÍNDICE

I.	FINALIDAD Y MOTIVOS	5
II.	ESTADO DE LA CUESTIÓN Y MARCO TEÓRICO	6
1.	Constelaciones, mega-constelaciones.....	7
2.	La órbita terrestre baja y el espacio ultraterrestre.....	8
3.	Marco normativo	10
A.	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	10
B.	Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre.....	11
C.	Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales.....	12
D.	Unión Internacional de Telecomunicaciones.....	13
E.	Principios relativos a la teleobservación de la Tierra desde el espacio (Remote Sensing Principles).....	16
F.	Directrices para la reducción de desechos espaciales de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos	16
IV.	METODOLOGÍA.....	18
V.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN: RETOS ASOCIADOS A LAS MEGA-CONSTELACIONES.....	19
1.	Los residuos espaciales.....	20
2.	Gestión del tráfico espacial y zonas de seguridad	24
3.	Astronomía	29
VI.	RECOMENDACIONES REGULATORIAS.....	31
1.	Normativa vinculante y global	31
2.	Establecimiento de requisitos mínimos en el diseño de los componentes de las mega-constelaciones	33
3.	Ampliación de las competencias de la UIT	35
VII.	CONCLUSIONES.....	36
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	39
IX.	ANEXOS	50

Lista de abreviaturas

- LEO: Low Earth Orbit
- COPUOS: Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (por sus siglas en inglés)
- LIAB: 1972 Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects
- OST: 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 (por sus siglas en inglés)
- UNOOSA: United Nations Office for Outer Space Affairs
- ISS: Estación Espacial Internacional (por sus siglas en inglés)
- UNCLOS: Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (por sus siglas en inglés)

I. FINALIDAD Y MOTIVOS

El mundo actual es testigo de un intenso progreso tecnológico, que se va acelerado cada día. La llegada de nuevas tecnologías ha tenido un impacto significativo en el modo de vida de la humanidad, permitiendo abordar de forma más eficiente y efectiva los desafíos encontrados.

A medida que la innovación avanza, surgen a su vez desafíos y lagunas legales que deben abordarse para garantizar que las mejoras técnicas se desarrollen en un marco regulatorio justo y responsable. Una coherente y suficientemente extensa regulación legal es fundamental para proteger los intereses de los ciudadanos y la sociedad, asegurando que los avances tecnológicos sean utilizados de manera responsable.

El derecho espacial, a causa de la insuficiencia tecnológica para explotar este medio hasta hace unas décadas, es un campo en constante evolución debido al progreso y el creciente interés en su exploración y explotación. La innovación aquí ha permitido la creación de nuevos sistemas y herramientas enfocados a la obtención de estos objetivos generales. A su vez se han planteado desafíos legales y normativos como son la regulación de la exploración y explotación del espacio, la propiedad y el uso de los recursos espaciales, la gestión de los residuos espaciales y la protección del medio ambiente espacial.

Para abordar estos retos, la sociedad internacional ha elaborado tratados y acuerdos internacionales, estableciendo un marco legal en el que se enmarquen las actuaciones realizadas por distintos sujetos en este ámbito. Por ejemplo, los principios legales para la exploración y explotación del espacio -que conforman la gran mayoría de las actividades- se plasman en el Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre u *Outer Space Treaty* (en adelante OST) de 1967.

Las mega-constelaciones son una tendencia emergente en la industria aeroespacial, que consisten en redes de satélites de pequeño tamaño operando principalmente en la órbita baja terrestre para brindar servicios de comunicación, internet u observación de la Tierra, entre otras aplicaciones, generando oportunidades sin precedentes. Estas mega-constelaciones se encuentran conformadas por decenas, cientos o incluso miles de satélites y su expansión se ha acelerado en los últimos años, impulsado por el interés de empresas privadas en

proporcionar servicios de conectividad global. Particularmente, la Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (en inglés, United Nations Office for Outer Space Affairs, UNOOSA) registró el lanzamiento de más de 2.000 satélites durante el año 2022 (ONU, 2022).

Sin embargo, el incremento de la presencia de estos sistemas también ha planteado preocupaciones en torno no solo a su impacto, sino a su adecuación a la realidad del derecho internacional público y espacial actual. Cabe plantear la cuestión de si el sistema jurídico vigente es apto o lo suficientemente amplio y eficaz en la dotación de respuesta a estos sistemas de satélites y cuáles son los problemas que puede encontrar. Estas cuestiones serán analizadas a través del presente trabajo con el objetivo de comprender la realidad legal actual, analizar las carencias o retos de esta y plantear alternativas para subsanar los principales problemas inherentes a las mega-constelaciones.

II. ESTADO DE LA CUESTIÓN Y MARCO TEÓRICO

La carrera espacial protagonizada por Estados Unidos y la República Soviética durante los años sesenta sigue siendo una realidad. El deseo de controlar el espacio ultraterrestre persiste pese a que los actores involucrados han pasado en gran medida de ser entidades estatales a ser empresas privadas, quienes están logrando resultados inéditos hasta el momento gracias a su menor aversión al riesgo (Vidmar, 2019). Hasta hace unos años, la idea de desplegar mega-constelaciones formadas por miles de satélites se acercaba más a la ficción que a algo viable.

A pesar de haber pasado a un rol secundario, el papel de los Estados como actores sigue siendo de gran magnitud. Son los responsables de promover la investigación privada en este campo, beneficiándose posteriormente de los hallazgos en sus programas públicos. En palabras de Eduardo Bressel Baratto (2021, pág 291): “El orgullo nacional de los años sesenta se ha visto reemplazado por los tremendos beneficios económicos y recursos naturales que ofrece el espacio”.

La creciente cantidad de objetos en órbita alrededor de la Tierra plantea una amenaza significativa para la sostenibilidad y seguridad del espacio exterior debido a una saturación

de las órbitas cercanas a la Tierra. Esta situación ha generado, entre otras cosas, un mayor riesgo de colisiones, lo que podría resultar en la producción de más residuos espaciales y la imposibilidad de utilizar ciertas órbitas en el futuro. Para abordar estos problemas, es crucial que los gobiernos a nivel nacional e internacional implementen legislación que regule las operaciones ultraterrestres.

1. Constelaciones, mega-constelaciones

El término ‘constelación de satélites’ encuentra definiciones diversas a nivel internacional. El Glosario del Centro Principal de Radiofrecuencias define el concepto como un sistema en el que operan satélites artificiales de la Tierra. Por otro lado, de acuerdo con el documento "Material técnico orientativo RTM 68-14-01. Tecnología satelital de trabajos geodésicos. Términos y definiciones", este tipo de constelaciones son aquellas cuyos satélites integrantes tienen los mismos datos técnicos. La legislación nacional rusa concluye que esta situación se supone siempre y cuando existan dos o más satélites con los mismos datos técnicos.

La doctrina tampoco logra un consenso acerca de los elementos definatorios del término. Minet lo define como un grupo de satélites artificiales que operan juntos (Abashidze, Chernykh, & Mednikova, 2022), mientras que otros añaden la necesidad de similitud entre los satélites componentes de la constelación de forma que estén diseñados para complementarse con vistas a lograr un objetivo común y sean controlados por un mismo sistema (Wood, 2003). Kidder y Vonder Haar (2004) añaden así mismo la necesidad de sincronización entre los componentes de la constelación con el fin de orbitar de manera óptima.

Desde un punto de vista técnico, las constelaciones se pueden definir como el conjunto autónomo de satélites en órbita con un objetivo común como puede ser la navegación (McKinsey & Company, 2020). La navegación autónoma es un atributo clave en esta definición, puesto que se trata de objetos que actúan físicamente separados, pero con un mismo fin.

Por lo tanto, se puede concluir que las constelaciones de satélites son un conglomerado de satélites que funcionan juntos, de tal manera que se complementan entre sí gracias a las posiciones orbitales y frecuencia preseleccionadas en su diseño, proporcionando una cobertura terrestre adecuada para uno o varios propósitos específicos.

La falta de homogeneidad en la concepción de las constelaciones de satélites implica que este problema se aplica también a la hora de concretar el significado de ‘mega-constelaciones’. Estas son aquellas constelaciones compuestas por varios cientos y miles de satélites (Lacombe, 2019) que operan en la órbita terrestre baja de forma conjunta y conexas (International Dark-Sky Association, 2019). Actualmente, presentan como características principales su inherente y elevada conectividad, y la existencia de elementos y subcomponentes controlados a distancia por software susceptible de reconfigurar de forma automática su formación para adaptarse al entorno (Pelton & Madry, 2020).

2. La órbita terrestre baja y el espacio ultraterrestre

La órbita terrestre baja, o “LEO” por sus siglas en inglés, es la región que se extiende entre una altitud de 160 a 2.000 kilómetros sobre la superficie terrestre¹ (Abashidze, Chernykh, & Mednikova, 2022). Los objetos en órbita en esta región se desplazan a una velocidad de alrededor de 7.8 kilómetros por segundo, realizando aproximadamente 16 vueltas a la Tierra al día, con una duración de 90 minutos cada una (Borthomieu, 2014).

Su estrecha proximidad a la Tierra permite que la comunicación, la observación de la superficie terrestre y la realización de investigaciones científicas ejecutada por satélites presentes en esta zona sea más efectiva que la realizada por objetos espaciales en órbitas más alejadas. Es por ello que la mayoría de los satélites se encuentran en esta órbita (de Weck & Chang, 2002), al igual que la Estación Espacial Internacional (ISS) (De Groh et al., 2008).

Los satélites en esta órbita, a diferencia de aquellos localizados en la órbita geosincrónica², no tienen un plano orbital necesariamente perpendicular al eje de rotación de la Tierra. En

¹ La mayoría de los aviones comerciales no sobrepasan durante el vuelo una altitud superior de 14 kilómetros.

² Los objetos espaciales en esta órbita de mayor altitud se desplazan sobre el ecuador de oeste a este, siguiendo la rotación de la Tierra a su misma velocidad. Gracias a esto, parecen estar en una posición fija ya que igualan perfectamente la rotación del planeta (Agencia Espacial Europea, 2020a).

otras palabras, no pasan necesariamente por los mismos puntos en cada vuelta completa. Esto permite una mayor libertad de movimiento y la posibilidad de que existan un número elevado de rutas disponibles en LEO, lo cual es una de las razones del amplio uso de la misma en la actividad satelital.

La cercanía de la órbita baja terrestre con respecto a la Tierra la convierte en una opción valiosa para la actividad ultraterrestre. Es la órbita más frecuentemente empleada para la captura de imágenes satelitales, ya que su cercanía a la superficie permite una mayor resolución en las imágenes tomadas (Crisp, N., et al., 2020).

Los satélites LEO a nivel individual pueden ser menos adecuados para determinadas misiones como las telecomunicaciones, ya que se mueven a gran velocidad, requiriendo un gran esfuerzo de seguimiento por parte de las estaciones terrestres. Para solventar esta dificultad suelen formar parte de una constelación de múltiples satélites, creando una “red” alrededor de la Tierra, para ofrecer una cobertura constante. Esto permite cubrir grandes zonas de la Tierra de forma simultánea al operar conjuntamente (Agencia Espacial Europea, 2020a).

Antes de adentrarnos en el marco normativo del derecho espacial, cabe hacer una breve alusión al concepto de ‘espacio ultraterrestre’, puesto que serán las actividades desarrolladas en este las susceptibles de regirse por estas normas de derecho internacional público especializado.

No hay ninguna definición formal del término ‘espacio ultraterrestre’ en el derecho espacial, lo cual ha provocado una controversia sobre la delimitación entre el espacio aéreo y el comienzo del espacio ultraterrestre debido a la falta de frontera física entre uno y otro. La altitud mínima en la cual un objeto es susceptible de ser mantenido en órbita es de entre 80 y 100 km sobre el nivel del mar. En este rango además deja de haber aire, por lo que se entiende por parte de la doctrina que aproximadamente a esta altura finaliza el espacio aéreo y comienza el espacio ultraterrestre (Brünner y Soucek, 2011; Dolman, 2002). Stephan Hobe define este término como “the solar system within the universe whereby in relation to the Earth and its atmosphere it may arguably start at least 110 km above sea level” (2019, pág

42). Este es el marco en el que la regulación expuesta a continuación es susceptible de tener un impacto.

3. Marco normativo

El marco normativo internacional por el cual se rigen las mega-constelaciones incluye 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 (Outer Space Treaty), Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre (Registration Convention), Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales (Liability Convention), Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), Principios que han de regir la utilización por los Estados de satélites artificiales de la Tierra para las transmisiones internacionales directas por televisión (Remote Sensing Principles).

A. 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

El Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre u *Outer Space Treaty* de 1967 es la Carta Magna del derecho espacial internacional. Este tratado vinculante de Naciones Unidas plantea el marco básico de esta disciplina, estableciendo los principios básicos y normas a seguir, que serán desarrollados por otros textos posteriormente. Su contenido se distribuye en diecisiete artículos, de los cuales cabe destacar ocho.

Los primeros dos artículos hacen referencia a las libertades de uso del medio, estableciendo la libertad de la “exploración y utilización del espacio ultraterrestre” y su investigación científica en beneficio de todos los Estados, estén o no presentes en el espacio ultraterrestre, prohibiendo la apropiación nacional en cualquier modalidad.

A continuación, el artículo III limita las actuaciones admisibles, prohibiendo todas aquellas que atenten contra el “mantenimiento de la paz y la seguridad internacionales y del fomento de la cooperación y la comprensión internacionales”. Por su parte, el artículo IV, profundiza

en lo anterior, añadiendo una prohibición adicional sobre el porte o colocación de armas nucleares en la órbita de la tierra. No obstante, no plantea una limitación o prohibición de otro tipo de armas (Chatterjee, 2014).

La responsabilidad internacional³ de los Estados Parte del Tratado se aborda en el artículo VI del Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre. Estos Estados serán internacionalmente responsables por las actividades realizadas en el espacio ultraterrestre por cualquier organismo nacional. Las autoridades nacionales competentes tendrán la responsabilidad de asegurar el cumplimiento normativo, dado que, en ausencia del mismo, el Estado de la persona jurídica (pública o privada) involucrada se considerará responsable. En el caso de organizaciones internacionales, como sujetos del derecho internacional público, la responsabilidad recaerá tanto sobre la organización como sobre los Estados que la conformen.

De esta misma forma, el Estado “que lance o promueva el lanzamiento de un objeto al espacio ultraterrestre... [o]... desde cuyo territorio o cuyas instalaciones se lance un objeto” será responsable por los daños ocasionados por dicho objeto o sus partes a otros Estados Partes o sus personas (Artículos VII, OST, 1967). Dichos lanzamientos deben estar registrados según el artículo VIII, obligando asimismo a los Estados parte a guardar su jurisdicción y control sobre los objetos en el espacio ultraterrestre.

Por último, el contenido del artículo IX alude a la obligación de respetar los intereses del resto de Estados, así como el medio ambiente.

B. Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre

El Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, con 64 ratificaciones, entró en vigor el 15 de septiembre de 1976. Busca completar la previsión

³ En el derecho espacial, hay dos formas de entender el concepto de responsabilidad internacional. Por un lado, se puede identificar con el término *liability* por el cual es esencial que exista un daño, pero no necesariamente una infracción del derecho aplicable. En el espacio ultraterrestre, este tipo de responsabilidad se basa en la culpa del Estado de lanzamiento, la cual debe ser demostrada por quien haya sufrido el daño. El artículo VII hace referencia a esta concepción de la palabra. Por otro lado, existe la posibilidad de concebir el término como *responsibility*. En este caso, debe existir una infracción del derecho y que sea atribuible a un Estado. No es necesario que exista un daño causado para que se imponga la obligación de cesación y no repetición de la actividad.

realizada en el artículo VIII del OST por el cual se impone la obligación de registrar los objetos espaciales.

Este convenio, define el término de “objeto espacial” como “las partes componentes de un objeto espacial, así como el vehículo propulsor y sus partes”. El Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales ofrece una definición similar.

Se trata de un concepto esencial en diversas facetas del derecho espacial y las obligaciones que emanan de este. La falta de una mayor caracterización del objeto espacial implicará incertidumbre en asuntos relacionados con la responsabilidad internacional, la obligación de registro y la jurisdicción entre otros⁴.

La obligación de inscripción proveniente de este convenio se realizará en un registro de carácter nacional, como establece el artículo II. Además de esto, se deberá notificar el registro del objeto espacial al Secretario General de las Naciones Unidas, así como una serie de detalles e informaciones referentes al mismo, como sus parámetros orbitales básicos y su función general (Artículo IV, Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, 1976).

El fundamento de este registro es doble. Por un lado, permite una mayor facilidad a la hora de identificar objetos espaciales que hayan causado daños, y, por otro, procura la minimización del riesgo de emplazamiento de armas en órbita (Tronchetti, 2013).

C. Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales

El Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales (LIAB por sus siglas en inglés) desarrolla el artículo VII del OST. Fue firmado el 29 de marzo 1972, entrando en vigor el 1 de septiembre de ese mismo año con un total de 95 ratificaciones.

⁴ A través de la doctrina, es posible definirlo de la siguiente manera: un objeto susceptible de ser conformado por diversas piezas y un vehículo propulsor, lanzado al espacio ultraterrestre, pero no necesariamente operativo.

Desglosa el tipo de responsabilidad (entendido como “*liability*” en este caso), atribuyendo una responsabilidad absoluta al Estado de lanzamiento cuyo objeto espacial haya causado daños sobre la superficie de la tierra o en el espacio aéreo, y una responsabilidad basada en la culpa en los casos en los que este tipo de accidente se de en el espacio ultraterrestre (Artículo III, LIAB, 1972). Esta culpa puede ser bien del Estado de lanzamiento o de alguna de aquellas personas físicas o jurídicas de las que el Estado sea responsable.

El Estado de lanzamiento es aquel Estado que, o bien es responsable del lanzamiento, o bien promueve el lanzamiento de algún objeto espacial. Este término también engloba aquellos Estados soberanos del territorio o la infraestructura desde donde se realiza el lanzamiento (Artículo I (C), LIAB, 1972).

La existencia de diversas modalidades para poder incluirse en esta categoría ha llevado a que sea posible el lanzamiento conjunto. En este caso, los posibles daños causados posteriormente por el objeto espacial, haría que todos los Estados que se califiquen como de lanzamiento fueran responsables de forma solidaria (Artículo V.1, LIAB, 1972). Es por ello por lo que la Resolución 59/115 aprobada por la Asamblea General el 10 de diciembre de 2004 sobre la “Aplicación del concepto de Estado de lanzamiento” recomienda encarecidamente el establecimiento de acuerdos en los casos de lanzamientos conjuntos de forma previa a la operación.

No obstante, a pesar de lo anterior, es posible que las cargas financieras que emanen de este suceso no se repartan de forma equitativa, dependiendo en cualquier caso de lo acordado previamente.

La exención de esta responsabilidad solo podrá basarse en que los daños ocasionados de forma total o parcial, fueran debidos a un acto u omisión negligente o con intención de causar un perjuicio al Estado de lanzamiento o personas vinculadas a este (Artículo VI, LIAB, 1972).

D. Unión Internacional de Telecomunicaciones

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el órgano de Naciones Unidas especializado en las tecnologías de la información y la comunicación. Desempeña un papel

fundamental en la asignación de frecuencias de comunicación a los satélites en la órbita LEO y es el organismo responsable de la regulación de las órbitas satelitales y del espectro radioeléctrico.

En este sentido, la UIT vela por el cumplimiento de las obligaciones en este campo, promoviendo a su vez la cooperación internacional con el objetivo de garantizar una utilización eficiente y efectiva de las frecuencias asignadas.

Este órgano establece que los Estados deben considerar las frecuencias como recursos limitados a los que otros actores estatales tienen igual acceso. Consecuentemente, resulta lógico concluir que deben restringir su propio uso para permitir el acceso equitativo (Boley & Byers, 2021).

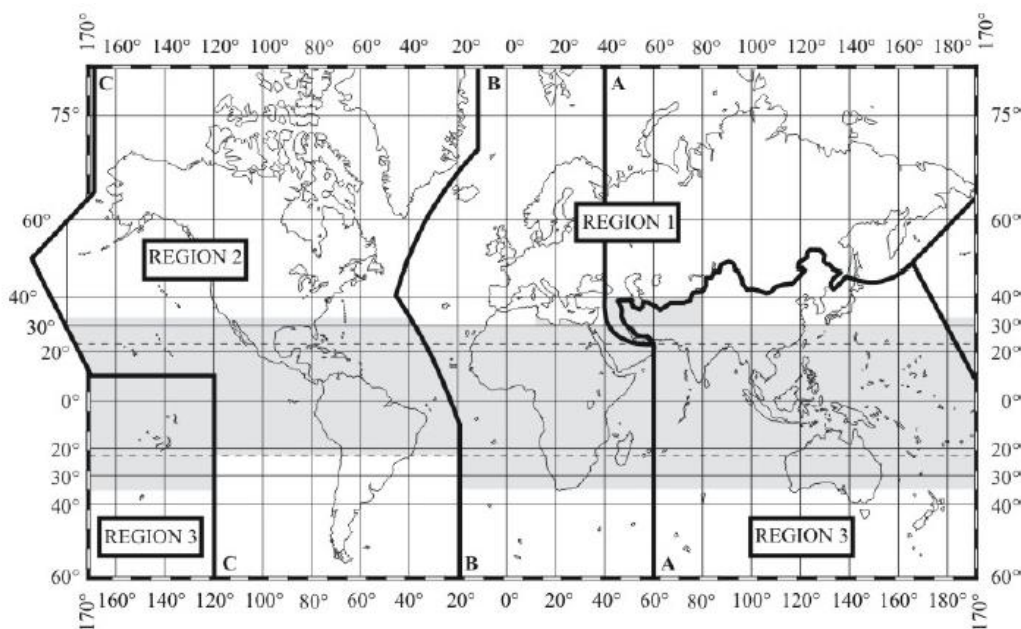
Para ello, de forma paralela al registro impuesto por el Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, la UIT ha implantado otro registro en el que es preceptiva para los Estados la inscripción de informaciones relativas a las radiofrecuencias y ubicaciones orbitales de estos. El objetivo es evitar que se produzca una interferencia física o electromagnética, a la vez que se optimiza el uso de las órbitas disponibles.

Posteriormente, es imprescindible que las empresas se comuniquen y coordinen con cualquier sistema satelital que pueda verse afectado por su mega-constelación planificada, siempre y cuando dicho sistema hubiera sido inscrito en el registro de la UIT en una fecha anterior al suyo (Boley & Byers, 2021 y Jia, Jiang, Kuang, & Lu, 2023). Cualquier indicio de una posible interferencia originará una consulta entre la UIT y la administración registral (la autoridad nacional) (Constitución UIT, 1992).

El acceso a las órbitas y los espectros asociados se interpreta en base a dos concepciones aparentemente contradictorias: el principio de “*first come, first served*” y el “enfoque *a priori*”. El primero de ellos encuentra su fundamento en el intento de cooperación y coordinación estatal entre las naciones espaciales⁵ y el intento de reconocimiento internacional. Pero, para solventar la potencial situación de monopolización de las órbitas y

⁵ Las naciones espaciales o space-faring nations se definen como aquellos Estados con la capacidad de acceder al espacio ultraterrestre mediante el uso de sus propios sistemas espaciales.

espectros, se aplica el enfoque a priori. A través de este, se crea un marco para minar las posibilidades de monopolización de la totalidad de los recursos limitados, procurando realizar una distribución equitativa (Jakhu, 1983). Con este objetivo, la UIT divide el espacio en tres regiones como se observa en la figura a continuación.



(UIT)

En el caso de entidades privadas con vistas a lanzar objetos al espacio ultraterrestre, estas no tienen una relación directa con la UIT, debiendo aplicar ante las autoridades nacionales pertinentes para actuar como intermediarios⁶ y obtener licencias. Se requiere que en la petición conste una descripción general del proyecto de constelación, incluyendo las frecuencias que se utilizarán (Azzarelli, 2020). Al igual que para las entidades gubernamentales, es esencial la comunicación y coordinación con sistemas existentes y operativos.

⁶ Ejemplos relevantes de estas agencias nacionales incluyen la *Agence Nationale des Fréquences* en Francia, la *Federal Communication Commission* en Estados Unidos y la *Bundesnetzagentur* en Alemania.

E. Principios relativos a la teleobservación de la Tierra desde el espacio (Remote Sensing Principles)

A pesar de no existir un tratado internacional vinculante en materia de teleobservación desde el espacio, la Asamblea General de Naciones Unidas en su resolución 41/65, de 3 de diciembre de 1986, aprobó de forma unánime los Principios relativos a la teleobservación de la Tierra desde el espacio, regulando uno de los principales usos que tiene la actividad ultraterrestre.

Este instrumento de *soft law*, vuelve a confirmar lo estipulado por el OST en relación a la libertad de exploración y uso del espacio ultraterrestre (Principio III), incluyendo dentro de este derecho la teleobservación de la superficie de la tierra y territorios pertenecientes a otros Estados desde el espacio. Es decir, existe un derecho de observación para la obtención de informaciones y datos, que no requiere el consentimiento del Estado observado de forma previa (Christol, 1988).

No obstante, la resolución limita su aplicación a aquellas operaciones cuyo objetivo sea el “mejoramiento de la ordenación de los recursos naturales, de utilización de tierras y de protección del medio ambiente” (Principio I.a.).

A cambio, los Estados observados ostentan el derecho de acceder a los datos (tanto brutos como procesados) a un precio razonable y sin posibilidad de ser sometidos a condiciones discriminatorias que limiten esta posibilidad (Principio XII). La observación debe ser realizada de forma que no se ponga en peligro la seguridad nacional ni los intereses de los observados, el cuarto de estos principios estipula que las actividades deberán ser respetuosas y “teniendo debidamente en cuenta los derechos e intereses, conforme al derecho internacional, de otros Estados y entidades bajo la jurisdicción de éstos” (Principio IV).

F. Directrices para la reducción de desechos espaciales de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos

Las resoluciones emanadas de la Asamblea General de Naciones Unidas no tienen, con carácter general, fuerza legal y son por ende no vinculantes, como es el caso de la resolución 62/217 de Directrices para la reducción de desechos espaciales de COPUOS. A pesar de lo

anterior, estas directrices tienen un elevado grado de influencia sobre las legislaciones actuales en relación con la limitación de desechos espaciales provocados como consecuencia del lanzamiento, despliegue, operación y manejo al final de la vida útil de los objetos espaciales (Rueda Carazo, 2019). El contenido de este documento ha logrado permear en diversas legislaciones nacionales, siendo implementado total o parcialmente en dichos Estados (De Man, 2013).

El incremento de objetos espaciales presentes en la zona LEO ha provocado un aumento en el riesgo de colisión de forma inherente a las actividades en el espacio ultraterrestre. Por ello, según su tercera directriz, deberán ser tenidos en cuenta los sistemas existentes que puedan afectar o verse afectados por el lanzamiento y actividad de los nuevos satélites, siendo estimado y limitado el riesgo existente.

Según la primera directriz de la citada resolución, todo sistema espacial debería ser diseñado de forma que, durante su funcionamiento normal, no libere desechos espaciales. En caso de no ser posible, se deberá procurar la minimización de los efectos producidos por dicha liberación. Asimismo, la segunda directriz añade la inclusión en el diseño de planes de prevención de desintegraciones accidentales en caso de fallos técnicos que lleven a una total o parcial ruptura.

La cuarta directriz aborda el desmantelamiento de los sistemas satelitales, precisando que cuando la destrucción sea intencional y genere desechos de larga vida, se deberá realizar “a altitudes suficientemente bajas de manera que limiten la vida orbital de los fragmentos generados.” A su vez, en la siguiente directriz (Directriz 5) se establece que las fuentes de energía almacenadas a bordo de los satélites –dispositivos de almacenamiento eléctrico, fluidos comprimidos y propulsantes residuales– deberían ser agotadas o desactivadas de forma paralela a la finalización de la misión para minimizar futuros riesgos.

Por su parte, la sexta directriz fija que el término de la fase operacional en órbita de los satélites deberá llevar aparejada su retirada de la zona LEO, limitando su presencia a largo plazo. Durante este proceso, será preceptiva la consideración de los intereses de la Tierra, procurando no plantear riesgos innecesarios para los individuos y sus bienes, particularmente debido a la contaminación ambiental ocasionada por compuestos peligrosos.

III. OBJETIVOS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se centra en el fenómeno de las mega-constelaciones, su regulación y potenciales propuestas jurídicas para intentar solventar algunos problemas asociados con ellas, buscando atender a la cuestión acerca de la idoneidad y suficiencia del sistema jurídico internacional vigente relativo a este tipo de conglomerado de satélites.

A priori, la hipótesis planteada es que las mega-constelaciones no se encuentran lo suficientemente reguladas, y los problemas que emanan de ellas precisan soluciones jurídicas internacionales con urgencia puesto que podrían afectar a la población a nivel global. En vista de la necesidad de abordar adecuadamente la problemática relacionada con la creciente presencia de conglomerados de satélites en el espacio, resulta pertinente indagar acerca de la eficacia y adecuación del actual sistema jurídico internacional aplicable a esta materia.

IV. METODOLOGÍA

Para la elaboración del trabajo y el logro de lo expuesto en los epígrafes anteriores, se ha recurrido a diversas fuentes a la hora de investigar y justificar las ideas plasmadas en las siguientes páginas. Al tratarse de un tema de relaciones internacionales enmarcado en el área del derecho internacional público, se utilizará una metodología cualitativa, por la cual se pretende realizar una revisión de acuerdos internacionales y doctrina acerca de las mega-constelaciones y la normativa aplicable a ellas. Además, serán analizados artículos científicos e informes relativos al impacto real de estos sistemas y las respuestas potenciales para poder presentar una perspectiva más holística de la realidad.

El método de interpretación jurídica se utiliza para relacionar las disposiciones de los tratados sobre el espacio ultraterrestre y otros documentos de derecho internacional en lo que respecta a la regulación jurídica internacional del funcionamiento de las constelaciones de satélites. Para dar contestación a las cuestiones que pudieran plantearse en relación con el funcionamiento de las constelaciones de satélites, tras un extenso análisis, se ha buscado esbozar posibles cambios regulatorios, aportando soluciones razonables y coherentes.

Inicialmente se ha analizado el marco en el que operan las actividades espaciales, examinando tratados y acuerdos internacionales relevantes, así como la normativa impuesta por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Posteriormente, se considerarán los desafíos que surgen en la aplicación de estas normas, como son: la dificultad de supervisar la cantidad cada vez mayor de satélites en órbita, la gestión de los desechos provenientes de los satélites o su relación con el principio de no apropiación.

Por último, se explorarán las posibles mejoras en la regulación internacional de las mega-constelaciones, incluyendo una mayor coordinación entre los organismos reguladores y la creación de nuevas normas para abordar los desafíos emergentes.

V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN: RETOS ASOCIADOS A LAS MEGA-CONSTELACIONES

Las mega-constelaciones han demostrado ser extremadamente útiles, brindando numerosas ventajas y servicios a la comunidad global. No obstante, hay retos asociados a estos sistemas satelitales que han de ser solventados a fin de no perjudicar los intereses de la humanidad. Si bien se han establecido regulaciones parciales a nivel nacional e internacional, no existe una normativa unificada y vinculante a nivel mundial para garantizar la sostenibilidad y seguridad de las operaciones ni para limitar los riesgos y efectos nocivos inherentes a ellas.

La proliferación de satélites en LEO plantea preocupaciones sobre la cantidad de desechos espaciales que se crean, su impacto en la seguridad de los satélites y misiones espaciales y la repercusión en la vida humana. Además, la congestión del espacio puede dificultar la navegación y la coordinación por satélite, aumentando el riesgo de colisiones.

1. Los residuos espaciales

Los residuos espaciales son desechos fabricados por el hombre sin funcionalidad que simplemente transitan por el espacio⁷. El objeto espacial se transforma en residuo cuando pierde su finalidad, por lo que todo lo lanzado al espacio ultraterrestre tiene un potencial inherente de convertirse en deshecho tras el fin de su vida útil (Baker, 1989).

El espacio ultraterrestre como recurso natural compartido se ve afectado por una producción continua y creciente de residuos y partículas que, en un futuro, podrán comprometer la viabilidad del uso del medio (Flores, 2022). Se ha llegado a predecir que en 2030 podría quedar vedado el espacio exterior debido a la frecuencia de las colisiones (Larsen, 2018).

Estos desechos llevan asociados riesgos en el espacio ultraterrestre y en el espacio aéreo, así como sobre la superficie terrestre.

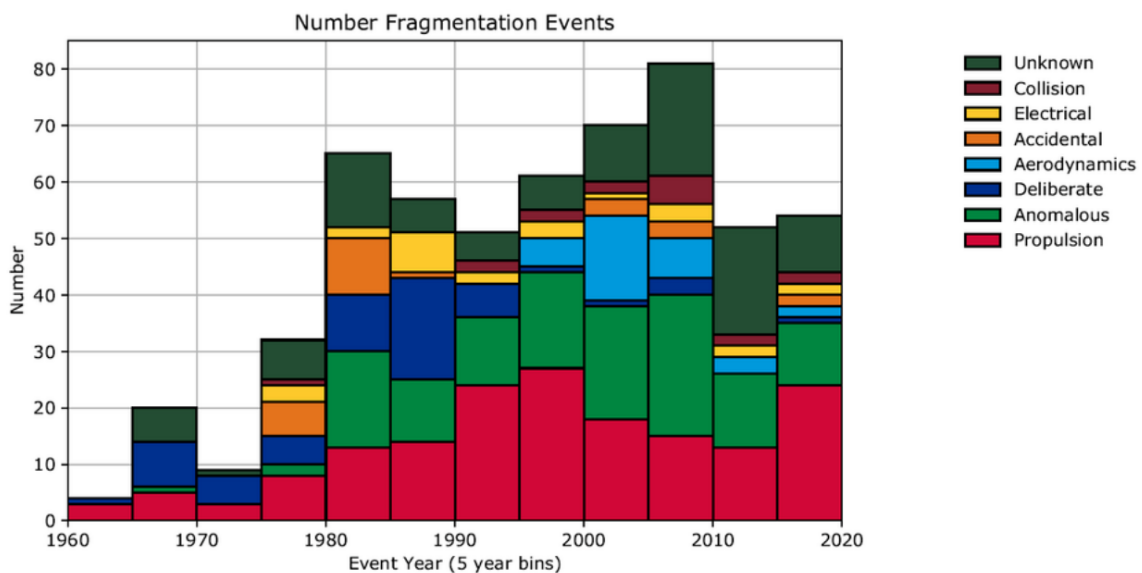
En el espacio ultraterrestre, el principal efecto de su creciente presencia es el elevado riesgo de colisión con otros objetos espaciales, que puedan ver su misión u operatividad frustrada por dicho impacto. Los mayores contribuyentes al problema son las explosiones que se dan debido a las fuentes de energía almacenadas a bordo de los satélites no operativos (Krag, 2020) y las crecientes operaciones de tecnología antisatélite realizadas por Estados Unidos, China, India y Rusia (Migaud, 2020).

En 2007, China se convirtió en la tercera potencia en realizar una misión antisatélite (ASAT) con éxito (Zissis, 2007), destruyendo su satélite Fengyun-1C y produciendo a su vez más de 3.000 objetos rastreables y un estimado de más de 150,000 piezas demasiado pequeñas para vigilar (NASA, 2009). Estos desechos se mantendrán a una altitud de 865 kilómetros durante décadas. Posteriormente, en 2009, la colisión entre un satélite ruso y otro perteneciente a una entidad de telecomunicación americana causó la liberación de miles de objetos espaciales que, a menos que sean retirados de forma activa, continuarán orbitando alrededor de la Tierra durante un lapso mínimo de un siglo (Weeden B. , 2010).

⁷ Esto no quiere decir que no existan residuos de origen natural, pero estos se excluyen de su definición en el Acuerdo que debe regir las actividades de los Estados en la Luna y otros cuerpos celestes.

De forma más actual, Narendra Modi anunció en 2019, la realización satisfactoria de una prueba ASAT (Foust, 2022). Como consecuencia de la cual se desprendieron 400 fragmentos, de los que solamente 270 están siendo monitoreados (Tellis, 2019). Estos ejemplos permiten objetivar la realidad de la basura espacial.

El creciente riesgo asociado con los residuos espaciales se debe a que el espacio ocupado por desechos en el espacio ultraterrestres está relacionado directamente con el número de colisiones potenciales, y los sucesos que los originan están adquiriendo una frecuencia cada vez mayor como se puede observar en el gráfico a continuación.



(Agencia Espacial Europea, 2020b)

Como consecuencia de este fenómeno, se ha constatado que, para asegurar su viabilidad, los satélites están siendo obligados con mayor frecuencia a efectuar maniobras de evasión para prevenir colisiones con escombros espaciales. En el caso concreto de la ISS, se ha visto obligada a modificar su trayectoria para evitar satélites y desechos monitoreados en 32 ocasiones desde 1999 (NASA Orbital Debris Program Office, 2022), además de haber tenido que utilizar otros mecanismos de neutralización para lidiar con estos peligros.

La existencia de satélites en órbitas con una intersección genera una probabilidad finita de colisiones. Cualquier choque puede generar una multitud de fragmentos, los cuales a su vez

tienen la capacidad de impactar otros satélites, aumentando aún más la cantidad de objetos en el espacio y contribuyendo a la acumulación de residuos espaciales de manera exponencial. Con el tiempo, y sin la adopción de soluciones efectivas, el acopio de residuos creará un cinturón de desechos (Kessler & Cour-Palais, 1978) y una “*self-sustaining cascading collision of space debris*” (Alshamsi, Balleste, & Hanlon, 2018, pág 51) o cascada de colisiones autosustentables”, imposibilitando, en gran medida, la ejecución de cualquier actividad espacial humana.

La imposibilidad de utilizar el medio del espacio ultraterrestre debido a esta acumulación representa un problema de envergadura significativa. En un primer momento, plantea una limitación de la capacidad de exploración y explotación del espacio (Flores, 2022). Estas actividades son cruciales para el avance de la tecnología y la ciencia en diversos campos tanto relacionados con el estudio del medio, como la astronomía o astrofísica, o con la observación de la Tierra estudiando desde el relieve terrestre al movimiento de fenómenos meteorológicos.

Además, los satélites se han convertido en elementos esenciales de la infraestructura terrestre, de forma directa e indirecta, dejando de ser una mera plataforma para la investigación científica y convirtiéndose en una herramienta imprescindible para el modo de vida contemporáneo (Agencia Espacial Canadiense, 2020). Por ejemplo, para el ofrecimiento de servicios globales de posicionamiento y navegación utilizados para la navegación marítima y aérea, la logística, la cartografía y la agricultura de precisión, entre otros, es precisa la ubicación de satélites en el espacio ultraterrestre (OECD, 2019). En la comunicación global, la transmisión de señales de televisión y radio, y la conectividad a internet, acontece lo mismo, siendo recomendable el posicionamiento en la zona LEO para ofrecer una mayor inmediatez.

Las consecuencias degradativas tendrán a su vez un impacto negativo en la economía global debido a su gran dependencia de la tecnología basada en el uso de satélites, afectando desde las finanzas⁸ a la agricultura mundial por la interferencia con misiones ultraterrestres. La

⁸ La conectividad global se basa en satélites de comunicación, tanto para transacciones comerciales, servicios bancarios o transmisión de noticias, entre otros (Agencia Canadiense, 2018).

investigación científica y tecnológica llevada a cabo en el espacio tiene el potencial de generar nuevas tecnologías y avances en campos como son la medicina, la energía y la exploración espacial entre otros. Sin embargo, la acumulación de residuos espaciales representa una amenaza para el acceso al espacio ultraterrestre, lo que a su vez puede limitar el potencial de innovación y descubrimiento y afectar negativamente al crecimiento económico global (Walker, y otros, 2020).

Los desechos espaciales también son susceptibles de afectar el entorno aéreo y ser un riesgo para la aviación. En 1996, un objeto impactó el parabrisas de la cabina de un avión que realizaba un vuelo entre las ciudades de Pekín y Wuhan a diez kilómetros de altitud. El impacto fracturó el cristal exterior del parabrisas de tres capas, amenazando con una despresurización de la cabina y obligando a la tripulación de la aeronave operada por *China Southern Airlines* a regresar al aeropuerto de origen para realizar un aterrizaje de emergencia (Marks, 2021).

El incremento de satélites presentes en órbita plantea asimismo un riesgo para todo aquello sobre la superficie terrestre debido, en un primer momento a las etapas⁹ de los objetos lanzados al espacio y posteriormente, a los desechos espaciales propiamente dichos.

Prueba de ello es la situación en la estepa del sur de Kazajistán relacionada con el cosmódromo de Baikonur, desde donde se lanzó el primer satélite artificial del mundo en 1958. Se construyó esta ciudad e instalaciones de lanzamiento para permitir la continuidad de la actividad espacial. Con la novación del acuerdo de arrendamiento hasta 2050, el gobierno kazajo otorgó a la Federación Rusa, como heredera de la Unión Soviética -a través de la agencia estatal Roscosmos-, una cuasisoberanía sobre Baikonur. Hoy en día, el acceso a la ciudad requiere de un permiso especial y la divisa utilizada es el rublo ruso (Bichsel, 2021).

No obstante, fuera de la ciudad, el mundo rural no ha sido tomado en cuenta al calcular los riesgos de la actividad espacial en esta zona. Aquellos locales que viven o desarrollen su

⁹ Las etapas o fases son componentes utilizados para la propulsión de objetos espaciales al espacio ultraterrestre. Al alcanzar determinadas altitudes, dichas fases se separan del objeto espacial principal, descendiendo hacia la superficie terrestre a los océanos o a zonas de impacto planeadas (NASA, 2021).

actividad en las proximidades como pastores y agricultores, se encuentran expuestos de forma constante al riesgo real de caída de escombros y estelas de combustible o hidracina de las distintas etapas, lo que representa una amenaza no solo hacia el medioambiente y la salud, sino hacia la propia vida de estas personas. Los metales caídos del cielo pueden tener un tamaño considerable, siendo utilizados de forma habitual por los habitantes locales como techos de sus construcciones (Cooper, 2018).

La problemática se ve agravada por el hecho de que los habitantes que residen en las cercanías de esta urbe son nacionales de otro Estado. Por tanto, la exposición de sus vidas a riesgos potenciales no solo compromete su seguridad personal, sino que también afecta los intereses de Kazajistán. Esta situación implica una violación de los principios fundamentales del derecho internacional público y, en particular, del artículo IX del OST.

En ocasiones, los residuos espaciales localizados en el espacio ultraterrestre son susceptibles de volver a entrar en órbita de manera voluntaria o fortuita y poner en riesgo todo aquello sobre la superficie terrestre. La predicción de la vía por la que un objeto en una órbita no controlada reentrará en la atmósfera terrestre es sumamente problemática. En 2011, el Satélite de Investigación de la Alta Atmósfera (UARS) se precipitó de regreso a la atmósfera terrestre, fragmentándose en numerosas piezas en el proceso (NASA, 2011). Pese a que la mayoría de los restos se consumieron durante la reentrada, algunos fragmentos perduraron y alcanzaron el Océano Pacífico. Afortunadamente, no se registraron daños ni heridos, pero el incidente pone de manifiesto el peligro potencial de los desechos espaciales que caen sobre la Tierra. Otro ejemplo de esta realidad son los componentes del Long March 5B caídos en Costa de Marfil, las Maldivas e Indonesia y Malasia durante los últimos dos años en diversas ocasiones (Zander, 2022).

Pese a no haber acontecido todavía, el próximo fragmento de basura espacial que caiga sobre la superficie de la Tierra podría causar víctimas reales.

2. Gestión del tráfico espacial y zonas de seguridad

La gestión del tráfico espacial es una actividad crítica en la minimización de los riesgos inherentes a la actividad espacial en la órbita LEO, dedicada a la planificación, coordinación,

control y supervisión de objetos espaciales para reforzar la seguridad y la pervivencia de las operaciones en este entorno internacional (Borek, Wóznica, & Malawaski, 2022). Una de las principales áreas de la gestión del tráfico espacial es la prevención de colisiones entre los objetos presentes en la órbita monitoreada, incluyendo satélites artificiales y naves espaciales.

La primera colisión en órbita entre dos satélites se dio a principios de 2009 y fue un ejemplo dramático de los riesgos asociados con la falta de una gestión real y las consecuencias asociadas a una ineficaz coordinación. El satélite ruso Cosmos 2251 chocó con el satélite de telecomunicación americano Iridium Satellite LLC sin previo aviso a 800 km sobre Siberia, generando un total de casi 2.000 desechos espaciales (Brian Weeden, 2010).

A pesar de disponer tanto las autoridades estadounidenses como rusas de forma previa al suceso de los datos de seguimiento de ambos satélites y poseer ambos procedimientos para detectar posibles colisiones, no se emitió ninguna advertencia sobre una potencial colisión ni, por ende, maniobra para evitarlo (Weeden B, 2019).

Los métodos de detección o evaluaciones de conjunción utilizados en las operaciones ultraterrestres determinan la probabilidad de colisión entre dos objetos identificados y localizados. No obstante, el resultado no es afirmativo o negativo, sino que ofrece una cifra probabilística del riesgo determinada por el sistema (Gonzalo, Colombo, & Di Lizia, 2021). Esto se debe a la imposibilidad de localizar de forma precisa la ubicación exacta de los objetos espaciales.

La mayoría de los satélites, en especial aquellos civiles y comerciales, no tienen necesariamente conocimiento de otras naves espaciales que se encuentran en sus alrededores (Jakhu, 2010), lo cual justifica el hecho de que el satélite americano no realizase ninguna maniobra para evitar la potencial colisión. La aparición de las mega-constelaciones y el progresivo aumento de densidad de objetos en órbita ha conllevado nuevos y complejos desafíos para la gestión real de estos, afectando también a campos relacionados directamente con esta práctica como son la seguridad civil o la actividad militar (Marty, Bonnal, Faucher, & Francillout, 2023).

En la actualidad, las naves espaciales previsiblemente experimentarán un creciente número de avisos, ya que los cálculos realizados por los sistemas de seguridad conllevan de manera habitual maniobras de evasión al localizar objetos espaciales a menos de 1 kilómetro de distancia (Oltrogge & Alfano, 2016). Al estar situados los diferentes componentes del sistema en zonas cercanas, este modus operandi implicará, de forma habitual, el movimiento de diversos satélites en las mega-constelaciones, pudiendo llegar a sufrir colisiones autoinducidas (Reiland, Rosegren, Malhotra, & Bombardelli, 2021). En el caso de las mega-constelaciones diseñadas de forma que los satélites se encuentren localizados en órbitas muy inclinadas y casi intersectadas como es el caso de OneWeb, hay una mayor propensión a dicho tipo de choques (Swinerd, Lewis, Williams, & Martin, 2004).

En este contexto, otro ejemplo de la necesidad de una regulación de forma inminente ocurrió en 2021. El gobierno chino informó al Secretario General de Naciones Unidas, que había sido obligado a maniobrar su estación espacial nacional en dos ocasiones para evitar posibles colisiones con satélites pertenecientes a la constelación privada americana Starlink. Uno de esos satélites se había adentrado en una órbita próxima, lo que provocó una situación cercana a la colisión, mientras que el otro satélite culpable realizaba movimientos impredecibles, dificultando la evasión (Asamblea General de Naciones Unidas, 2021).

En la actualidad, no existe un organismo regulador específico encargado de supervisar el tráfico espacial ni se le atribuyen dichas competencias; en muchas ocasiones, se han violado las disposiciones del Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre impunemente, permitiendo que objetos espaciales se lancen sin ser registrados (Jakhu, Jasani, & McDowell, 2018). Esta falta de registro dificulta en gran medida la predicción de posibles colisiones entre satélites, por lo que para gestionar de forma eficaz este tránsito y minimizar los riesgos inherentes a las operaciones espaciales, ciertas agencias han puesto en marcha medidas de protección como el establecimiento de zonas de seguridad¹⁰ alrededor de las naves espaciales. A pesar de que se ha acreditado la legalidad del establecimiento de este mecanismo en algunos ámbitos del derecho internacional, como es

¹⁰ En la sección 11, párrafo 7 de los Acuerdos de Artemisa, se definen las zonas de seguridad como el “*área en que las operaciones nominales de una actividad pertinente o un acontecimiento anómalo podrían razonablemente dar lugar a un obstáculo perjudicial.*”

la exploración de la luna o el uso de estas en el derecho marítimo¹¹ (Migaud, Greer, & Bullock, 2021), todavía no hay un consenso doctrinal acerca la legalidad del establecimiento de estas en relación con las mega-constelaciones.

La problemática de las zonas de seguridad reside en la compatibilidad real con el OST, en concreto sus artículos I, II y IX, y las restricciones que plantean su forma y parámetros. Los Acuerdos de Artemisa¹² admiten el establecimiento de estas zonas de seguridad, identificando el artículo IX del OST como el fundamento jurídico básico de estas. La conclusión aducida es que los artículos I y II no excluyen las zonas de seguridad y que, además, el artículo IX respalda su establecimiento. Estos mismos artículos son los responsables del establecimiento de una serie de requisitos para permitir el desarrollo coherente con el derecho aplicable a este mecanismo.

En un primer momento, tanto el tamaño como el alcance deberá ser razonable en relación con la operación que se esté desarrollando, de forma que, de cambiar sustancialmente la actividad, también se verá modificada la amplitud de la zona de seguridad. Asimismo, el establecimiento, modificación o supresión de estas zonas deberá ser notificado al Secretario General de las Naciones Unidas (Sección 10.3 y 11.7, Acuerdos de Artemisa, 2020). Por último, las zonas deberán preceptivamente tener un carácter temporal, de forma que no interfieran con el principio de no apropiación (artículo II del OST), permitiendo a todos los Estados en el momento que se encuentren capacitados tecnológicamente a explorar y explotar esta *res cummyis*.

Las zonas de seguridad tienen numerosos beneficios asociados a ellas, pudiendo llegarse a decir que la declaración de estas zonas con la antelación y publicidad requerida es prueba de la buena fe del Estado declarante, protegiendo tanto sus propios intereses como los del resto de naciones espaciales. A través de este mecanismo, los intereses de la comunidad global quedan protegidos por la concienciación sobre los riesgos que suscita el tráfico espacial y el fomento del diálogo entre los actores espaciales, promoviendo el principio de cooperación

¹¹ El artículo 60 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS) de 1982 permite que los estados establezcan, donde fuese necesario, zonas de seguridad alrededor de instalaciones de plataformas petrolíferas y análogas. Estas áreas no deben superar los 500 metros de distancia desde la estructura que la precisa, y su existencia será notificada al resto de Estados de la forma debida.

¹² Resulta relevante aclarar que este acuerdo no es vinculante para los once Estados signatarios.

internacional debido a la necesidad de transparencia (Mallowan, Rapp, & Topka, 2021) en su establecimiento.

La inexistencia de apropiación nacional se verifica a través del carácter temporal (artículo II, OST, 1967) y la legislación aplicable dentro de la zona (Newsome, 2017). Mientras que los signatarios de los Acuerdos de Artemisa se comprometen a eliminar estas zonas una vez finalizadas las actividades que las justifican; en las zonas de seguridad aplicará el mismo derecho que fuera de ellas. De esta forma no se limita la libertad de exploración y utilización al no ser posible la prohibición de entrada a agentes externos, por lo que no habría ninguna infracción del principio de no apropiación con el establecimiento de dichas áreas.

Estas garantías sin embargo no permiten una gestión del tráfico espacial eficaz ya que se expresan a través de un instrumento no vinculante, cuyas disposiciones han sido negociadas por once Estados. Consecuentemente, no se descarta la posibilidad de una aplicación selectiva o abusiva, o incluso la impugnación del establecimiento de una zona de seguridad. De igual forma, surge el interrogante de la consideración de estas zonas por parte de Estados no signatarios del acuerdo internacional, e incluso, de su establecimiento por parte de dichos países (Byers & Boley, 2023).

Otros problemas relacionados con las zonas de seguridad son la falta de temporalidad real, la responsabilidad que generan, la seguridad nacional y las consecuencias para aquellos estados no presentes hoy en día en el medio. La realidad de las mega-constelaciones es que, a pesar de que las operaciones espaciales perezcan y no sean eternas por naturaleza, pueden estar en órbita durante décadas, siendo repuestos los satélites fuera de servicio y consecuentemente difuminando cualquier distinción entre uso temporal y ocupación de hecho. Esto se intensifica en los casos en los que los satélites convertidos en residuos espaciales no sean movilizados al final de su vida útil (Byers & Boley, 2023).

En cuanto a la seguridad, en un primer momento parece que estas zonas implican una limitación de la responsabilidad de los Estados que las establecen. Si las zonas se consideran necesarias para la protección de su actividad espacial, el resto de los estados presentes en el espacio deben actuar con debida consideración (artículo IX, OST, 1972) y, por ende, comunicar al estado impositor su intención de atravesar la zona.

Esto provoca que el estado que ha establecido la zona de seguridad tendrá un efectivo poder de decisión sobre los trayectos de otros estados que transcurran por su zona, pudiendo limitar el acceso a y a través de ella. La falta de notificación podría llegar a considerarse una falta de debido cuidado (Kelson, 1972; Pisillo-Mazzeschi, 1992), lo que impone la obligación de tomar medidas razonablemente preventivas para demostrar debida consideración por los demás¹³.

La expectativa de proporción de información sobre actividades espaciales o consulta, minaría asimismo la soberanía de los Estados con satélites de travesía, que podrían ver interferidas sus propias operaciones, limitando sus posibilidades de realizar misiones científicas y tecnológicas. De esta manera, no existe una práctica estatal que demuestre un consenso claro sobre el deber de consulta, como lo demuestran las pruebas ASAT llevadas a cabo por China (Newsome, 2017).

Por consiguiente, atravesar una zona de seguridad sin previo aviso o consulta no se puede considerar ilícito ni negligente y, por ello, la mera ausencia del elemento de negligencia conlleva una posible ausencia de responsabilidad en virtud del artículo III de Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales, en caso de colisión entre satélites dentro de la zona de seguridad. En otras palabras, las zonas de seguridad tendrían efectos simplemente declarativos, anulando en gran medida su propósito.

3. Astronomía

Las mega-constelaciones se encuentran en el origen de diversas situaciones que generan un impacto negativo en la investigación astronómica pública y privada (Massey, Lucatello, & Benvenuti, 2020). Entre otras, la contaminación lumínica, el uso de radiofrecuencias que puedan interferir con instrumentos utilizados en este ámbito y la obstrucción en la observación del espacio desde la Tierra.

El incremento de la contaminación lumínica es un efecto directo de los diseños de los satélites que conforman estos conjuntos en la órbita LEO, fabricados de manera que reflejan la luz del

¹³ Esta obligación se considera una costumbre internacional (Argentina c. Uruguay, 2010 C.I.J. Informe de sentencia 14 (20 de abril)) y un principio general del derecho internacional público (Koskenniemi, 2006).

sol a la superficie terrestre debido al empleo de metales en su estructura externa. Como consecuencia, dicho reflejo es altamente susceptible de dirigirse hacia la atmósfera, reduciendo la oscuridad y creando una polución del cielo nocturno (Bernhard, Deschamps, & Zaccour, 2023). Este exceso de luz interfiere en la observación de los objetos celestes, especialmente aquellos más distantes, como se observó en el comunicado realizado por la Unión Astronómica Internacional en 2019. En esta declaración, se expresan preocupaciones por los perjuicios que pudieran provocar en las capacidades de los grandes telescopios (Organización Astronómica Internacional, 2019), reduciendo las posibilidades de avance científico en este ámbito. Prueba de esta realidad es la distorsión de imágenes de las Nubes de Magallanes tomadas por un observatorio localizado en Chile debido a la presencia de brillantes satélites pertenecientes a *Starlink* que modificaron la exposición y dejaron trazas visibles en la fotografía (O'Callaghan, 2019) conocidos como 'rayos fantasmas' (Sokol, 2021), provocando una pérdida de información¹⁴.

Los satélites también pueden obstruir físicamente el campo de visión de los telescopios y otras herramientas análogas (Walker, y otros, 2020). El gran número de lanzamientos de objetos espaciales que orbitan la Tierra sigue una tendencia de saturación del cielo, incrementando la dificultad de la observación de elementos cósmicos sin que los satélites obstruyan la línea de visión. La situación resulta especialmente problemática para aquellos telescopios diseñados específicamente para estudiar una zona celeste determinada o aquellos relacionados con la astronomía de dominio temporal rápido (Byers & Boley, 2023), utilizada en el estudio de eventos transitorios en el universo (Feigelson, Babu, & Caceres, 2018).

Al mismo tiempo, los satélites utilizan ondas de radio, por lo que interfieren con las señales utilizadas por los astrónomos en la radioastronomía¹⁵. En la actualidad, se encuentran en operación numerosos telescopios terrestres distribuidos por el mundo cuyas observaciones se encuentran limitadas a las bandas de frecuencia permitidas por las características de transparencia atmosférica y las condiciones climáticas imperantes en la región en que se

¹⁴ Ver Anexo 1.

¹⁵ La radioastronomía es un campo de la astronomía dedicada al estudio de los cuerpos celestes a través de la detección y análisis de las ondas de radio emitidas por estos (Bianchi, 2004).

ubican. Adicionalmente, las redes de comunicación tanto espaciales como terrestres pueden generar interferencias de radiofrecuencia en las estaciones de radioastronomía terrestres.

Por lo tanto, a fin de detectar determinadas señales cósmicas de baja intensidad, estas herramientas requieren de un entorno libre de interferencias de radiofrecuencia en la mayor medida de lo posible. Para lograr este objetivo, se establecen habitualmente las denominadas Zonas de Silencio Radioeléctrico (Van Driel, 2009 y Umar et al, 2014). Otros métodos alternativos de mitigación de distorsiones de radiofrecuencia incluyen el enmascaramiento (Dong, Jeffs, & Fisher, 2005), o la eliminación de interferencias mediante antenas auxiliares (Jeffs, Li, & Warnick, 2005), con el objeto de proteger la observación radioastronómica.

La principal fuente de las frecuencias interferentes en la comunicación es la transmisión procedente de la comunicación intersatelital y de estos objetos con las estaciones espaciales. Las ondas utilizadas son susceptibles de estar en el mismo rango que aquellas emitidas por elementos celestes, alterando la investigación científica. La interferencia de las ondas dificulta la obtención de informaciones precisas, obstaculizando el avance en este campo (National Radio Astronomy Observatory, s.f.).

VI. RECOMENDACIONES REGULATORIAS

La creciente proliferación de mega-constelaciones de satélites en órbita ha generado gran interés y preocupación tanto en la comunidad científica como en la opinión pública. Tras analizar los retos y problemáticas planteadas, es necesario explorar diferentes propuestas y recomendaciones para mitigar sus riesgos e impactos.

1. Normativa vinculante y global

Los desafíos significativos para la comunidad internacional en términos de seguridad, protección ambiental y responsabilidad internacional planteados por las mega-constelaciones precisan de una normativa adecuada. Sin esta, dichos retos podrían poner en riesgo la estabilidad del espacio exterior y el beneficio que aporta a la humanidad.

Como se ha observado a lo largo del presente estudio, la realidad legal que rodea las mega-constelaciones aún no ha logrado adaptarse para crear un entorno suficientemente regulado

ni mitigar los efectos nocivos inherentes. Es por ello por lo que se precisa una normativa clara, vinculante, global y adaptada.

La necesidad de establecer normas claras en el ámbito espacial no puede ser subestimada. Si bien existen algunas convenciones internacionales en vigor que abordan temas específicos relacionados con el espacio ultraterrestre, como el OST, la realidad actual exige una normativa más específica y detallada.

Uno de los principales obstáculos para el desarrollo de esta normativa es la ambigüedad y la falta de definiciones claras de términos fundamentales, como "espacio ultraterrestre" u "objeto espacial". La falta de consenso en torno a estos conceptos básicos dificulta la elaboración de normativa y reglamentos efectivos, y puede conducir a interpretaciones divergentes de acuerdos internacionales y jurisprudencia (Butchard, 2022). Esto, a su vez, puede crear ambigüedades y lagunas jurídicas que permiten a los actores del espacio evadir responsabilidades y tomar decisiones que puedan afectar negativamente la seguridad y sostenibilidad del espacio¹⁶.

Por otro lado, la falta de normas globales vinculantes de forma generalizada es un gran problema en el estado actual del derecho espacial. La gran mayoría de los acuerdos y tratados no son coercitivos, confiando exclusivamente en la buena fe de los sujetos involucrados (Tapio & Soucek, 2019). La falta de regulaciones obligatorias genera una situación en la que el incumplimiento carece de consecuencias tangibles, lo que conduce a que los Estados puedan desatender sus obligaciones si no las perciben como inmediatamente provechosas (Brünner & Königsberger, 2012).

No obstante, el marco normativo vigente vinculante resultaría ineficaz sin el respaldo de una amplia mayoría de Estados. La diversidad y amplitud de actores involucrados en operaciones desarrolladas en este medio, unido al impacto susceptible de generar cada uno, conlleva que un acto inoportuno de un solo sujeto pueda tener graves consecuencias para la humanidad en su conjunto (Buchs, 2021).

¹⁶ A modo de ejemplo, el artículo IX de OST hace referencia al mecanismo de consultas sin precisar un plazo temporal determinado para las consultas ni un mecanismo de resolución de disputas en caso de conflicto.

La implementación de un marco legal global de estas características proporcionaría varios beneficios, incluyendo la mejora de la previsibilidad y estabilidad en las operaciones espaciales. Un marco legal vinculante impulsaría a figuras estatales y no estatales a asumir la responsabilidad por sus acciones en el espacio, fomentando una mayor la cooperación entre los implicados para abordar desafíos compartidos y procurando asegurar el entorno espacial a largo plazo.

Aunque el OST ha sido un éxito en términos de promover la cooperación internacional y la exploración espacial pacífica, todavía se necesita un esfuerzo conjunto y coordinado de los sujetos involucrados para actualizar las regulaciones internacionales vinculantes y adaptarlas a los retos actuales (Keefe, 1995).

Por último, esta regulación debe transicionar de forma que se mantenga relevante y aplicable a los nuevos sucesos. El contexto, condiciones y desafíos vigentes en la actualidad difieren de forma radical de la realidad en la que se firmaron tratados como el OST. En este sentido, resulta imperativo que haya una evolución regulatoria de forma que las lagunas legales no sean explotadas de manera inapropiada y se pueda proporcionar una respuesta más eficiente y adecuada a los hitos y retos actuales de las operaciones espaciales (Blount, 2011), como son las mega-constelaciones.

La transición hacia un sistema con normativa espacial clara, vinculante, global y adaptada es esencial en el contexto del incremento de actividades operativas en el espacio ultraterrestre. Su inexistencia es susceptible de desembocar en situaciones en las que los derechos e intereses legítimos se vean vulnerados impunemente, obstaculizando la cooperación internacional, amenazando la sostenibilidad del medio y de la propia vida humana, y generando una inseguridad jurídica en este campo (UN Doc A/AC.105/1243, 2021).

2. Establecimiento de requisitos mínimos en el diseño de los componentes de las mega-constelaciones

El diseño de las mega-constelaciones tiene la potencialidad de reducir en gran medida los impactos sobre la astronomía y los desechos espaciales.

Para mermar los impactos que la contaminación lumínica impone a la observación del espacio ultraterrestre, la empresa SpaceX¹⁷ cubrió con una pintura oscura antirreflectante los 60 satélites lanzados en su tercera fase operativa, obteniendo resultados contradictorios. Por un lado, la aplicación de dicha capa disminuye la reflectividad general de los satélites en cuestión a la mitad; pero por otro, el revestimiento negro aumenta la temperatura superficial de los mismos, lo cual afecta negativamente a las observaciones en el rango infrarrojo intermedio. Por lo tanto, se genera un impacto desfavorable en un área de la astronomía en beneficio de otra (James, 2021).

Posteriormente el operador de esta misma constelación ha empleado una técnica adicional consistente en el uso de viseras en algunos de los satélites con el fin de disminuir el nivel de reflejo observable desde la superficie terrestre a través de los telescopios. A pesar de que esta medida resulta más costosa, se ha llegado a la conclusión de que ofrece resultados superiores en términos de eficacia¹⁸ (Horiuchi et al., 2023). La implementación generalizada de cualquiera de estos métodos en los satélites integrantes de las mega-constelaciones tendría como efecto la reducción de la interferencia lumínica en la actividad astronómica (James, 2021).

Por otro lado, la modificación del diseño de las mega-constelaciones y sus satélites también puede reducir la producción de desechos espaciales. La consideración en su ensamblaje de la disposición final de los objetos lanzados al final de su vida útil permite una gestión más efectiva de los escenarios de fin de vida, reduciendo la potencial creación de residuos (Bartels, 2019).

Una estrategia para alcanzar esta meta es la implementación de prácticas de diseño de naves espaciales estandarizadas que prioricen lo anterior a través del uso de piezas y componentes fáciles de remover, así como la implementación de sistemas de propulsión que permitan una trayectoria controlada de descenso hacia la Tierra. El uso de incentivos económicos (Keefe, 1995) o de otra índole, como puede ser el condicionamiento al cumplimiento de dichos requisitos para la obtención de la licencia correspondiente, será clave para alcanzar estos

¹⁷ SpaceX es la empresa responsable de la mega-constelación Starlink.

¹⁸ Ver Anexo 2.

objetivos de manera que se vean favorecidas las entidades que desarrollen sus operaciones acatando una serie de requisitos mínimos comunes de diseño y producción establecidos por las autoridades nacionales, regionales o internacionales competentes.

3. Ampliación de las competencias de la UIT

La UIT, encargada de coordinar y regular las telecomunicaciones internacionales, ostenta una posición única para potencialmente abordar el impacto de las mega-constelaciones en las operaciones espaciales y la astronomía (UIT, 2023). Como agencia especializada de las Naciones Unidas, la UIT tiene la autoridad para coordinarse con otras agencias de la ONU y colaborar con gobiernos y actores de la industria en todo el mundo. Su estatus otorga a la entidad una relevante influencia a nivel mundial para promover una cooperación y coordinación en la lucha contra los efectos negativos causados por los conglomerados de satélites, permitiendo una implementación efectiva y ampliamente adoptada.

Por estas razones podría utilizarse esta agencia como responsable de la regulación del lanzamiento, operatividad y desorbitación de mega-constelaciones a través de distintas vías. En otras palabras, la UIT podría alentar a los Estados a implementar regulaciones más estrictas, centrándose en la sostenibilidad ambiental y otros factores relacionados (Rueda Carazo, 2019).

Para ayudar a gestionar estos conjuntos de satélites, la UIT podría establecer requisitos para el lanzamiento de satélites que promuevan un comportamiento responsable entre los operadores de satélites. Estas directrices podrían incluir pautas para la ubicación de satélites y su altitud orbital, así como reglas para la disposición de objetos espaciales en la órbita LEO al final de su vida útil. Al implementar estos requisitos, la UIT promovería una reducción en el riesgo de colisiones y otros incidentes en el espacio, que puedan tener consecuencias económicas y ambientales significativas.

En aras de fomentar la sostenibilidad en las actividades espaciales, podría emitir un requerimiento a los Estados para que exijan a los operadores demostrar que sus lanzamientos se adhieren a prácticas sostenibles, tales como la minimización de la interferencia con otras actividades espaciales y astronómicas, y la reducción de la basura espacial. En caso de

incumplimiento, los actores operadores podrían perder o sufrir reducciones de sus derechos de espectro en consecuencia. Esta medida de incentivación sería efectiva al motivar a los operadores a priorizar la sostenibilidad en sus operaciones de lanzamiento.

En ambos casos, se podrían llevar a cabo auditorías y revisiones periódicas para garantizar el cumplimiento continuo de los operadores con los requisitos establecidos.

No obstante, a pesar de no cerrarse a lo expuesto anteriormente, la UIT no ha incluido dentro de la agenda para sus futuras conferencias ningún elemento con este espíritu ni ha expresado intenciones de ampliar su mandato en esta dirección en un plazo concreto (Rueda Carazo, 2019)¹⁹.

VII. CONCLUSIONES

A través de la realización de este estudio, se ha llevado a cabo un análisis sobre la adecuación del marco regulatorio actual que rodea las mega-constelaciones. En concreto, se ha explorado los principales problemas relacionados con estos sistemas satelitales, evaluando la eficacia del marco jurídico existente para hacerlos frente.

El objetivo principal del presente trabajo ha sido determinar si el sistema jurídico internacional actual presenta limitaciones y, de ser así, identificar las áreas específicas que necesitan una mayor consolidación legal. En base al análisis desarrollado, se pueden extraer tres conclusiones principales:

Primera. - Actualmente no existe un marco regulatorio suficiente para tratar las mega-constelaciones y los problemas y desafíos inherentes a ellas.

La realidad normativa aplicable a las mega-constelaciones y al derecho espacial en su conjunto precisa de un proceso de adaptación a la nueva realidad y proteger de forma efectiva los intereses de los sujetos implicados o afectados por las operaciones realizadas en este medio. Desde una mayor concreción de términos básicos como “espacio ultraterrestre” a la

¹⁹ Se puede encontrar el orden del día de la CMR-23 en <https://www.itu.int/wrc-23/es/orden-del-dia-de-la-cmr-23/>.

gestión del tráfico espacial, es imprescindible el desarrollo de nuevas normativas que permitan una regulación efectiva y coordinada a nivel internacional.

En este sentido, la elaboración de acuerdos espaciales claros, vinculantes, globales y adaptados a la realidad, ya sea en el seno de las Naciones Unidas o en otros foros internacionales, es crucial para garantizar una regulación coherente y coordinada en todo el mundo y subsanar las lagunas legales vigentes. La Unión Internacional de Telecomunicaciones es una entidad susceptible de, en un futuro, convertirse en reguladora de las mega-constelaciones y sus operaciones.

Segunda. – Existe un vacío en la regulación del tráfico espacial, susceptible de ser explotado

El uso cada vez mayor del espacio, tanto por actores estatales como no estatales, ha llevado a la necesidad de establecer regulaciones para el tráfico espacial. No obstante, esto ha sido dificultado por la evolución constante de la tecnología espacial susceptible de volver obsoletas las regulaciones existentes y la fragmentación y distribución de la regulación del tráfico espacial entre diferentes actores internacionales.

La cada vez más frecuente presencia de objetos en el espacio ultraterrestre conlleva una creciente urgencia en el establecimiento de mecanismos de monitorización y gestión. En caso contrario, continuará aumentando el riesgo de colisiones en las operaciones satelitales, generando pérdidas económicas y residuos espaciales que, a su vez, pondrán en peligro la seguridad de las misiones actuales y futuras, así como la integridad de los habitantes y las infraestructuras sobre la superficie terrestre.

Asimismo, la continuidad de esta situación puede perpetuar las desigualdades existentes en la utilización del espacio y limitar las oportunidades de desarrollo y crecimiento económico de la industria espacial. Mientras los actores dominantes mantengan su posición de poder, será más complicada la intervención de nuevos operadores, limitando así la competencia en este sector y aumentando la brecha entre los Estados presentes en el medio ultraterrestres y aquellos sin acceso al mismo.

Tercera. – Resulta fundamental velar por el uso sostenible del medio ultraterrestre.

Se espera que la tendencia de despliegue de mega-constelaciones en el futuro cercano continúe en ascenso, lo cual ha generado cierta preocupación sobre el impacto ambiental y la sostenibilidad del uso del espacio ultraterrestre. La realidad regulatoria vigente no consigue asegurar la viabilidad del medio ultraterrestre, la seguridad en su uso ni la protección de otras ciencias que precisan de ello.

El uso de la zona LEO no es infinito y, por lo tanto, la presencia de un número elevado de redes satelitales podría afectar la capacidad de las generaciones futuras para acceder y utilizar el espacio de manera sostenible. Entre las preocupaciones ambientales más importantes se encuentran la generación de residuos espaciales (sobre todo aquellos de larga vida), el aumento del riesgo de colisiones, la contaminación lumínica y el impacto en la obstaculización de la observación astronómica.

Todo ello plantea un gran reto para minimizar las consecuencias de las mega-constelaciones sobre el entorno y valorar estos potenciales efectos desde su concepción y diseño. Lo idóneo sería el uso de materiales no reflectantes y mínimamente contaminantes, aunque el costo de estos materiales es superior por lo que no deberá establecerse como requisito universal preceptivo al aumentar las barreras de acceso espacial a naciones no presentes.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Baker, H. (1989). *Space debris: Legal and Policy Implications*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- Brünner, C., & Soucek, A. (2011). *Outer Space in Society, Politics and Law*. Viena: Springer. Recuperado el 15 de febrero de 2023
- Byers, M., & Boley, A. (2023). *Who Owns Outer Space*. Vancouver: Cambridge University Press. doi:<https://doi.org/10.1017/9781108597135>
- Dolman, E. (2002). *Astropolitik : classical geopolitics in the Space Age*. Londres: Frank Cass Publishers.
- Newsome, T. A. (2017). *The Legality of Safety and Security Zones in Outer Space: A Look to Other Domains and Past Proposals*. Montreal: Mc Gill University.
- OCED. (2019). *The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy*. París: OECD Publishing. doi: <https://doi.org/10.1787/c5996201-en>
- Tronchetti, F. (2013). *Fundamentals of Space Law and Policy*. Nueva York: Springer.

Capítulos de libros

- Azzarelli, T. (2020). Obtaining landing licenses and permission to operate LEO constellations on a global basis. En J. Pelton, & S. Madry, *Handbook of Small Satellites* (págs. 1-27). Cham: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-20707-6_72-1
- Borthomieu, Y. (2014). Satellite Lithium-Ion Batteries. En *Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications* (págs. 311-344). doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59513-3.00014-5>
- Brünner, C., & Königsberger, G. (2012). “Regulatory Impact Assessment - A Tool to Strengthen Soft. En I. M. (eds), *Soft Law in Outer Space: The Function of Non-Binding Norms in International Space Law* (1 ed., págs. 82-103). Viena: Böhlau Verlag. Recuperado el 13 de marzo de 2023
- Koskenniemi, M. (2006). The Function and Scope of the Lex Specialis Rule and the Question of ‘Self-Contained Regimes: An Outline. En M. Koskenniemi, *Fragmentation of International Law: difficulties arising from the diversification and expansion of*

international law (págs. 19-44). Erik Castrén Institute of International Law and Human Rights.

Lacombe, A. K. (2019). Mega-constellations: technical aspects. En A. N. Pecujlic, & M. Tugnoli, *Promoting Productive Cooperation between Space Lawyers and Engineers* (págs. 114–140). Hershey PA: IGI Global.

Pelton, J., & Madry, S. (2019). Retrofitting and Redesigning of Conventional Launch Systems for Small Satellites. En J. Pelton, *Handbook of Small Satellites* (1-20). Cham: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-20707-6_20-1

Rueda Carazo, A. (2019). Mega-Constellations: Legal Aspects. En N. Pecujlic, & M. Tugnoli, *Promoting Productive Cooperation Between Space Lawyers and Engineers* (págs. 141-154). IGI Global.

Wood, L. (2003). Satellite Constellation Networks. En Y. Zhang, *Internetworking and Computing Over Satellite Networks* (págs. 13-34). Boston: Kluwer Academic Publishers. Recuperado el 21 de febrero de 2023

Artículos académicos de revistas científicas

Abashidze, A., Chernykh, I., & Mednikova, M. (2022). Satellite constellations: International legal and technical aspects. *Acta Astronautica*, 196, 176-185. Recuperado el 15 de enero de 2023, de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576522001680?casa_token=GL9mD-qpUfgAAAAA:vrU7MKf8rpkhagjyuxY5KOShoYntweaAjFoBC7uqJwqL2jMN4MGxnM07mghlsrKLLg_brSHk_g

Alshamsi, H., Balleste, R., & Hanlon, M. (2018). As the Grapefruit Turns Sixty, It's Time to Get Serious About Clean Up in Outer Space. *Journal of Air Law and Commerce*, 83(1), 45-66. Recuperado el 16 de febrero de 2023, de <https://scholar.smu.edu/jalc/vol83/i>

Baratto, E. B. (2021). El derecho espacial en el “new space”: Retos y herramientas. *Revista Española de Derecho Aeronáutico y Espacial*, (1), 277-291.

Bernhard, P., Deschamps, M., & Zaccour, G. (2023). Large satellite constellations and space debris: Exploratory analysis of strategic management of the space commons. *European Journal of Operational Research*, 304, 1140–1157. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.04.030>

- Bianchi, V. (2004). Radioastronomía: Una mirada más amplia. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, 1, 61-76. Recuperado el 18 de abril de 2023, de <http://tux.iar.unlp.edu.ar/prensa/2004-relea.pdf>
- Bichsel, C. (2021). When Things Fall from the Sky: Understanding Rocket Stages on the Kazakh Steppe as Imperial Debris. *Society and Space Magazine*. Recuperado el 15 de enero de 2023, de <https://www.societyandspace.org/articles/when-things-fall-from-the-sky-understanding-rocket-stages-on-the-kazakh-steppe-as-imperial-debris>
- Blount, P. J. (enero de 2011). Renovating Space: The Future of International Space Law. *Denver Journal of International Law & Policy*, 40(1), 515-532. Recuperado el 15 de abril de 2023, de <https://digitalcommons.du.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1160&context=djilp>
- Borek, R., Wóznica, J., & Malawaski, M. (2022). The role of eu public diplomacy in affecting international security in the context of the development of the outer space traffic management. *Defence Science Review*, 7, 75-92.
- Byers, M., & Boley, A. (2021). Satellite mega-constellations create risks in Low Earth Orbit, the atmosphere and on Earth. *Scientific Reports*. Recuperado el 30 de enero de 2023, de <https://www.nature.com/articles/s41598-021-89909-7>
- Chatterjee, P. (2014). Legality of anti-Satellites under the space law regime. *Astropolitics*, 12(1), 27-45. Recuperado el 13 de marzo de 2023, de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14777622.2014.891558>
- Christol, C. Q. (1988). Remote sensing and international space law. *Journal of Space Law*, 16, 21-44. Recuperado el 23 de abril de 2023, de <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/jrls116&div=7&id=&page=>
- Cooper, P. (2018). In Russia's Space Graveyard, Locals Scavenge Fallen Spacecraft for Profit. *Discover magazine*, 7.
- Crisp, N., & al., e. (9 de septiembre de 2020). The benefits of very low earth orbit for earth observation missions. *Progress in Aerospace Sciences*, 117, 1-23. Recuperado el 16 de abril de 2023, de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376042120300312?casa_token=OwJxXYWBnJIAAAAAA:XvXllzNH6q1sCxRDXDIDeLMxlaz-qmnB55GZs1lcGTW0SYHfjb6B7GBPbnX9AdxFmYq-l-qOA
- De Groh, K. K., Banks, B. A., Mccarthy, C. E., Rucker, R. N., Roberts, L. M., & Berger, L. A. (2008). MISSE 2 PEACE Polymers Atomic Oxygen Erosion Experiment on the International Space Station. *High Performance Polymers*, 20, 388-409.

- De Man, P. (2013). The Relevance of ITU Regulations for Clarifying the Space Debris Concept and Strengthening Guidelines on the Removal of Satellites at the End of Their Functional Life. *Annals of Air and Space Law*, 38, 203-236.
- Dong, W., Jeffs, B. D., & Fisher, J. R. (2005). Radar interference blanking in radio astronomy using a Kalman tracker. *Radio Science*, 40, 1-13. Recuperado el 17 de febrero de 2023, de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2004RS003130>
- Feigelson, E. D., Babu, G. J., & Caceres, G. A. (2018). Autoregressive Times Series Methods for Time Domain Astronomy. *Frontiers in Physics*, 6, 1-13. doi:<https://doi.org/10.3389/fphy.2018.00080>
- Flores, M. L. (2022). Los desechos espaciales: un desafío pendiente. *Revista Estudios Jurídicos*, 22, 1-17. doi:<https://doi.org/10.17561/rej.n21.7526>
- Gonzalo, J., Colombo, C., & Di Lizia, P. (marzo de 2021). Analytical Framework for Space Debris Collision Avoidance Maneuver Design. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 44(3), 469-487. Recuperado el 18 de febrero de 2023, de <https://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/1.G005398>
- Hobe, S. (2019). *Course on Space Law* [42]. University of Cologne.
- Horiuchi, T., & et al. (2023). Multicolor and multi-spot observations of Starlink's Visorsat. *Publications of the Astronomical Society of Japan*. doi:<https://doi.org/10.1093/pasj/psad021>
- Jakhu, R. S. (1983). The evolution of the ITU's regulatory regime governing space radiocommunication services and the geostationary satellite orbit. *Annals of Air and Space Law*, 3, 381-406.
- Jakhu, R. S. (2010). Iridium-Cosmos collision and its implications for space operations. *Yearbook on Space Policy 2008/2009: Setting New Trends*, 254-275. Recuperado el 11 de abril de 2023, de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-7091-0318-0_10
- Jakhu, R. S., Jasani, B., & McDowell, J. C. (2018). Critical issues related to registration of space objects and transparency of space activities. *Acta Astronautica*, 143, 406-420. Recuperado el 7 de abril de 2023, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576517315138>
- Jeffs, B. D., Li, L., & Warnick, K. F. (febrero de 2005). Auxiliary Antenna-Assisted Interference Mitigation for Radio Astronomy Arrays. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 53(2), 439-451. Recuperado el 23 de febrero de 2023, de https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1381737?casa_token=cQ4BiPE2cuIA

[AAAA:qO3C_4hP38fp5oHf1-Hqj1kduIjzX7LY42iGQp5tOcTh3GqebOtI66xtxKdUOnFSVvKdM79FMw](#)

- Jia, H., Jiang, C., Kuang, L., & Lu, J. (febrero de 2023). An Analytic Approach for Modeling Uplink Performance of Mega Constellations. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70(2), 2258-2267. Recuperado el 17 de marzo de 2023, de https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9918046&casa_token=IHVMIUtUdXgAAAA:O2hVfPc4-i7TDzhWMRNZ_3WXogRdRYqSdYUIIeOKREfgrMecKCsYMxdLA6qBGrKogWnUViOZcQ&tag=1
- Keefe, H. (enero de 1995). Making the Final Frontier Feasible: A Critical Look at the Current Body of Outer Space Law. *Santa Clara High Technology Law Journal*, 11(2), 345-371. Recuperado el 15 de marzo de 2023, de <https://digitalcommons.law.scu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1190&context=chtlj>
- Kelson, J. (1972). State Responsibility for Abnormally Dangerous Activities. *Harvard International Law Journal*.
- Kessler, & Cour-Palais. (1978). Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt. *Journal of Geophysical Research*, 83, 2637-2646. doi:<https://doi.org/10.1029/JA083iA06p02637>
- Kidder, S. Q., & Vonder Haar, T. (2004). A satellite constellation to observe the spectral radiance shell of earth. *13th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography*. 20-23. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de https://www.researchgate.net/publication/267245913_A_Satellite_Constellation_to_Observe_the_Spectral_Radiance_Shell_of_Earth
- Larsen, P. (2018). Solving the Space Debris Crisis. *Journal of Air Law and*, 83(3), 475-520. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de <https://scholar.smu.edu/jalc/vol83/iss3/2>
- Mallowan, L., Rapp, L., & Topka, M. (2021). Reinventing treaty compliant “safety zones” in the context of space sustainability. *Journal of Space Safety Engineering*, 8, 155-166. Recuperado el 8 de marzo de 2023, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468896721000379>
- Marty, J.-Y., Bonnal, C., Faucher, P., & Francillout, L. (2023). Space traffic management as a necessity for future orbital operations a French perspective. *Acta Astronautica*, 278-282. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.09.051>
- Massey, R., Lucatello, S., & Benvenuti, P. (6 de noviembre de 2020). The challenge of satellite megaconstellations. *Nature astronomy*, 4, 1022-1023. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de [5https://www.nature.com/articles/s41550-020-01224-9](https://www.nature.com/articles/s41550-020-01224-9)

- Migaud, M. R., Greer, R. A., & Bullock, J. B. (2021). Developing an Adaptive Space Governance Framework. *Space Policy*, 55, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2020.101400>.
- Migaud, M. R. (27 de mayo de 2020). Protecting Earth's Orbital Environment: Policy Tools for Combating Space Debris. *Space Policy*, 52, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2020.101361>
- Oltrogge, D., & Alfano, S. (2016). Collision risk in low earth orbit. *International Astronautical Congress*, 23, pág. 265. Guadalajara, México.
- Pisillo-Mazzeschi, R. (1992). Due Diligence Rule and the Nature of International Responsibility of States. *German YB Int'l L.*, 35, 9.
- Reiland, N., Rosegren, A. J., Malhotra, R., & Bombardelli, C. (2021). Assessing and minimizing collisions in satellite mega-constellations. *Advances in Space Research*, 67, 3755–3774.
- Sokol, J. (2021). The fault in our stars. *Science*, 142-147. Recuperado el 1 de abril de 2023, de <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.acx9260>
- Swinerd, G., Lewis, H., Williams, N., & Martin, C. (febrero de 2004). Self-induced collision hazard in high and moderate inclination satellite constellations. *Acta Astronautica*, 54(3), 191-201. doi:[https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(02\)00290-4](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(02)00290-4)
- Tapio, J., & Soucek, A. (2019). National Implementation of Non-Legally Binding Instruments: Managing Uncertainty in Space Law? *Air & Space Law*, 44(6), 565-582. Recuperado el 16 de marzo de 2023, de <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/325236>
- Umar, R., Abidin, Z. Z., Ibrahim, Z. A., Rosli, Z., & Noorazlan, N. (2014). Selection of radio astronomical observation sites and its dependence on human generated RFI. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 142, 241-248. doi:10.1088/1674-4527/14/2/012
- Van Driel, W. (2009). Radio quiet, please! – protecting radio astronomy from interference. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 5(S260), 457-464. doi:10.1017/S1743921311002675
- Vidmar, M. (2019). On The Practices Of Risk Re-Normalisation: 'Knowing'the Known Unknowns In Public Discourse On Outer Space Exploration. *Teoridja in Praksa*, 56(3), 814-835. Recuperado el 29 de enero de 2023, de https://www.researchgate.net/profile/Matjaz-Vidmar/publication/338991622_On_the_Practices_of_Risk_Re-normalisation_Knowing_the_known_unknowns_in_the_public_discourse_on_Outer_Space_exploration/links/5e37e8d492851c7f7f17c9fc/On-the-Practices-of-Risk-Re-nor

Walker, C., Hall, J., Allen, L., Green, R., Seitzer, P., Tyson, T., & ... y Yoachim, P. (2020). Impact of satellite constellations on optical astronomy and recommendations toward mitigations. (C. Walker, & J. Hall, Edits.) *Bulletin of the American Astronomical Society*, 52(2), 1-22. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de <https://assets.pubpub.org/3ztz312r/51600090828044.pdf>

de Weck, O. L., & Chang, D. D. (2002). Architecture Trade Methodology for LEO Personal Communication Systems. *20th International Communications Satellite Systems Conference*, (págs. 1-11). Montreal, Canadá. Recuperado el 18 de marzo de 2023.

Weeden, B. (10 de noviembre de 2010). Iridium-Cosmos collision fact sheet. *Space World Foundation*.

Normativa y documentación internacional

Acuerdo que debe regir las actividades de los Estados en la Luna y otros cuerpos celestes, 10 de octubre de 1967.

Asamblea General de Naciones Unidas, *Nota verbal de fecha 3 de diciembre de 2021 dirigida al Secretario General por la Misión Permanente de China ante las Naciones Unidas*, 6 de diciembre 2021, A/AC.105/1262, disponible en [recuperado el 15 de marzo de 2023].

Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, Informe de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos sobre su 60º período de sesiones, celebrado en Viena del 31 de mayo al 11 de junio de 2021, (24 de junio de 2021) NU Doc A/AC.105/1243.

Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, 1992.

Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, 1 de julio de 1983.

Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre, 12 de noviembre de 1974.

Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales, 29 de marzo de 1972.

Directrices para la reducción de desechos espaciales de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos

Naciones Unidas: Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre e con Fines Pacíficos. (2021). *Información proporcionada de conformidad con 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*. Viena. Obtenido de https://www.unoosa.org/oosa/en/oosadoc/data/documents/2021/aac.105/aac.105126_2_0.html

Organización Astronómica Internacional. (3 de junio de 2019). *Declaración de la IAU sobre constelaciones de satélites*. Obtenido de Organización Astronómica Internacional: <https://www.iau.org/news/announcements/detail/ann19035/>

Resolución 41/65 aprobada por la Asamblea General 3 de diciembre de 1986 sobre los “Principios relativos a la teleobservación de la Tierra desde el espacio”.

Resolución 59/115 aprobada por la Asamblea General el 10 de diciembre de 2004 sobre la “Aplicación del concepto de Estado de lanzamiento”.

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, 4 de febrero de 1969.

Jurisprudencia

Plantas de Celulosa en el Río Uruguay (Argentina v Uruguay), 2010 C.I.J. Informe de Sentencia. 14 (20 de abril).

Informes

Buchs, R. (2021). *Intensifying space activity calls for increased scrutiny of risks*. École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausanne: EPFL International Risk Governance Center. doi:<https://doi.org/10.5075/epfl-irgc-284971>

Butchard, P. (2022). *International Regulation of Space*. House of Commons Library. Recuperado el 13 de marzo de 2023, de <https://commonslibrary.parliament.uk/research-briefings/cbp-9432/>

McKinsey & Company. (2020). *Large leo satellite constellations: Will it be different this time?* Recuperado el 22 de marzo de 2023, de

<https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/large-leo-satellite-constellations-will-it-be-different-this-time>

NASA. (2009). Fengyun-1C Debris: Two Years Later. *Orbital Debris Q. News*, 13(2).
Obtenido de <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv13i1.pdf>

Otros recursos web

Agencia Espacial Canadiense. (25 de octubre de 2020). *Satellites serving Earth*. Recuperado el 17 de abril de 2023, de Canada.ca: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/everyday-lives/>

Agencia Espacial Canadiense. (8 de febrero de 2018). *10 ways that satellites helped you today*. Recuperado el 23 de marzo de 2023, de Canada.ca: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/everyday-lives/10-ways-that-satellites-helped.asp>

Agencia Espacial Europea. (12 de octubre de 2020). *The current state of space debris*. Recuperado el 17 de abril de 2023, de https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/The_current_state_of_space_debris

Agencia Espacial Europea. (3 de marzo de 2020). *Types of orbits*. Recuperado el 17 de abril de 2023, de Geostationary orbit (GEO): https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits#GEO

Bartels, M. (24 de enero de 2019). *Changing How We Build Satellites Could Do More Than Reduce Space Junk*. Recuperado el 13 de marzo de 2023, de Space.com: <https://www.space.com/43098-satellite-design-engineering-equity-justice.html>

Foust, J. (10 de agosto de 2022). *India Tests Anti-Satellite Weapon*. Recuperado el 3 de abril de 2023, de Space.com: <https://www.space.com/india-tests-anti-satellite-weapon.html>

International Dark-Sky Association. (27 de diciembre de 2019). *Why do “Mega-constellations” matter to the Dark Sky community*. Recuperado el 9 de abril de 2023, de <https://www.darksky.org/why-do-mega-constellations-matter-to-the-dark-sky-community/>

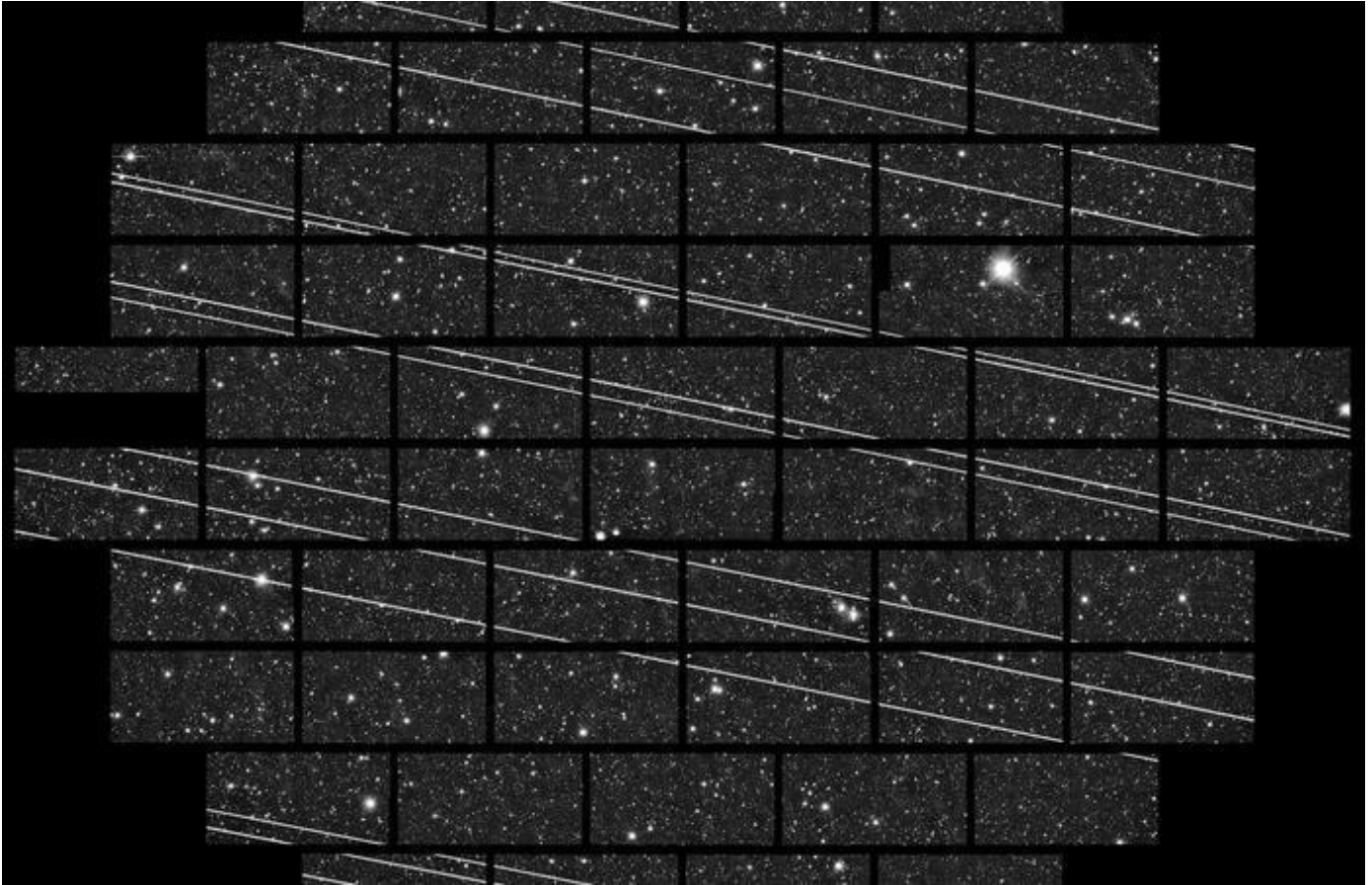
James, C. (13 de enero de 2021). *Dark-coated Starlink satellites are better but not perfect, say astronomers*. Recuperado el 7 de marzo de 2023, de physicsworld: <https://physicsworld.com/a/dark-coated-starlink-satellites-are-better-but-not-perfect-say-astronomers/>

- Krag, K. (12 de diciembre de 2020). *European Space Agency*. Recuperado el 3 de abril de 2023, de The current state of space debris: https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/The_current_state_of_space_debris
- Marks, P. (julio/agosto de 2021). *Dodging debris*. Recuperado el 17 de abril de 2023, de Aerospace America: <https://aerospaceamerica.aiaa.org/features/dodging-debris/>
- Naciones Unidas. (1 de diciembre de 2022). *UN Office for outer space affairs and United Kingdom launch new partnership on registering space objects*. Recuperado el 5 de febrero de 2023, de United Nations: <https://unis.unvienna.org/unis/en/pressrels/2022/unisos574.html>
- NASA. (27 de septiembre de 2011). *UARS Re-Entry Overview*. Recuperado el 17 de abril de 2023, de NASA: https://www.nasa.gov/mission_pages/uars/
- NASA. (13 de mayo de 2021). *Brief History of Rockets*. Recuperado el 26 de abril de 2023, de NASA: https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/TRC/Rockets/history_of_rockets.html
- NASA Orbital Debris Program Office. (2022). International Space Station Maneuvers to Avoid Another Russian ASAT Fragment. *Orbital Debris Quarterly News*, 26(4), 1-2. Recuperado el 3 de abril de 2023, de <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv26i4.pdf>
- National Radio Astronomy Observatory. (s.f.). *Preservando la Herencia Común de toda la Humanidad*. Recuperado el 25 de abril de 2023, de National Radio Astronomy Observatory: <http://www.aoc.nrao.edu/epo/puente/rfi/rfi-s.shtml>
- O'Callaghan, J. (18 de noviembre de 2019). Astronomers Despair As SpaceX Starlink Train Ruins Observation Of Nearby Galaxies. *Forbes*. Recuperado el 3 de abril de 2023, de <https://www.forbes.com/sites/jonathanoconnor/2019/11/18/this-is-not-cool-astronomers-despair-as-spacex-starlink-train-ruins-observation-of-nearby-galaxies/>
- Tellis, A. J. (15 de abril de 2019). *India's ASAT Test: An Incomplete Success*. Recuperado el 3 de abril de 2023, de Carnegie Endowment for International Peace: <https://carnegieendowment.org/2019/04/15/india-s-asat-test-incomplete-success-pub-78884>
- UIT. (2023). *Sobre la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)*. Recuperado el 12 de febrero de 2023, de UIT: <https://www.itu.int/es/about/Pages/default.aspx>
- Weeden, B. (23 de febrero de 2019). *Billiards In Space*. Recuperado el 3 de abril de 2023, de The Space Review: <https://www.thespacereview.com/article/1314/1>

- Zander, F. (27 de septiembre de 2022). What's the risk of being hit by falling space debris? *BBC*. Recuperado el 7 de abril de 2023, de <https://www.bbc.com/future/article/20220912-what-happens-to-space-debris-when-it-returns-to-earth#:~:text=So%20how%20dangerous%20is%20space,from%20a%20Delta%20II%20rocket>
- Zissis, C. (22 de febrero de 2007). *China's Anti-Satellite Test*. Recuperado el 3 de abril de 2023, de Council on Foreign Relations: <https://www.cfr.org/backgrounders/chinas-anti-satellite-test>

IX. ANEXOS

Anexo 1: Imagen del telescopio Blanco del Observatorio Interamericano Cerro Tololo en Chile interrumpida por el tránsito de satélites de la empresa Starlink.



Anexo 2: Comparación entre Visorsat y estelas de STRALINK-1113

Ejemplos de recuentos de secciones medias a nivel de píxel de (a) Visorsat y (b) estelas STARLINK-1113 captadas por las bandas de paso g' (líneas continuas), RC (líneas discontinuas) e IC (líneas punteadas) del Telescopio Murikabushi/MITSuME. Las líneas discontinuas presentan los recuentos ADU de la región del cielo próxima a las estelas.

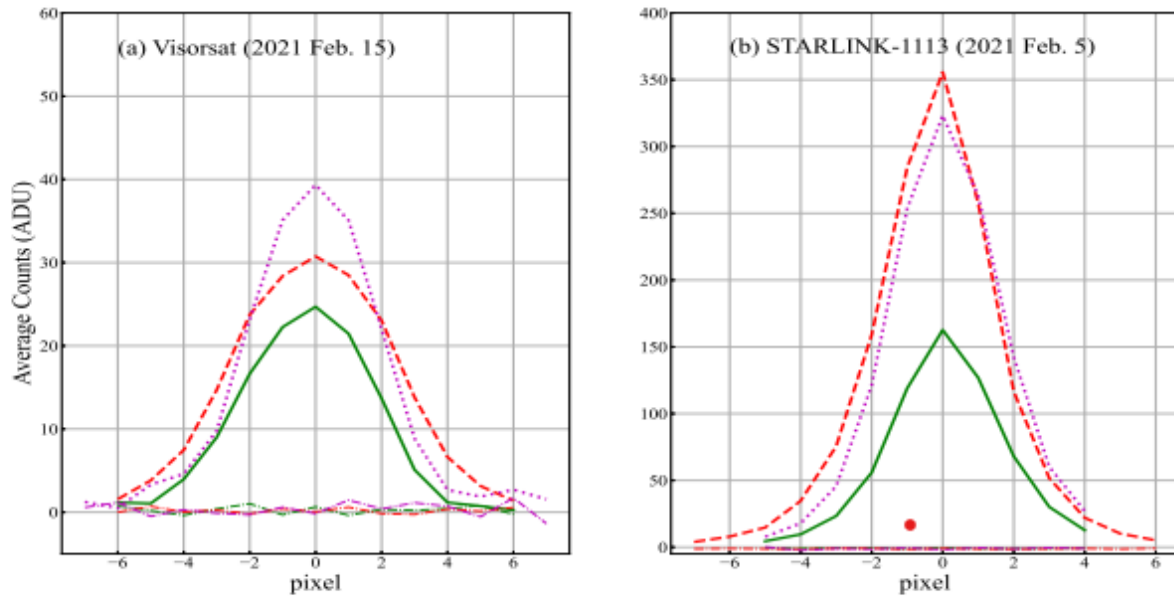


Fig. 3. Examples of pixel-wide average section counts of (a) Visorsat and (b) STARLINK-1113 trails captured by the Murikabushi telescope/MITSuME g' (solid lines), R_C (dashed lines), and I_C (dotted lines) passbands. Dashed-dotted lines present ADU counts of the sky region in the vicinity of the trails.

(Horiuchi & et al., 2023)