



**Desechos espaciales: un dilema del derecho internacional y la sostenibilidad espacial**

**Autor**

**Daniela Ileany Chapetón Ríos**

**Jennifer Andrea Ochoa Prieto**

**Trabajo presentado como requisito para optar por el  
título de Magíster en Derecho y Gestión Ambiental**

**Tutor**

**Ana Lucía Maya Aguirre**

**Facultad de Jurisprudencia**

**Maestría en Derecho y Gestión Ambiental**

**Universidad del Rosario**

**Bogotá - Colombia**

**2023**

---

# Desechos espaciales: un dilema del derecho internacional y la sostenibilidad espacial

## Space Debris: a dilemma of international law and space sustainability

Daniela Ileany Chapetón Ríos<sup>1</sup>  
Jennifer Andrea Ochoa Prieto<sup>2</sup>

*Facultad de Jurisprudencia. Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.*

---

### Resumen

Este artículo presenta una revisión de literatura de la inclusión de los desechos espaciales en el derecho internacional ambiental y los retos que estos desechos representan para la sostenibilidad espacial. Por lo anterior, el artículo está dividido en tres partes: En primer lugar, se presenta una conceptualización de los conceptos de desechos y sostenibilidad espaciales; en segundo lugar, se realiza una aproximación a los desafíos ambientales, económicos y sociales que enfrenta a mediano y largo plazo la sostenibilidad espacio-tierra como consecuencia del crecimiento exponencial de los desechos espaciales, y, finalmente, se describen los vacíos que se presentan en el derecho internacional ambiental en materia de sostenibilidad y gestión de residuos espaciales.

**Palabras Clave:** Desechos espaciales, derecho internacional ambiental, sostenibilidad espacial, impacto ambiental espacial.

### Abstract

This article presents a literature review of the incorporation of space debris in international environmental law and the challenges that space debris represents for space sustainability. Therefore, the article is divided into three parts: First, a conceptualization of the concepts of waste and spatial sustainability; second, an approximation of the environmental, economic, and social challenges facing space-earth sustainability in the medium and long term because of the exponential growth of space debris, and finally, the gaps that arise in international environmental law in terms of sustainability and space waste management.

**Keywords:** Space debris, international environmental law, spatial sustainability, space environmental impact.

---

<sup>1</sup> Internacionalista de la Universidad del Rosario. Especialista en Derecho Ambiental de la Universidad del Rosario.  
Email: [Daniela.chapeton@urosario.edu.co](mailto:Daniela.chapeton@urosario.edu.co).

<sup>2</sup> Ingeniera Ambiental de la Universidad Santo Tomás. Especialista en Derecho Ambiental de la Universidad del Rosario.  
Email: [Jennifer.ochoa@urosario.edu.co](mailto:Jennifer.ochoa@urosario.edu.co).

## INTRODUCCIÓN

Este artículo de revisión aborda la problemática asociada a la falta de mecanismos de gestión en el derecho internacional respecto a los desechos espaciales generados en el espacio ultraterrestre. Lo anterior, con el objetivo de revisar si la generación de dichos residuos espaciales puede considerarse como una amenaza a la sostenibilidad espacio-tierra en las dimensiones ambientales, económicas y sociales que se traen a colación en este artículo. Por lo tanto, la identificación de los desafíos de esta problemática en el marco del derecho internacional se constituyen un aporte al desarrollo del concepto de sostenibilidad del planeta Tierra y el espacio ultraterrestre.

Para ello, en la primera parte del artículo se realiza una conceptualización de los desechos y sostenibilidad espaciales; posteriormente, se realiza una aproximación a los desafíos ambientales, económicos y sociales que enfrenta a mediano y largo plazo la sostenibilidad espacio-tierra como consecuencia del crecimiento exponencial de los desechos espaciales y, finalmente, se describen los vacíos que se presentan en el derecho internacional ambiental en materia de sostenibilidad y gestión de residuos espaciales.

### 1. ¿DÓNDE INICIA EL PROBLEMA?

En este apartado del artículo se presenta la definición de desecho y sostenibilidad espacial. Para poder llegar a estos conceptos es necesario abordar primero el concepto de objeto espacial. Para ello, en la primera parte se expone que se entiende por objeto espacial. Luego, se explica la evolución del concepto de desecho espacial a nivel internacional. Finalmente, se aborda el concepto de sostenibilidad desde una dimensión ambiental, económica y social.

#### 1.1. OBJETO ESPACIAL

Los tratados internacionales aplicables al derecho del espacio ultraterrestre hacen referencia a “objetos espaciales”, no obstante, ninguno de ellos da una definición exacta sobre lo que es un objeto espacial, únicamente indican que forman parte de estos tanto las partes de las que se compone como por ejemplo su vehículo propulsor (Jerónimo, 2021; González, 2021).

En la literatura y la doctrina, los objetos espaciales son definidos como bienes muebles registrables que tienen como finalidad cumplir una función en el espacio ultraterrestre (Urrea, 2013) y que según el propósito que cumplan pueden ser públicos o privados o según su recorrido pueden ser orbitales si recorren una órbita alrededor de la tierra, o transespaciales si van de un cuerpo celeste a otro (Jerónimo, 2021).

Según la Agencia Espacial Europea – ESA, (por sus siglas en inglés), los objetos en el entorno espacial se pueden clasificar en dos grandes categorías: los que se remontan a un evento de lanzamiento y cuya naturaleza se puede identificar, y aquellos a los que no se puede categorizar (ESA, 2022). Con base en esta clasificación, se identifica que existen objetos espaciales con una misión y en funcionamiento, y objetos que no tienen un propósito, siendo estos el punto de partida de investigación de este artículo, dado que hacen referencia a los desechos espaciales.

En este sentido, en un primer acercamiento a los tratados internacionales, se evidencia que estos señalan de forma insuficiente y parcial el concepto de objetos espaciales y, como asegura González (2021) el derecho internacional del espacio no proporciona una definición de residuo o desecho espacial, concepto que se abordará a continuación.

## **1.2. UNA AMENAZA CRECIENTE: LOS DESECHOS ESPACIALES**

En esta parte del artículo se define qué son los desechos espaciales desde el ámbito internacional y nacional, en el caso de los países que han abordado este tema, y la literatura.

Bess (1975), Delgado-Martínez y Álvarez-León (2018) y Hutagalung et al. (2020) afirman que el concepto de desechos espaciales surge con el lanzamiento del primer satélite espacial Sputnik1 por parte de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas - URSS en 1957. Luego del lanzamiento de este satélite, en 1961, la NASA reportó, en el Archivo de Coordinación de Datos de Ciencia Espacial – NSSDC (por sus siglas en inglés), el primer registro de desechos espaciales, en donde se reflejó el desprendimiento de las etapas del cohete Ablestar, el cual puso en órbita al satélite Transit 4A (NASA, 2016).

En el año 1999, el Comité de las Naciones Unidas sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos – UNCOPUOS (por sus siglas en inglés) definió los desechos espaciales, como “todos los objetos artificiales, incluidos sus fragmentos y los elementos de esos fragmentos, que están en órbita terrestre o que reingresan a la atmósfera y que no son funcionales” (Martínez, 2012). Dicha definición fue incluida en el 2002 en las Directrices de Reducción de desechos espaciales, un documento no vinculante expedido por UNCOPUOS y aprobado en el año 2007 por Resolución de la Asamblea General (A/RES/62/217).

La definición incluida en las Directrices de Reducción de desechos espaciales se encuentra también en el Código de Conducta Europeo sobre Mitigación de Desechos Espaciales y como resultado, diferentes países con actividad espacial la han adoptado en su derecho interno (González, 2021).

En segundo término, la NASA define a los desechos orbitales como cualquier objeto hecho por el hombre que se encuentran en órbita alrededor de la Tierra y el cual, ya no cumple una función útil o ha finalizado su vida operativa. Dichos desechos incluyen naves espaciales que no funcionan, etapas de vehículos de lanzamiento abandonados, desechos relacionados con misiones y desechos de fragmentación (García, 2021).

En tercer lugar, en la revisión de literatura se encuentra que los desechos espaciales se definen como elementos que orbitan la Tierra y varían en diferentes geometrías y masas, siendo estos un problema fatal para las misiones espaciales actuales y futuras (Shan, 2022; Tomizaki et al., 2021). Así mismo, diferentes autores (Galdámez y Ramón, 2021; Jerónimo, 2021) definen objetos espaciales como elementos que han finalizado su misión y han sido abandonados o son perdidos durante las fases de lanzamiento o colocación en órbita.

Por otro lado, la literatura hace énfasis en “desechos de segunda generación,” que hacen referencia a las pequeñas partículas generadas como consecuencia del impacto entre objetos espaciales (Palazón, 2018), se considera una de las principales causas de la generación de desechos espaciales y establece la siguiente clasificación y causas de generación de los desechos espaciales, conforme a su procedencia (González, 2021):

- Residuos fragmentados: formados por colisiones que pueden tener lugar entre dos objetos espaciales artificiales, entre desechos y objetos espaciales y las ocasionadas entre desechos espaciales (Catalá, 2022); o generados por la explosión de tanques de combustible, explosiones intencionadas o accidentales, el impacto de meteoritos (Simón et al, 2013; (Nazarenko y Usovik, 2022).
- Residuos operacionales: corresponden a la ejecución de actividades espaciales rutinarias que incluyen los desechos que se liberan durante la fase de lanzamiento, así como la fragmentación de los satélites fuera de servicio, las explosiones de los propulsores de los cohetes y sus residuos (Wright, 2007), el mal funcionamiento o deterioro de los satélites, la falta de recuperación al final de su vida útil o al abandono intencional y accidental de equipos y piezas (Simón et al, 2013; Palazón, 2018).
- Residuos microparticulados: gases y partículas que provienen del uso de combustible de los motores de los cohetes, de objetos en órbita y de vehículos tripulados (González, 2021).
- Cargas útiles inactivas: son el resultado de misiones espaciales ya finalizadas, no obstante, los objetos espaciales pueden permanecer y continuar en órbita terrestre posterior a terminar la misión (González, 2021).

Es por esto que Miraux (2022) indica que los desechos espaciales son una gran amenaza para la sostenibilidad a largo plazo de las actividades espaciales, debido a que la cantidad de desechos orbitales aumentará incluso sin lanzamientos o misiones espaciales adicionales, esto significa que la capacidad de carga del “ecosistema” de la órbita terrestre baja LEO – (Low Earth-Orbit), definida como el número máximo de satélites en órbita que se puede sostener a largo plazo, puede haberse sobrepasado.

A la fecha no existe un consenso para la definición de desecho espacial, lo que genera incertidumbre en el establecimiento y aplicación de obligaciones a los Estados con actividad espacial respecto a su control, seguimiento y gestión, en este artículo se identifica que las características de un desecho espacial son las siguientes: 1. Son objetos artificiales que se encuentran en órbita terrestre y no están en funcionamiento, 2. Existe una correlación entre su generación y el aumento de la actividad espacial debido al incremento de objetos espaciales enviados a órbita, 3. Pueden generarse a causa de diferentes situaciones operacionales (lanzamiento, puesta en órbita u otros), accidentales (colisiones, explosiones u otros) o deliberadas o intencionadas (pruebas antisatélite, actividades militares contra espaciales) y 4. Representan una amenaza para la sostenibilidad espacial, concepto que se aborda a continuación.

### **1.3. LA SOSTENIBILIDAD ESPACIAL: UNA PRIORIDAD RECONOCIDA**

Uno de los objetivos del artículo es identificar y discutir los principales desafíos de sostenibilidad para las actividades espaciales presentes y futuras. Con el fin de cumplir ese objetivo se hace necesario conceptualizar qué se entiende por sostenibilidad espacial y establecer su relación directa con la gestión de los desechos espaciales. Para ello, en esta parte del artículo, en primer lugar, se presentan los datos sobre el incremento de los desechos espaciales; luego, se presenta la teoría de Donald Kessler sobre el aumento exponencial de dichos desechos; y finalmente, se explora el concepto de sostenibilidad espacial desde los organismos internacionales y la literatura.

Desde el inicio de la actividad espacial, en la órbita de la Tierra ha habido más desechos espaciales que satélites en operación. En el siglo XXI se ha incrementado el lanzamiento de objetos a dicha órbita y, para el año 2020 ya había más de 30.000 piezas de basura espacial en este entorno (ESA, 2022). Así como ha ocurrido actualmente con la crisis climática, a partir de la década de 1970 los expertos espaciales han estado advirtiendo sobre los peligros de la proliferación descontrolada de desechos y la congestión orbital (Martínez, 2022).

En el año 1978, Donald Kessler postuló una teoría sobre el efecto de la generación de desechos espaciales, a través de colisiones y explosiones en órbita, que podría conducir a un aumento exponencial en la cantidad de objetos artificiales en el espacio (Kessler y Cour-Palais, 1978). Esta teoría, conocida como el Síndrome de Kessler, plantea que, la cantidad de objetos en la órbita de la Tierra puede llegar a ser tan masiva, que estos objetos pueden chocar con los desechos espaciales y generar a su vez más residuos.

Teniendo en cuenta la teoría de Kessler, en este artículo se plantea que el incremento de desechos espaciales, y la incertidumbre del riesgo de su colisión y choque con objetos espaciales en funcionamiento, con objetos fuera de funcionamiento o con otros desechos espaciales, pueden afectar a la sostenibilidad a largo plazo de las actividades espaciales, así como los proyectos comerciales y económicos que se planean a futuro en esta materia. Por tanto, la problemática de la generación y el crecimiento exponencial de desechos espaciales y la intensificación de las actividades espaciales, son una de las principales amenazas para la sostenibilidad espacial, dicho concepto se profundizará en esta parte del artículo. En el año 2018, UNCOPUOS definió la sostenibilidad de las actividades en el espacio ultraterrestre identificando los siguientes elementos: 1. La capacidad de efectuar las actividades espaciales indefinidamente en el futuro, 2. El logro de los objetivos de acceso equitativo a la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, 3. La satisfacción de necesidades de las generaciones presentes y futuras del medio ambiente del espacio ultraterrestre, 4. La preservación de este recurso para las generaciones futuras, manteniendo los fines pacíficos a que hacen referencia los tratados objeto del presente estudio (A/AC.105/L.315).

Así mismo, en el Informe de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Asamblea General de las Naciones Unidas, en su 58° periodo de Sesiones de la Asamblea General de las Naciones Unidas en el 2019, expresó que es necesario preservar el espacio ultraterrestre

para las generaciones futuras, para toda vez que a las mismas se les debe permitir estas puedan acceder a la utilización y desarrollo de tecnología espacial (A/AC.105/1203).

Bajo un contexto histórico, se evidencia que la identificación de la importancia de la sostenibilidad espacial en la agenda internacional no ha sido una tarea fácil (Martínez, 2021), fue a partir del año 2018, en el encuentro de UNISPACE+50 realizado con ocasión de la celebración del cincuentenario de la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración del Espacio Ultraterrestre, donde se habló sobre la evaluación de las actividades espaciales como un motor del **Desarrollo Sostenible** (De Faramián, 2021).

En este sentido, cabe resaltar que debido a la gran extensión del espacio, este se percibe como un recurso infinito; no obstante, tal como afirma Martínez (2021), el entorno espacial orbital de la Tierra es un recurso finito, que cada vez está siendo más utilizado por diferentes actores comerciales, estatales, organizaciones intergubernamentales internacionales y no gubernamentales y, que como consecuencia de sus actividades se presenta un riesgo no solo para la seguridad de operaciones espaciales y sino para la sostenibilidad a largo plazo (Delgado, 2016; Restrepo, 2018; Jiménez, 2022).

Como consecuencia, el concepto de sostenibilidad espacial surge de comprender que el entorno orbital de la Tierra y el espectro electromagnético, son recursos naturales limitados que están bajo una presión creciente por el crecimiento constante en el número y la diversidad de actores espaciales (Martínez, 2018). Por lo anterior, en el presente artículo se reconoce que la sostenibilidad espacial es una prioridad contemplada en el contexto internacional, no obstante, no se ha comprendido que el entorno orbital donde se desarrollan las actividades espaciales es un recurso limitado y su uso continuo e insostenible representa una constante amenaza para la misma.

Con base en lo expuesto, es necesario identificar los impactos que las actividades espaciales y la generación de desechos espaciales pueden tener sobre la sostenibilidad espacio-tierra, por lo cual, a continuación, se relacionan los impactos de los desechos espaciales y la continuidad de las actividades espaciales a nivel ambiental, económico y social.

## **2. IMPACTOS DE LOS DESECHOS ESPACIALES Y SUS DESAFÍOS EN LA SOSTENIBILIDAD ESPACIAL**

Teniendo en cuenta que la sostenibilidad espacial tiene un alcance amplio, incluyendo no solo aspectos de seguridad espacial y nacional, sino también los impactos ambientales, sociales y económicos que las actividades espaciales y la generación de desechos espaciales pueden tener sobre el planeta Tierra (Undseth et al, 2020). A continuación, se relacionan los desafíos e impactos de los desechos espaciales y la continuidad de las actividades espaciales a nivel ambiental, económico y social.

### **2.1. DIMENSIÓN AMBIENTAL**

Debido al crecimiento de las actividades espaciales y el aumento en la generación de desechos espaciales (ESA, 2022), a continuación, se presentan algunos de los principales

impactos que estos dos factores representan para la sostenibilidad ambiental del espacio ultraterrestre y la Tierra, de acuerdo con la literatura revisada:

**a. Contaminación de la órbita terrestre**

La generación de desechos espaciales se considera un factor de estrés ambiental que afecta el recurso orbital del planeta Tierra y amenaza el futuro acceso al espacio (Maury et al., 2020a). Respecto a la contaminación por desechos orbitales, se considera imposible limpiarlos y, por lo tanto, llevar este recurso a su estado original; por ejemplo, los desechos espaciales que orbitan a más de 1500 km del planeta estarán durante siglos en el espacio exterior, ya que no hay suficiente resistencia de la atmósfera terrestre a esta altitud (Popova y Schaus, 2018; Henry, 2018).

Al respecto, cabe resaltar que las amenazas al uso continuo, seguro y sostenible del espacio ultraterrestre, incluyendo el aumento de desechos espaciales en órbita, han aumentado drásticamente durante la última década, se tiene como resultado un espacio exterior más congestionado y disputado (Trur, 2021), lo cual puede generar la escasez de este recurso a futuro.

En consecuencia, la mayoría de los especialistas involucrados en el problema de la contaminación de la órbita terrestre y el medio ambiente espacial, consideran que el estado actual de su contaminación es grave y catastrófico (Wen et. Al, 2018; Adushkin et. al, 2020) y se acerca constantemente al inicio del síndrome de Kessler y la escasez del recurso orbital. Al respecto, no son los desechos existentes los que han causado la última área de preocupación, sino las propuestas para el despliegue de una gran cantidad de nuevas mega constelaciones de pequeños satélites en órbita terrestre baja en los próximos años (Pelton, 2019; Pardini, 2022).

Además de esto, hay desechos espaciales peligrosos que contienen material radiactivo, lo que representa un riesgo adicional debido a la posibilidad de que puedan caer sobre la tierra y contaminar el lugar en que colisione, lo anterior, considerando que esta situación ocurrió a causa del satélite soviético Cosmos 954, el cual se encontraba equipado con un reactor nuclear e impactó en el año 1978 en Canadá, lo que dio lugar a la indemnizar de canadienses por parte de la URSS (Pastor, 2016; Vázquez 2020).

En este sentido, el rápido proceso de contaminación del espacio cercano a la Tierra con desechos orbitales conduce a la interrupción del intercambio de luz y calor que se ha desarrollado entre la Tierra, el espacio cercano a la Tierra y el entorno externo, lo cual provoca daños ambientales, en particular, a la capa de ozono y, además, interfiere con las observaciones astronómicas tal como se describe a continuación (Adushkin et. al, 2020).

**b. Contaminación lumínica**

El incremento de objetos espaciales, incluyendo los desechos espaciales, puede impactar la visibilidad del cielo nocturno, patrimonio común de la humanidad

(Venkatesan et al. 2020). Estudios estiman que la cantidad de estos objetos que orbitan alrededor de la tierra podrían elevar un 10% el brillo general del cielo nocturno, lo que supera el umbral que los astrónomos establecieron hace más de 40 años para considerar un lugar contaminado por la luz (Kocifaj et al, 2021).

Lo anterior, puede traer consecuencias en la observación de estrellas, como, por ejemplo, el oscurecimiento de las nubes de estrellas en la vía láctea, y en la investigación científica sobre todo en los sitios de observación astronómica, así como efectos imprevistos en la vida silvestre, la salud humana y las prácticas culturales y religiosas (Tyson et al., 2020; Zhongming et al, 2021; Miraux, 2022).

### **c. *Emisiones y cambio climático***

Las actividades espaciales son las únicas responsables de las emisiones directas dentro de la capa de ozono (Maury et al., 2020a), debido a la combustión de los motores de los cohetes se generan emisiones de gases y partículas, que en su paso la estratosfera donde se encuentra la capa de ozono, puede agotar el ozono, alterar el equilibrio radiactivo de la atmósfera y contaminar el medio ambiente espacial de forma peligrosa, además de contribuir al cambio climático, impactos sobre los cuales no existe regulación (Ross & Veda, 2018; Adushkin et. Al, 2020).

De acuerdo con Chanoine (2017), este impacto ambiental se produce a su vez en el momento del lanzamiento de los objetos espaciales y, conforme a lo indicado por Dallas et al. (2020), estas emisiones también se pueden generar en el momento de reingreso de desechos espaciales a la atmósfera debido a su descomposición.

Al respecto, es oportuno resaltar que la investigación del clima espacial aún se encuentra en sus primeras etapas (Undseth et al, 2020), motivo por el cual se desconoce qué impactos pueden ocasionar los objetos espaciales y sus emisiones frente a este aspecto.

### **d. *Agotamiento de recursos naturales e impactos en el ciclo de vida***

En todo el ciclo de vida de las misiones espaciales, desde la fabricación de los satélites, la operación y el fin de la vida útil de los equipos se generan impactos ambientales. A continuación, se relacionan los principales impactos identificados por cada una de las fases indicadas previamente (Maury et al., 2017; 2019; 2020a; 2020b):

- Diseño y producción, ensamblaje y pruebas: Consumo de electricidad y gas natural, además del agotamiento de los recursos minerales provocado por los materiales utilizados para los satélites.
- Uso del objeto espacial: contribuye al 25% al 35% de los impactos ambientales, lo cual incluye su potencial de generar desechos espaciales. Durante esta fase, el consumo de electricidad y de combustibles fósiles son los aspectos ambientales más relevantes que contribuyen al calentamiento global. Así mismo, gran parte de objetos espaciales utilizan hidracina como combustible, el cual tiene alto potencial

de toxicidad humana y genera una cantidad importante de emisiones de CO<sub>2</sub> (Maury et al., 2019; 2020a).

#### ***e. Daños en satélites usados con fines ambientales***

La mayor parte de los desechos espaciales se encuentra en la órbita geoestacionaria LEO y la pérdida de espacio en esta región por la congestión de este tipo de objetos, puede generar daños en satélites útiles a nivel medio ambiental utilizados para servicios de vigilancia en temas meteorológicos, alerta temprana, toma de decisiones para mitigación y adaptación al cambio climático, el monitoreo de gases de efecto invernadero, entre otros (Rodríguez y Vidal, 2021; Miraux, 2022).

Con base en lo expuesto, en criterio de las autoras de este artículo, las consecuencias que tienen los desechos espaciales en diferentes componentes ambientales amenazan la sostenibilidad de las actividades espaciales y representan la irremediable y futura pérdida al acceso y uso de un recurso finito, limitado y crucial para el planeta, el recurso orbital. En concordancia, en la siguiente parte del artículo se exponen los impactos socioeconómicos derivados de esta revisión.

## **2.2. DIMENSIÓN ECONÓMICA**

En esta parte del artículo, se profundizará en el impacto económico de los desechos espaciales y con base en lo identificado en la literatura, su relevancia en aspectos como el acceso al recurso orbital, las claves en la gestión del uso sostenible del espacio desde la perspectiva económica y el panorama general de los impactos actuales y futuros en la materia.

Las discusiones sobre la perspectiva económica empezaron cuando se ofrece la definición de sostenibilidad espacial, entendida en pocos términos como la no afectación negativa del uso actual del espacio para asegurar su exploración y utilización en el futuro. Los autores mencionados en este fragmento acuerdan que, desde la perspectiva económica, el espacio es un bien común global, debido a que, un recurso finito o creado por el hombre se denomina recurso de uso común (Ostrom, 2009), en este sentido, especifican autores como Undseth et al. (2020) y Migaud (2020) que las órbitas de la Tierra y el espectro electromagnético son recursos comunes de la humanidad. Estos tienen dos características esenciales: es un bien no excluible y es un bien rival (Adilov et al., 2020). Undseth et al. (2020) las explican: que sea un bien no excluible significa que tiene un bajo nivel de exclusividad, es decir, que evita que un actor individual pueda establecer control sobre los recursos y, que sea un bien rival, se explica con que la alta sustracción de uso por parte de un actor le resta valor a la cantidad de dicho recurso disponible para otros.

Por lo anterior, en criterio de las autoras de este artículo, la desigualdad y limitación futura en el acceso a esos recursos comunes demanda la necesidad de construir herramientas y mecanismos de gestión sostenible del uso orbital con la cooperación de diferentes actores, sectores y regiones. En consecuencia, esta gestión no debe obedecer a patrones de exclusividad y capacidad de control por parte de los diferentes actores, sino que debe

responder al carácter común de los recursos espaciales, asegurando un acceso equitativo para todos.

Al respecto, Palmroth et al. (2021) plantean que la gestión sostenible de dichos recursos comunes se puede reflejar desde dos puntos de vista: 1. La gestión de la capacidad operativa, entendida como la comprensión de las limitaciones de los diferentes recursos utilizados, según la cual se debe establecer y acordar la capacidad efectiva de cualquier operación con el fin de que esta responda a requisitos de demanda específicos; 2. La gestión de la capacidad dentro del fondo común de recursos, que afirma que, si los actores involucrados en las actividades espaciales reconocen el carácter de recurso común de las órbitas, pueden considerar la gestión desde los niveles de capacidad y las adiciones futuras a la capacidad predeterminada, lo que a su vez permitiría conocer las restricciones del uso de los recursos naturales. Adicionalmente, dicha gestión sostenible necesita de consenso y cooperación como requisitos básicos, con el fin de establecer distribuciones de espacio, de beneficio y de ganancia, o de llegar a un conjunto de reglas de asignación (Chrysaki, 2020; Palmroth et al., 2021).

Por lo anterior, Palmroth et al. (2021) enumeran cuatro elementos clave de la gestión del uso sostenible del espacio desde la perspectiva económica: 1. Reconocer el principio de sostenibilidad económica y características como la maximización de capacidades; 2. Reconocer los efectos externos de los desechos espaciales y los efectos en la disminución del espacio orbital utilizable causado por el incremento en volumen y composición de dichos desechos; 3. Operacionalizar el espacio orbital sostenible de acuerdo con diferentes propiedades técnicas como la vida útil y la potencialidad de desecho, mediante la cuantificación del número máximo permitido de satélites en funcionamiento por período; y, por último, 4. Operacionalizar los efectos externos, evaluando los costos de los desechos causados por los límites en el espacio y de daños por colisión con satélites en funcionamiento.

Recientemente, autores como Adilov et al. (2019), Adilov et al. (2020) y Rao et al. (2020) han presentado al problema de los desechos espaciales como parte de la dimensión económica de la gestión sostenible del espacio (un recurso de uso común). Por su parte, Adilov et al. (2018) abordan la discusión construyendo un modelo dinámico de desechos orbitales que denominan “síndrome de Kessler económico”. Específicamente, este modelo predice que 1. La cantidad de desechos espaciales aumentará incluso en ausencia de nuevos lanzamientos de satélites cuando la tasa de deterioro orbital es relativamente baja, y 2. Las tasas de lanzamiento responden de manera no monótona a los desechos: a niveles bajos de escombros la relación es positiva y creciente y, en niveles altos hay un punto de inflexión más allá del cual los lanzamientos se contraen a medida que los escombros continúan acumulándose (Adilov et al., 2018).

El “síndrome de Kessler económico”, sugiere que los desechos orbitales hacen que las órbitas no sean rentables económicamente y, se inspira en el síndrome de Kessler, pero difiere en que, a medida que aumente la cantidad de desechos, el espacio puede volverse económicamente no rentable antes de que se vuelva físicamente inutilizable como lo expone Kessler en la teoría previamente mencionada.

Desde la dimensión económica, la sostenibilidad espacial también se enfrenta con el reto de las actividades de digitalización de empresas con fines comerciales, civiles y militares: el despliegue de mega constelaciones y aumento de satélites en operación. Undseth et al. (2020) mencionan que, debido a los menores costos de lanzamiento y altos rendimientos, las actividades en la órbita terrestre baja (LEO) han aumentado significativamente en los últimos años, así, Undseth et al. (2020) reportan un listado de actividades desde el 2018 por parte de SpaceX, Amazon y OneWeb en el lanzamiento de satélites y despliegue de constelaciones aprobados por la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos.

La gestión sostenible de las órbitas, respecto al uso, disposición y despliegue, pueden tomar varias formas. Rao et al. (2020) mencionan que las soluciones que se han propuesto para resolver el problema de los desechos espaciales son principalmente tecnológicas, y sugiere que abordarlas desde los incentivos podría resultar más eficiente, debido a que los satélites se lanzan sin tener en cuenta los riesgos de colisión. Por lo anterior, Rao et al. (2020) proponen una “tarifa de uso orbital” OUF (por sus siglas en inglés) que sea acogida internacionalmente, y es un modelo inspirado en los impuestos al carbono.

Así mismo, Adilov et al. (2019) y Adilov et al. (2020) mencionan también enfoques basados en precios, teniendo como base simulaciones, proponen un marco de inversión dinámico que para limpiar el espacio de escombros, combine la remoción activa con una política de mitigación; y, para evitar la colisión y generación de más desechos espaciales cuando se hacen colocación de satélites geoestacionarios, proponen modelar la elección de las empresas y hacer más eficiente las ranuras orbitales como los satélites ya puestos allí, mediante incentivos, que a su vez, los harían utilizar al máximo los recursos orbitales ya dispuestos en vez de generar más.

Así mismo, Chrysaki (2020) evaluó el problema que presenta la sostenibilidad espacial basado en las elecciones individuales de las empresas, por esto, presenta un código de conducta voluntario para la industria espacial basado en el concepto de no dañar, respaldado por el principio de intervención y complementado por un mecanismo de cumplimiento. Este código de conducta deberá ser adoptado por las empresas e industrias privadas, lo que mejoraría el posicionamiento y reputación de las empresas con actividad espacial. Además, a través de esta herramienta eficiente y eficaz, la implementación del principio de sostenibilidad estará completamente integrada en las actividades espaciales realizadas por las empresas.

En efecto, autores y entidades como NASA y ESA, reconocen públicamente que los desechos espaciales imponen altos costos a las economías espaciales (Zhu, 2022). Dentro del panorama actual y futuro del impacto económico de los desechos espaciales, se encuentran las siguientes consecuencias: 1. Pérdida de satélites completos y fallas de misiones espaciales, 2. Incremento en el costo de misiones espaciales, 3. Costos asociados a las actividades de vigilancia y ejecución de maniobras para evitar su colisión, 4. Pérdida de las observaciones de satélites activos y daños en la Estación Espacial Internacional 5. Reducción del crecimiento económico y desaceleración de las inversiones en el sector (Undseth et al., 2020; Maury et. al, 2020a).

En síntesis, en este artículo se identifica que en materia económica los impactos generados a causa de los desechos espaciales se pueden ver reflejados en pérdidas directas e indirectas para todos los actores, sectores y regiones involucrados o beneficiados por la actividad espacial. Por consiguiente, se considera que estos aspectos económicos impactarán de forma directa la cuestión social del planeta tierra, lo cual se abordará en el siguiente apartado.

### **2.3. DIMENSIÓN SOCIAL**

Como se mencionó previamente en la revisión del impacto de los desechos espaciales en la dimensión ambiental, la falta de gestión de estos objetos en el recurso orbital afecta a los servicios de vigilancia climatológicos. En particular pueden causar afectaciones o pérdidas frente a la predicción meteorológica, la vigilancia del clima e investigación sobre el cambio climático, las ciencias de la tierra, y, las comunicaciones por satélite basadas en las observaciones del espacio (Undseth et al., 2020).

Por lo anterior, Undseth et al. (2020), concluye que este fenómeno, en primer lugar, crearía afectaciones desproporcionadas a ciertas áreas geográficas y grupos sociales, en específico, en zonas rurales con infraestructuras terrestres limitadas y con gran dependencia de la infraestructura espacial, y, en segundo lugar, la autogeneración de desechos espaciales puede ser irreversible, lo cual perturbaría a algunas órbitas con gran importancia socioeconómica, que podrían quedar inutilizables para las generaciones futuras.

Concretamente, considerando las circunstancias en las que el mundo se ha visto recientemente afectado como consecuencia de la pandemia originada por el SARS COVID-19, afirma De Faramiñán (2021) que por medio de la tecnología espacial como la teleepidemiología, los programas de teledetección de la Tierra pueden ayudar a disminuir los efectos de una pandemia con actividades de seguimiento, preparación y repuesta. Frente a esto, el Programa de Observación de la Tierra de la Agencia Europea del Espacio – ESA (por sus siglas en inglés) ha indicado que a pesar de que la ESA no está preparada para ayudar a pronosticar la progresión del virus, se reciben datos de algunos de los satélites de alta gama y nuevas tecnologías de inteligencia artificial que pueden ser utilizadas para comprender y controlar los cambios sociales asociados a este (Aschbacher, 2020).

Bajo este contexto, las autoras exponen que los desechos y en general, las actividades espaciales, pueden acarrear diferentes consecuencias graves e inminentes en materia ambiental, económica y social para la sostenibilidad espacio-tierra, por lo cual es necesario validar que estos aspectos se encuentren abordados dentro del derecho internacional ambiental, tal como se expone en la siguiente parte del artículo.

## **3. EL DILEMA DE LOS DESECHOS ESPACIALES EN EL DERECHO INTERNACIONAL BAJO UNA PERSPECTIVA DE SOSTENIBILIDAD**

En esta parte del artículo se realiza una revisión de los instrumentos del derecho internacional del espacio ultraterrestre. Por tanto, en primer lugar, se revisarán los

instrumentos vinculantes, es decir, los tratados internacionales y, en segundo lugar, se abordarán los instrumentos no vinculantes.

### 3.1. TRATADOS INTERNACIONALES

Los cinco tratados del espacio que a la fecha han entrado en vigor y, que según varios autores (Faramiñán, 2021; Jerónimo, 2021; Rey, 2021; Jiménez, 2022), conforman el *Corpus Iuris Spatialis* y representan la estructura jurídica que garantiza una cooperación internacional entre los Estados en la exploración del espacio ultraterrestre con fines pacíficos son: el Tratado sobre el espacio Ultraterrestre, el Acuerdo sobre Salvamento, el Convenio sobre Responsabilidad, el Convenio sobre el Registro y el Acuerdo de la Luna. A saber, estos tratados se han desarrollado alrededor de cuatro principios: 1. La no apropiación del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes; 2. El beneficio para toda la humanidad como resultado de las actividades espaciales; 3. La cooperación internacional y 4. El uso pacífico del espacio exterior (Álvarez et al., 2019).

A continuación, se dará una introducción al contenido de los tratados, y se abordará la revisión hecha por las autoras teniendo como componentes principales la búsqueda de una definición o un acercamiento a esta de desecho espacial; si contiene medidas de gestión o manejo; si contiene un mecanismo que permita hacer efectivo el cumplimiento de las obligaciones adquiridas en el tratado; y, si contiene perspectivas de sostenibilidad espacial.

#### a) *Tratado sobre Espacio Ultraterrestre.*

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 (resolución 2222 (XXI) de la Asamblea General), entró en vigor el 10 de octubre de 1967; es conocido como, Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre – OST (por sus siglas en inglés).

De acuerdo con Galdámez y Fernández (2022), este tratado es la *carta Magna del espacio* y proporciona la base jurídica para la exploración y utilización del espacio y un marco para el desarrollo del derecho del espacio ultraterrestre. Los temas abordados en este tratado se refieren a la tensión existente entre las naciones desarrolladas que tienen actividad espacial y las no desarrolladas que no la tienen (Prasad, 2019), enfocándose así en la no apropiación del espacio ultraterrestre y en evitar poner en órbita armas nucleares o de destrucción en masa ya que constituyen una amenaza para la humanidad (Vázquez, 2020).

Entre tanto, en la redacción de este tratado se identifica la preocupación de los usos militares y no militares del espacio exterior, y se resalta el enfoque en el uso pacífico del mismo, para su no reclamación de soberanía (Prasad, 2019). Así mismo, el OST impone una obligación imprecisa a los Estados de autorizar y supervisar continuamente las actividades espaciales no gubernamentales bajo su jurisdicción, lo que refleja la necesidad de incluir que los Estados se comprometan a realizar un

estudio de impacto ambiental sobre las actividades asociadas al lanzamiento del objeto espacial (Erhart et al., 2021).

Aunque el tratado tiene aspectos positivos como reforzar su utilización pacífica o favorecer la igualdad entre los Estados para su exploración y utilización, estos aspectos se han visto marginados debido a las pocas ratificaciones que ha tenido (De Faramiñán, 2020). Adicionalmente, no aborda la preservación del ambiente espacial ni establece expresamente obligaciones y sanciones a los Estados Parte (Gaggero, 2021), en consideración, sólo hace un acercamiento inconcluso frente a cuestiones ambientales debido a que sólo enuncia que los Estados Partes deben evitar la contaminación nociva del medio ambiente del espacio exterior y los cambios adversos en el medio ambiente de la Tierra a causa de la introducción de material extraterrestre (Álvarez et al., 2019).

De la misma forma, este tratado reitera que los Estados parte explorarían el espacio exterior “de conformidad con el derecho internacional, incluida la Carta de las Naciones Unidas”, lo cual significa que los diversos desarrollos contextuales en el campo del derecho internacional deberían aplicarse al espacio ultraterrestre, incluyendo el concepto de desarrollo sostenible (Prasad, 2019). Además, este tratado se redactó cuando el número de naciones que viajaban por el espacio eran mínimas, lo cual sigue siendo demasiado general para las operaciones espaciales actuales y futuras en relación con el creciente número de satélites enviados a órbita terrestre (Plattard & Smith, 2021). Por tanto, en opinión de las autoras este tratado no aborda aspectos ambientales y se escribe con un lenguaje aspiracional respecto a la generación de desechos espaciales, sin definirlos, ya que su importancia no fue contemplada. Aunque aborda las preocupaciones de la regulación de los desechos orbitales en cuanto a quién es responsable y cómo prevenir la creación de más, no aclara de manera práctica estas preocupaciones y las medidas se quedan cortas en la realidad, por lo anterior, se identifica que no cuenta con medidas de gestión concretas ni con un organismo competente para dar seguimiento a lo acordado en el tratado. De otra parte, el OST no tiene en cuenta las medidas de gestión para el acceso y uso de las órbitas espaciales ni tampoco el aumento de actores no estatales que realizan actividades espaciales, motivo por el cual se concluye que no denota un compromiso tangible frente a la sostenibilidad espacial.

#### **b) Acuerdo sobre Salvamento**

El Acuerdo sobre el salvamento y la devolución de astronautas y la restitución de objetos lanzados al espacio ultraterrestre (resolución 2345 (XXII) de la Asamblea General), que entró en vigor el 3 de diciembre de 1968; en adelante, Acuerdo de salvamento.

Este acuerdo indica que los Estados parte tienen responsabilidad de devolver al astronauta y ayudar al Estado de lanzamiento a encontrar y recuperar el objeto espacial que ha regresado a la Tierra y ha aterrizado fuera del Estado de lanzamiento,

siguiendo al principio de cooperación internacional, el cual es un principio subyacente del concepto de desarrollo sostenible (Prasad, 2019).

Por su parte, el tratado no hace referencia a los beneficios o manejo de personas que no sean precisamente astronautas y que se dirijan al espacio, como es el caso reciente de los turistas espaciales (Tronchetti, 2013) y quienes podrían verse afectados por los impactos señalados en materia ambiental, económica y social previamente en este artículo.

En consecuencia, en primer lugar, las autoras de este artículo identifican que el Acuerdo de salvamiento no resulta relevante para los desechos espaciales debido a que se centran en la vida y salud de los astronautas, por esto, no cuenta con una definición de desecho espacial y, las medidas de gestión redactadas se centran en el control, asistencia y ayuda a la tripulación espacial.

Por otro lado, aunque el acuerdo habla del rescate de los objetos espaciales, sus partes y componentes que han vuelto a la Tierra, en este artículo se señala que el acuerdo no da una precisión sobre la definición de dichos objetos espaciales y no se definen lineamientos específicos para el manejo de este tipo de residuos en la superficie terrestre. Por consiguiente, no cuenta con un organismo que se haga cargo de hacer seguimiento al cumplimiento de las obligaciones. A pesar de que menciona la necesidad de cooperar, este apoyo entre Estados se da en los casos en que los objetos han llegado a la Tierra o un astronauta requiere de ayuda, por lo que no aborda en la realización de actividades espaciales teniendo en cuenta principios de sostenibilidad.

### **c) *Convenio sobre Responsabilidad***

El Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales (resolución 2777 (XXVI) de la Asamblea General), que entró en vigor el 11 de septiembre de 1972; conocido como, Convenio de Responsabilidad – ILD (por sus siglas en inglés).

Este convenio estipula que los Estados parte deben mantener un reporte en el que registren los detalles de lanzamiento de los objetos espaciales. Es decir, declara a los Estados la responsabilidad por daños en la Tierra causados por objetos espaciales lanzados al espacio (Button, 2012), lo cual resuena con el principio de quien contamina paga, que se entiende como un principio subyacente del concepto de desarrollo sostenible (Prasad, 2019).

En efecto, el convenio habla de dos tipos de daños, uno primero donde hay responsabilidad absoluta u objetiva por los daños causados en la superficie terrestre o aeronaves en vuelo y, uno segundo, donde aplica la responsabilidad por culpa, frente al daño causado en un lugar diferente a la superficie de la Tierra. No obstante, este convenio no aplica a los daños causados por desechos espaciales, porque se considera que están fuera del control de los Estados (Álvarez et al., 2019) y no prevé los daños medioambientales al espacio ultraterrestre concretamente (Jiménez, 2022).

De acuerdo con los criterios de revisión propuestos por las autoras, en este artículo se identifica que el Convenio de Responsabilidad intenta establecer medidas de responsabilidad por daños causados por objetivos espaciales al pedir a los Estados determinar quién es el propietario del objeto espacial. Así mismo, el ILD define objeto espacial como “las partes componentes de un objeto espacial, así como el vehículo propulsor y sus partes”, una definición bastante amplia que podría abarcar los desechos espaciales, pero no es específica. Este convenio no cuenta con medidas de gestión respecto a los desechos espaciales y al pedir a las Partes el reporte de los objetos puede tener dos perspectivas: la positiva es la que se mencionaba previamente sobre el principio de quien contamina paga y la negativa es la limitación a futuras acciones que se puedan tomar con el avance de la tecnología para eliminar los desechos, ya que no se podrían hacer sin determinar a quiénes pertenecen los objetos y como se mencionaba en el OST, este convenio tampoco tiene en cuenta la introducción de nuevos actores no estatales. Por otra parte, el Convenio crea un organismo de gestión llamado Comisión de Reclamaciones que serviría de mecanismo de cumplimiento de las obligaciones señaladas en el Convenio: indemnización por parte del Estado de lanzamiento por daños causados en la Tierra.

Así, en este artículo se considera que este Convenio falla en dictar medidas que regulen la gestión sostenible de las actividades espaciales, ya que su foco son los efectos que los lanzamientos que objetos crean en la Tierra, una forma en la que el Convenio hubiera podido abordar la sostenibilidad espacial sería incluyendo las dimensiones ambientales, económicas y sociales descritas en este artículo, las cuales tienen efecto en la Tierra pero no se limitan al impacto de objetos como lo hace la redacción de este instrumento, sino que aborda consecuencias que se reflejan en la Tierra por la actividad en el espacio.

#### ***d) Convenio sobre el Registro***

El Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre (resolución 3235 de la Asamblea General), que entró en vigor el 15 de septiembre de 1976; en adelante, Convenio sobre el registro.

Estipula que las Partes deben mantener un registro en el que el Estado de lanzamiento debe registrar los detalles de los objetos espaciales lanzados y cómo se debe rastrear la identidad de la parte responsable de cada objeto espacial (Button, 2012), lo cual, desde la perspectiva del concepto de desarrollo sostenible, se podría inferir que el Convenio de Registro, promueve el principio de participación pública y buena gobernanza (Prasad, 2019).

Sin embargo, la sensibilidad y cantidad de los objetos espaciales y la falta de transparencia de varios estados impiden conocer exactamente cuál es el número de satélites existentes, debido a la capacidad que tienen de ser empleados de forma mixta, es decir, tanto para temas civiles como militares (Vázquez, 2020). Por otra parte, el convenio no define el tiempo que tienen los Estados Parte para notificar a la ONU sobre los objetos lanzados al espacio y existe un riesgo frente al reporte de objetos

con propósitos diferentes a los reales, como por ejemplo fines militares o antisatélite (Álvarez et al., 2019).

Por lo anterior, en este artículo, se identifica a este convenio relevante al problema de los desechos espaciales debido a que tiene como objetivo el registro y gestión de los objetos lanzados a la órbita del espacio ultraterrestre. Además, requiere a los Estados mantener un registro de los objetos espaciales que lanzan el cual se pasa a Naciones Unidas quienes a su vez realizan un registro. Por otra parte, el Convenio redacta que los Estados y ONG's que hayan participado o realizado lanzamientos, deberán coordinarse para el registro y acatar las solicitudes de registro de otros Estados y ONG's. Sin embargo, en este convenio se identifica el problema de no incluir a los actores no estatales que realizan actividades espaciales lo que podría limitar el proceso de registro cuando las actividades son llevadas a cabo por empresas.

#### **e) *Acuerdo de la Luna***

El Acuerdo que debe regir las actividades de los Estados en la Luna y otros cuerpos celestes (resolución 34/68 de la Asamblea General), que entró en vigor el 11 de julio de 1984; en adelante, Acuerdo de la Luna.

Este acuerdo pretende crear un régimen jurídico en relación con la explotación de los recursos naturales de la Luna y otros cuerpos celestes, en sus lineamientos resuena el principio de desarrollo sostenible al indicar que “al explorar y utilizar la Luna, las Partes tomarán medidas para evitar que se rompa el equilibrio existente de su medio ambiente, ya sea introduciendo cambios adversos en ese medio ambiente por su contaminación dañina o mediante la introducción de materia extra ambiental o de otro modo” (Prasad, 2019). Bajo el análisis de las autoras, como se menciona, este acuerdo contiene perspectivas de sostenibilidad en las actividades dirigidas y relacionadas a la Luna, también aclara un control en cuanto a los objetos espaciales que aterrizan en la Luna. Sin embargo, no se aproxima y no establece medidas en cuanto al control y mitigación de los desechos espaciales.

Con base en el *Corpus Iuris Spatialis* previamente descrito, en este artículo se identifica que, durante la fase inicial del desarrollo de los principios y acuerdos del derecho del espacio ultraterrestre, la sostenibilidad no era una prioridad reconocida en la agenda internacional, tal como lo es ahora; lo cual, de acuerdo con Prasad (2019), puede ser una consecuencia de la ausencia en el desarrollo jurídico de desarrollo sostenible o sostenibilidad.

De otro lado, conforme a lo indicado por Palazón (2018), es notorio que las actividades espaciales han experimentado dinámicas de cambio, dentro de las cuales se encuentran: 1. Los cambios geopolíticos en el que nuevas potencias emergentes están modernizando sus programas espaciales y las tecnologías de doble uso; 2. El aumento progresivo de países que cuentan con capacidades y agencias espaciales; 3. El ingreso de nuevos actores privados que están dispuestos en participar del desarrollo de aplicaciones y misiones espaciales; y como consecuencia de lo anterior, 4. El acrecentamiento en la cantidad de

objetos lanzados al espacio, el incremento de los desechos espaciales y su impacto sobre la sostenibilidad espacial.

Por lo anterior, en este artículo se plantea que el derecho internacional ultraterrestre desde la década de los años ochenta se ha dilatado y no ha evolucionado conforme lo han hecho las dinámicas de cambio de las actividades espaciales, lo anterior, permite entrever los vacíos de la regulación en la materia, siendo esta una de las principales causas de la problemática asociada a la falta de mecanismos de gestión y control de la generación de los desechos espaciales.

Al respecto, se evidencia que en ninguna circunstancia los tratados revisados expresan las obligaciones específicas frente a la prevención y mitigación de la generación de los desechos espaciales del recurso orbital y presentan limitaciones para su gestión debido a que, en primer lugar, las regulaciones no asignan la obligación de eliminar o recoger los desechos presentes y futuros, en segundo lugar, no consideran la regulación de los actores no estatales y, finalmente, no crean recursos efectivos para resolver el impacto ambiental, económico y social en el contexto de la sostenibilidad espacial.

Por consiguiente, se identifica que los instrumentos internacionales vigentes, son insuficientes para establecer y lograr objetivos claros en materia de sostenibilidad espacial y, por ende, para enfrentar el problema de la gestión de desechos espaciales. No obstante, se evidencia que los tratados más relevantes para abordar el control y registro sobre los mismos son el OST (1968), el ILD (1972) y el Convenio sobre el registro (1975), aunque no abordan en profundidad el aspecto ambiental, como es el caso del ILD (1972) el cual cubre daños geográficos y de soberanía, pero no considera daño desde la perspectiva ambiental definido en principios de precaución y prevención, es decir, no se ocupa de riesgos ambientales creados por las actividades espaciales.

En este sentido, se identifica la necesidad de articular el derecho internacional del espacio ultraterrestre y el derecho internacional ambiental, materializando el desarrollo de nuevos instrumentos legales o la creación de nuevas obligaciones legalmente vinculantes en el actual ordenamiento jurídico internacional, con el fin de asegurar la protección, acceso equitativo y uso sostenible de un bien de uso común: El medio ambiente espacial y el recurso orbital.

En concordancia, en este artículo se resalta en la necesidad de la cooperación entre Estados y entre actores privados que están emprendiendo actividades espaciales para avanzar en la creación de un instrumento vinculante que dicte obligaciones necesarias para la gestión de los objetos espaciales y el uso sostenible del espacio ultraterrestre.

### **3.2. OTROS INSTRUMENTOS INTERNACIONALES**

Además de los tratados previamente señalados, existen directrices, declaraciones, acuerdos multi y bilaterales, en lo que refiere a la cooperación de la exploración y uso del espacio exterior, incluyendo aquellos que se describen a continuación:

#### ***a) Directrices para la Reducción de desechos espaciales (A/RES/62/217)***

Las directrices para la reducción de desechos espaciales de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos son una guía para aplicar medidas de reducción de desechos espaciales, no obstante, no tienen un enfoque ambiental, sino de seguridad de las tripulaciones, dado que este tipo de desechos pueden provocar la pérdida de misiones o vidas humanas.

En contraste, plantean a los Estados tener en cuenta las fases de diseño, fabricación y funcionamiento (lanzamiento, misión y eliminación) de las naves espaciales y las etapas orbitales de los vehículos de lanzamiento. Al respecto, tal como lo asegura Maury et. al (2017), es indispensable considerar el análisis del ciclo de vida en las actividades y misiones espaciales, de modo tal que se identifiquen y reduzcan los impactos ambientales previamente identificados.

Estas directrices prevén un mecanismo de ley blanda para reducir los desechos espaciales y, aunque han servido como base para documentos de política no vinculantes, legislación nacional de distintos países y también como punto de partida para la derivación de normas técnicas asociadas a desechos espaciales (Muñoz, 2018), la eficacia de dicho mecanismo voluntario es muy discutible (Prasad, 2019).

***b) Declaración sobre el uso con fines civiles de la energía nuclear en el espacio ultraterrestre (A/RES/47/68)***

De acuerdo con lo indicado previamente, respecto al ya mencionado impacto de desechos con material radiactivo, se han creado estas directrices y principios pertinentes a la utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre, las cuales establecen la aplicabilidad del derecho internacional y propenden reducir al mínimo la cantidad de material radioactivo en el espacio ultraterrestre, limitándose a aquellas misiones espaciales que no puedan funcionar razonablemente con fuentes de energía no nuclear (González, 2021).

Se destaca que los Estados que se acojan de forma voluntaria a las directrices anteriores, deberán incluir en su normatividad la regulación de la utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre y, el lanzamiento, ingreso y funcionamiento de objetos espaciales. Adicionalmente, deberán prever los riesgos contra las personas, la salud pública y el medio ambiente que se puedan ver afectados por estas actividades (A/AC.105/1203). Lo anterior, permite evidenciar

***c) Directrices relativas a la Sostenibilidad a Largo Plazo de las Actividades en el Espacio Ultraterrestre***

Estas directrices, voluntarias y no vinculantes, relativas a la sostenibilidad espacial a largo plazo para el desarrollo de actividades en el espacio ultraterrestre, se dividen en cuatro categorías: 1. Políticas y reglamentarias; 2. Seguridad de las operaciones espaciales; 3. Cooperación internacional y creación de capacidad; y 4. Aspectos científicos y técnicos (Martínez, 2021), y describen objetivos a seguir para:

1. Elaborar, revisar, modificar o aprobar marco de políticas y de regulación para las actividades espaciales a la vez de supervisar y registrar las

actividades nacionales y, velar por que éstas se realicen bajo el principio de uso equitativo, racional y eficiente; 2. Proporcionar seguridad de las operaciones espaciales mediante registro, recopilación, actualización, disponibilidad e intercambio de información y datos sobre la vigilancia de los desechos espaciales y las actividades en el espacio ultraterrestre, a su vez, la elaboración de modelos e instrumentos que describan el funcionamiento de los objetos espaciales para poder adoptar medidas de precaución; 3. Promover y facilitar en temas de sostenibilidad la cooperación internacional, compartir la experiencia y, fomentar y apoyar la creación de capacidad; 4. Respaldar la investigación y el desarrollo científico y técnico para elaborar nuevas medidas para gestionar los desechos espaciales a largo plazo.

Las directrices no están a la vanguardia de lo que técnicamente se puede hacer para promover la seguridad espacial y la sostenibilidad de las actividades espaciales, pero establecen, por primera vez, un objetivo internacionalmente acordado frente a las normas mínimas o pautas de comportamiento de los Estados que realizan actividades espaciales (Martínez, 2021).

En consecuencia, Plattar y Smith (2021) señalan que ninguno de los tratados, acuerdos, convenios espaciales mencionan el procedimiento de ejecución en caso de que un actor espacial infrinjan una o varias recomendaciones/directrices. En este sentido, los mecanismos no vinculantes que los Estados pueden acordar están completamente desprovistos de consecuencias jurídicas, con lo cual se evidencia que estas amenazas carecen de un enfoque global, de dirección y liderazgo.

En este sentido, se evidencia que la literatura existente apunta a la necesidad de mejorar el derecho internacional espacial y abordar la amenaza al uso pacífico, beneficioso y a largo plazo del espacio ultraterrestre, Prasad (2019) citando a Lyall & Larsen. La incorporación del desarrollo sostenible en el ámbito del derecho espacial internacional es una necesidad para equilibrar el interés contrapuesto entre la exploración espacial y la preservación del medio ambiente espacial.

Con base en lo anterior, en este artículo se plantea que la ausencia de mecanismos de control sobre la generación y gestión de los desechos espaciales puede llegar a conducir a un colapso en las actividades espaciales presentes y futuras.

#### ***d) Agenda “Espacio 2030”***

En la actualidad, la ONU ha generado iniciativas dirigidas a conseguir el uso compartido y pacífico del espacio, como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que establece 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, de ámbito ambiental, económico y social; un marco de actuación que ha sido reinterpretado por UNOOSA, con el programa Space4SDGS, referente al empleo del espacio como medio para lograr estos objetivos. (Vázquez, 2020).

Con la celebración del previamente mencionado UNISPACE+50, se hizo notar que el avance en la tecnología y en la ciencia genera inquietudes hacia la utilización de los recursos espaciales con fines comerciales y, mencionan De Faramiñán (2021) y Gugunskiy et al. (2020) en la consecuencia denominada “brecha espacial” presente entre los países con desarrollada tecnología para las actividades espaciales y los países que no han logrado dichas capacidades y se encuentran en desventaja en las actividades. Asimismo, mencionan el problema de gobernanza global, en cuanto a la falta de un marco internacional jurídico adecuado para el uso y explotación del espacio ultraterrestre que contengan soluciones sostenibles y equitativas.

Por lo anterior, la Agenda Espacio 2030 elabora cuatro pilares estratégicos y transversales con el fin de cubrir la brecha espacial y el problema de gobernanza global de las actividades espaciales, estos son: la economía espacial, la sociedad espacial, la accesibilidad y la diplomacia espaciales (A/RES/73/6). A continuación, a partir del Informe de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos de 2021, se dará desarrollo a cada pilar.

La economía espacial se refiere a buscar el desarrollo de beneficios económicos derivados del espacio. En el informe se describe con el objetivo de “aumentar los beneficios económicos derivados del espacio y reforzar el papel del sector espacial como motor importante del desarrollo sostenible” (A/AC.105/WG2030). Este pilar resalta la importancia de reconocer el potencial del desarrollo del espacio para el crecimiento económico. En este sentido, el informe propone actividades que, las autoras de este artículo consideran, reconocen a todos los autores con actividades espaciales y promueven la integración de toda la comunidad internacional en el reconocimiento de la importancia de la ciencia y la tecnología espacial, usando sosteniblemente los recursos.

La sociedad espacial se refiere a la promoción de los beneficios sociales provenientes de las actividades en el espacio. El objetivo de la sociedad espacial es “utilizar el potencial del espacio para resolver los problemas cotidianos y aprovechar las innovaciones relacionadas con el espacio para mejorar la calidad de vida” (A/AC.105/WG2030). Este término tiene en cuenta el impacto que las actividades espaciales tienen sobre la sociedad. Por lo que, éste pilar busca en primer lugar, que las sociedades sean resilientes frente a los efectos del clima espacial y que conozcan y mitiguen los riesgos de los fenómenos espaciales. Y, en segundo lugar, que a través de la cooperación se establezca un seguimiento a lo que se mencionaba en la dimensión social de la sostenibilidad espacial previamente, la coordinación de asuntos relacionados a la salud; las comunicaciones por satélite; la predicción meteorológica; el monitoreo y vigilancia del clima; y las investigaciones sobre cambio climático y ciencias de la tierra.

La accesibilidad espacial entendido como el acceso del espacio a todos los Estados. Su objetivo es “aumentar el acceso al espacio para todos y garantizar que todos los países puedan beneficiarse socioeconómicamente de las aplicaciones de la ciencia y la tecnología espaciales, y de los datos, la información y los productos basado en el espacio (...)” (A/AC.105/WG2030). Éste busca garantizar que la desigualdad en capacidades

tecnológicas y socioeconómicas de los Estados no eviten el acceso al espacio y a la información conseguida mediante las actividades espaciales.

La diplomacia espacial tiene el objetivo de “establecer alianzas y fortalecer la cooperación internacional para la utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos y para la gobernanza global de las actividades en el espacio ultraterrestre” (A/AC.105/WG2030). Para alcanzar el reto que se presenta debido a los cambios en el desarrollo de las actividades espaciales. La diplomacia busca en primer lugar, fortalecer los instrumentos y mecanismos ya existentes. En segundo término, impulsar las alianzas entre las actividades públicas y privadas para que, en tercer lugar, se cree una estructura de gobernanza global en el que haya participación e intercambio de información por parte de los Estados, las organizaciones internacionales, el sector privado de la industria espacial y la sociedad.

Estos pilares llenan varios de los vacíos expuestos en los tratados. Sin embargo, las autoras de este artículo reconocen que fallan en reparar en la problemática de los desechos espaciales. Además, al ser compromisos de las Partes, estos pilares se enfrentan con la necesidad de acentuarse en la industria espacial y las empresas privadas del sector espacial para que reconozcan la gestión sostenible del espacio y acaten los objetivos, esto es importante debido a que, el sector privado se ha convertido es un actor principal del desarrollo de las actividades espaciales.

#### **4. CONCLUSIONES**

A la luz de la presente revisión se identifica un dilema respecto a la continuidad de la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, debido a que la ejecución de actividades espaciales implica un constante aumento de la cantidad de objetos lanzados al recurso orbital. Se concluye que existe una reglamentación incompleta vinculante en el contexto internacional que permita hacer frente a su correlación con el incremento de los desechos espaciales y a su consecuente impacto y amenaza sobre la sostenibilidad espacial.

El derecho del espacio ultraterrestre ha dejado de evolucionar conforme lo han hecho las dinámicas de cambio de las actividades espaciales, ya que desde hace más de treinta años se ha dilatado y aunque posterior a su definición se han expedido diferentes directrices, declaraciones y otros mecanismos en aras de mitigar y reducir la generación de desechos espaciales y propender por la sostenibilidad espacial estas medidas no son vinculantes en virtud del derecho internacional.

Se concluye además que la ausencia de definición, de obligaciones y de mecanismos de gestión de los desechos espaciales, refleja el punto de partida de la materialización de graves e inminentes consecuencias ambientales, económicas y sociales, dentro de ellas la escasez del entorno orbital espacial de la tierra, un recurso limitado y cuyo uso insostenible puede afectar su acceso a generaciones futuras. Por lo anterior, se considera que, asegurar un consenso en la definición de desechos espaciales puede apoyar en el

establecimiento y aplicación de obligaciones a los Estados con actividad espacial respecto a su control, seguimiento y gestión.

En concordancia, se identifica que la falta de un concepto legal de desechos espaciales, así como se su control y gestión para abordar el problema de la sostenibilidad espacial, nos aproxima a un punto del síndrome de Kessler en el que la pregunta no es si van a colisionar o chocar los objetos espaciales sino cuándo. Lo anterior, expone la necesidad de desarrollar una diplomacia espacial y gobernanza global que aborde específicamente el uso sostenible del espacio y acuerde un proceso de control de los desechos espaciales.

En este sentido, en este artículo se identifica que los tratados revisados omiten la consideración de la regulación frente a las actividades espaciales de los actores no estatales y hay ausencia de creación de recursos efectivos para resolver el impacto ambiental, económico y social en el contexto de la sostenibilidad espacial. Además, se identifica que estos instrumentos internacionales son insuficientes, se han quedado obsoletos y necesitan mayor precisión, debido a que no abordan de manera concreta aspectos ya reconocidos como una prioridad en la agenda internacional, tales como la sostenibilidad espacial y tienen solamente un enfoque en la soberanía y seguridad de las Partes.

Como resultado de este artículo, se propone la oportunidad de articular el derecho internacional del espacio ultraterrestre y el derecho internacional ambiental, en un nuevo instrumento que entienda el carácter común del medio ambiente espacial y el recurso orbital y sea apoyado por la cooperación entre estados, actores, regiones y sectores privados, de forma tal que se permita asegurar su protección, acceso equitativo y uso sostenible además de los compromisos contemplados en el marco de la Agenda Espacio 2030. Así mismo, se sugiere que, así como en el derecho internacional ambiental se fijan umbrales de contaminación esto pueda ser extrapolado y aplicado en el marco del derecho internacional del espacio ultraterrestre para que las actividades espaciales públicas y privadas tengan un límite.

En opinión de las autoras del artículo se plantea que, de no avanzar en el marco del derecho internacional del espacio ultraterrestre apoyado por el derecho internacional ambiental, a futuro se pueden ver afectadas nuevas iniciativas de proyectos comerciales y económicos como el turismo y los viajes espaciales, la minería espacial y la exploración de futuros hábitats para el ser humano, así como la posibilidad de eliminar o gestionar los desechos actuales presentes y los generados a futuro.

Finalmente, para futuras investigaciones se considera necesario examinar los tratados del derecho internacional que regulan la exploración y la utilización del espacio ultraterrestre y los desechos espaciales generados debido a estas actividades, conforme a los principios de la Declaración de Río de 1992, de forma tal que se pueda obtener una perspectiva del derecho internacional ambiental frente a la solución de la problemática planteada en este artículo.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

- Adilov, N., Alexander, P. J., & Cunningham, B. M. (2018). An economic “Kessler Syndrome”: A dynamic model of earth orbit debris. *Economics Letters*, *166*, 79–82. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165176518300818>
- Adilov, N., Cunningham, B. M., Alexander, P. J., Duvall, J., & Shiman, D. R. (2019). Left for Dead: Anti-competitive Behavior in Orbital Space. *Economic Inquiry*, *57*(3), 1497–1509.
- Adilov, N., Alexander, P. J., & Cunningham, B. M. (2020). The economics of orbital debris generation, accumulation, mitigation, and remediation. *The Journal of Space Safety Engineering*, *7*(3), 447–450. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jsse.2020.07.016>
- Adushkin, V. V., Aksenov, O. Y., Veniaminov, S. S., Kozlov, S. I., & Tyurenkova, V. V. (2020). The small orbital debris population and its impact on space activities and ecological safety. *Acta Astronautica*, *176*, 591-597.
- Álvarez-Gayou Jurgenson, J. L., Camacho y López, S. M., Maldonado Muñiz, G., Trejo García, C. Átala, Olguín López, A., & Pérez Jiménez, M. (2014). La investigación cualitativa. *XIKUA Boletín Científico De La Escuela Superior De Tlahuelilpan*, *2*(3). Recuperado de: <https://doi.org/10.29057/xikua.v2i3.1224>.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (1993). Resolución A/RES/73/6. Quincuagésimo aniversario de la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos: el espacio como motor del desarrollo sostenible. Recuperado de: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N18/343/89/PDF/N1834389.pdf?OpenElement>.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2007). Resolución A/RES/62/217. Cooperación internacional para la utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos. Recuperado de: [https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES\\_62\\_217S.pdf](https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_62_217S.pdf).
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2018). A/AC.105/L.315. Directrices relativas a la sostenibilidad a largo plazo de las actividades en el espacio ultraterrestre. Recuperado de: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/LTD/V18/010/07/PDF/V1801007.pdf?OpenElement>.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2018). Resolución A/RES/47/68. Principios pertinentes a la utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre. Recuperado de: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N93/104/21/IMG/N9310421.pdf?OpenElement>.

- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2019). A/AC.105/1203. Informe de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos sobre su 58° periodo de sesiones, celebrado en Viena del 1 al 12 de abril de 2019. Recuperado de: <https://derechoaeroespacial.org/cont/documentos/actos/docu-328.pdf>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2019). A/AC.105/2019/WG2030/L.1. Informe de la labor del Grupo de Trabajo encargado de la Agenda “Espacio2030” de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos. Recuperado de: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/LTD/V19/049/84/PDF/V1904984.pdf?OpenElement>.
- Aschbach, J. (2020). ESA and the Tri-agency Dashboard. *AGU Fall Meeting Abstracts*. Vol. 2020 pp. U012-01.
- Bess, T.D. (1975). Mass distribution of orbiting man-made space debris. *NASA Technical Note*. N. L-10477. Recuperado de: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19760007896><https://ntrs.nasa.gov/citations/19760007896>
- Button, M. (2012). Cleaning up space: The Madrid Protocol to the Antarctic Treaty as a model for regulating orbital debris. *William & Mary Environmental Law and Policy Review*, 37(2), 539–568.
- Álvarez C., C. E., Corredor G., C. G., Molano V., Á. & Zorrila, M. F. (2020). El espacio exterior, escenario de competencia o cooperación en América del Sur: los casos de Argentina, Brasil, México y Venezuela. *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia., Volumen 1*. 239. Recuperado de: <https://doi-org.ez.urosario.edu.co/10.25062/9789585245624.04>
- Catalá, M. R. (2022). La conquista espacial: la responsabilidad de los Estados por las actividades de las empresas en el espacio ultraterrestre. *Revista Boliviana de Derecho*, (33), 724-751.
- Chanoine, A. (2017). Environmental impacts of launchers and space missions. *Clean Sp. Ind. Days, ESTEC, Noordwijk*. Recuperado de: [https://indico.esa.int/event/181/contributions/1443/attachments/1336/1561/2017\\_CSI\\_D\\_Chanoine\\_LCA\\_launcher\\_space\\_missions\\_FV.PDF](https://indico.esa.int/event/181/contributions/1443/attachments/1336/1561/2017_CSI_D_Chanoine_LCA_launcher_space_missions_FV.PDF).
- Chrysaki, M. (2020). The sustainable commercialization of space: the case for voluntary code of conduct for the space industry. *Space Policy*, 52, 101375. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2020.101375>.
- Dallas, J.A., Raval, S., Álvarez Gaitán J.P., Saydam, S.& Dempster, A.G (2020). The environmental impact of emissions from space launches: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, Volume 255. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120209>.

- De Faramiñán Gilbert, J. M. (2017). La cooperación internacional en el ámbito del Espacio Ultraterrestre. En C. Pérez González, A. Cebada Romero (Coord.), F. M. Mariño Menéndez (Dir.), *Instrumentos y regímenes de cooperación internacional* (pp. 427-447).
- De Faramiñán Gilbert, J. M. (2020). Las Controvertidas cuestiones sobre la minería espacial. Lagunas jurídicas en la regulación del espacio ultraterrestre, Kinnamon, Santa Cruz de Tenerife, prólogo de Sergio Marchisio, 174 p. *Revista Española de Derecho Internacional*,
- De Faramiñán Gilbert, J. M. (2021). Nuevas propuestas para el desarrollo sostenible en el espacio ultraterrestre. *Revista Española de Derecho Internacional*, 73(1), 111-136.
- Delgado, L. (2016). Space sustainability approaches of emerging space nations: Brazil, Colombia, and Mexico. 37(1), 24-29
- Delgado-Martínez, J. G., & Álvarez-León, R. (2018). Aspectos bioéticos relacionados con la basura espacial y sus efectos sobre la vida en la Tierra y la exploración aeroespacial. *Persona y Bioética*, 22(1), 39-55.
- Erhart, L., Boutovitskai, M. (2021). Transforming Article VI of the Outer Space Treaty into an Effective Mechanism of Space Debris Mitigation. *ESA Space Debris Office. Vol. 8 Issue 1.* Recuperado de: <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc8/paper/223/SDC8-paper223.pdf>ESA Space Debris Office (2022). ESA's annual space environment report 2022.
- Gaggero, M. (2021). La sostenibilidad de las actividades espaciales aspectos jurídicos de los desechos espaciales. Curso de formación IILA/RECYT mercosur. Recuperado de: <https://iila.org/wp-content/uploads/2021/11/Curso-IILA.-Nov.-2021.LA-SOSTENIBILIDAD-DE-LAS-ACTIVIDADES-ESPACIALES.pdf>
- Galdámez Ballester, C., & Ramón Fernández, F. (2021). Objetos, vehículos y tripulaciones en el transporte en el Espacio Ultraterrestre. *Revista de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas*, 51(135), 368-395.
- <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/3444>García, M. (2021). Space debris and human spacecraft. Recuperado de: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/news/orbital\\_debris.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html).
- González, E. (2021). La regulación de las actividades espaciales como estrategia de seguridad y crecimiento nacional. *Cuadernos de estrategia*, (208), 213-294.
- Gugunskiy, D., Chernykh, I., Khairutdinov, A. (2020). Legal Model for Activities on the Exploration and Utilization of Space Resources: Towards the "Space-2030" Agenda.

*Advances in intelligent Systems and Computing, vol 1100. Springer, Chan.*  
Recuperado de: [https://doi-org.ez.urosario.edu.co/10.1007/978-3-030-39319-9\\_73](https://doi-org.ez.urosario.edu.co/10.1007/978-3-030-39319-9_73)

Henry, C. (2018). LEO and MEO broadband constellations mega source of consternation. *Space News, March*.

Hutagalung, J. M., Tobing, C.I., Debastri, J., & Amanda, R.T. (2020). Space debris as environmental threat and the requirement of Indonesia's prevention regulations. IOPP Conference Series: *Earth and Environmental Science. Vol. 456, no. 1, p. 012081*.  
Recuperado de: doi:10.1088/1755-1315/456/1/012081

Jerónimo, R. A. (2021). El derecho en el espacio ultraterrestre y el régimen jurídico de los objetos espaciales.

Jiménez González, M. (2022). Nuevos retos jurídicos internacionales en el espacio ultraterrestre: Hacia una explotación económica sostenible.

Kessler, D. J., & Cour-Palais, B. G. (1978). Collision frequency of artificial satellites: The creation of a debris belt. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 83(A6), 2637-2646.

Kocifaj, M., Kundracik F., Barentine, J., Bará s. (2021). The proliferation of space objects is a rapidly increasing source of artificial night sky brightness, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Volume 504, Issue 1, Pages L40–L44,  
Recuperado de: <https://doi.org/10.1093/mnrasl/slab030>.

Martínez, M. C. I. (2012). Los desechos espaciales y su tratamiento en el derecho del espacio ultraterrestre. *Revista de Derecho Publico*, (29).

Martinez, P. (2018). Development of an international compendium of guidelines for the long-term sustainability of outer space activities. *Space Policy*, 43, 13-17.

Martinez, P. (2021). The UNCOPUOS Guidelines for the Long-Term Sustainability of Outer Space Activities. *Journal of Space Safety Engineering*, 8(1), 98-107.

Martinez, P. (2022). The development and implementation of international UN guidelines for the long-term sustainability of outer space activities. *Advances in Space Research*.

Maury, T., Loubet, P., Ouziel, J., Saint-Amand, M., Dariol, L., & Sonnemann, G. (2017). Towards the integration of orbital space use in Life Cycle Impact Assessment. *Science of the Total Environment*, 595, 642-650.

Maury, T., Serrano, S. M., Loubet, P., Sonnemann, G., & Colombo, C. (2019). Assessing the impact of space debris on orbital resource in life cycle assessment: a proposed method and case study. *Science of The Total Environment*, 780-791.

- Maury, T., Serrano, S. M., Loubet, P., Sonnemann, G., & Colombo, C. (2020a). Space debris through the prism of the environmental performance of space systems: the case of Sentinel-3 redesigned mission. *Journal of Space Safety Engineering*, 7(3), 198-205.
- Maury, T., Serrano, S. M., Loubet, P. & Sonnemann, G. (2020b). Application of environmental life cycle assessment (LCA) within the space sector: a state of the art. *Acta Astronaut.*, 170 (2020), pp. 122-135.
- Migaud, M. R. (2020). Protecting Earth's Orbital Environment: Policy Tools for Combating Space Debris. *Space Policy*, 52, 101361.
- Miroux, L. (2022). Environmental limits to the space sector's growth. *Science of The Total Environment*, 806, 150862.
- Muñoz Patchen, C. (2018). Regulating the space commons: Treating space debris as abandoned property in violation of the outer space treaty. *Chi. J. Int'l L.*, 19, 233. *Chi. J. Int'l L.*, 19, 233.
- NASA. (2016). Space Science Data Coordinated Archive. Recuperado de: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1961-031A>
- Nazarenko, A. I., & Usovik, I. V. (2022). Space debris in low earth orbits region: Formation and reduction process analysis in past decade. *Acta Astronautica*, 194, 383-389.
- Ostrom, E. (2009). Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems. *Nobel Prize Lecture*.
- Palazón, M. Y. (2018). Los desafíos medioambientales en el espacio ultraterrestre en el marco de la segunda era espacial. *Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos*, (12), 177-214.
- Palmroth, M., Tapio, J., Soucek, A., Perrels, A., Jah, M., Lönnqvist, M., Nikulainen, M., Piaulokaite, V., Seppälä, T., & Virtanen, J. (2021). Toward Sustainable Use of Space: Economic, Technological, and Legal Perspectives. *Space Policy*, Vol. 57. Recuperado de: [10.1016/j.spacepol.2021.101428](https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2021.101428)
- Pardini, C., & Anselmo, L. (2022). Using the space debris flux to assess the criticality of the environment in low Earth orbit. *Acta Astronautica*, 198, 756-760-760. Recuperado de: <https://doi-org.ez.urosario.edu.co/10.1016/j.actaastro.2022.05.045>
- Pastor R., J. A. (2016). Curso de derecho internacional público y organizaciones internacionales. Madrid, 15º ed., Tecnos, 2011, 829 pp. *Revista Española de Derecho Internacional*.

- Pelton, J. N. (2019). A path forward to better space security: Finding new solutions to space debris, space situational awareness and space traffic management. *Journal of Space Safety Engineering*, 6(2), 92-100.
- Plattard, S., & Smith, A. (2021). Reducing vulnerabilities of space activities: A call for coordinated leadership at the global level. *Journal of Space Safety Engineering*, 8(4), 323-330.
- Popova, R., & Schaus, V. (2018). The legal framework for space debris remediation as a tool for sustainability in outer space. *Aerospace*, 5(2), 55.
- Prasad, M. D. (2019). Relevance of the sustainable development concept for international space law: An analysis. *Space Policy*, 47, 166-174.
- Restrepo S., A. D. (2018). Amenaza al principio de libertad de acceso al espacio ultraterrestre instituido por el tratado de 1967.
- Rey M., D. E. (2021). Derecho internacional y Economía Política en el cosmos: geopolítica, intereses y límites en la explotación de recursos naturales en el espacio ultraterrestre.
- Rao, A., Burgess, M. G., & Kaffine, D. (2020). Orbital-use fees could more than quadruple the value of the space industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(23), 12756-12762–12762. Recuperado de: <https://doi-org.ez.urosario.edu.co/10.1073/pnas.1921260117>
- Rodríguez, D. M., & Vidal, L. (2021). Satélites Ambientales para el Monitoreo de Gases de Efecto Invernadero.
- Ross, M., & Veda, J. A. (2018). The policy and science of rocket emissions. *Center for Space Policy and Strategy, The Aerospace Corporation*. Recuperado de: [https://csps.aerospace.org/sites/default/files/2021-08/RocketEmissions\\_0\\_0.pdf](https://csps.aerospace.org/sites/default/files/2021-08/RocketEmissions_0_0.pdf).
- Shan, M., & Shi, L. (2022). Comparison of Tethered Post-Capture System Models for Space Debris Removal. *Aerospace*, 9(1), 33.
- Simón, L. F., Gutiérrez, S. D. S., Siade, J. A. A., Fuentes, C. R., & Aguilar, A. R. (2013). The project management model that incorporates the spatial sustainability within the design process of small satellites. In *2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)* (pp. 565-569). IEEE.
- Tomizaki, H., Kobayashi, R., Suzuki, M., Karasawa, N., Hasegawa, S., & Makihara, K. (2021). Assessment of space debris collisions against spacecraft with deorbit devices. *Advances in Space Research*, 67(5), 1526-1534.
- Tronchetti, F. (2013). *Fundamentals of space law and policy* (Vol. 26). New York: Springer.

- Trur, A. (2021). Governance aspects of space sustainability: The role of epistemic actors as enablers of progress. *Acta Astronautica*, 180, 451-459.
- Tyson, J. A., Ivezić, Ž., Bradshaw, A., Rawls, M. L., Xin, B., Yoachim, P., ... & Polin, D. (2020). Mitigation of LEO satellite brightness and trail effects on the Rubin Observatory LSST. *The Astronomical Journal*, 160(5), 226.
- Undseth, M., C. Jolly and M. Olivari (2020), "Space sustainability: The economics of space debris in perspective", OECD Science, *Technology and Industry Policy Papers*, No. 87, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a339de43-en>.
- Urrea, L. B. (2013). Régimen jurídico de los objetos espaciales. *Revista de Derecho, Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*, (10), 14.
- Vázquez, B. G. (2020). El espacio ultraterrestre, ámbito de difusión de la paz y medios para lograrlo. *Dikê: Revista de Investigación en Derecho, Criminología y Consultoría Jurídica*, (28), 247-280.
- Wen, Q., Yang, L., Zhao, S., Fang, Y., Wang, Y., & Hou, R. (2018). Impacts of orbital elements of space-based laser station on small scale space debris removal. *Optik*, 154, 83-92.
- Wright, D. (2007). Orbital Debris Produced by Kinetic-Energy Anti-Satellite Weapons. En United Nations Institute for disarmament research (ed.), *Celebrating the space age. 50 years of space technology*.
- Zhongming, Z., Linong, L., Xiaona, Y., Wangqiang, Z., & Wei, L. (2021). Satellites Contribute Significant Light Pollution to Night Skies.
- Zhu, M. K. (2022). A break-even analysis of orbital debris and space preservation through monetization. *Journal of Space Safety Engineering*.