

CAPÍTULO SÉPTIMO

SOSTENIBILIDAD DEL ESPACIO

La sostenibilidad⁴¹² del espacio busca preservar el medio espacial para las generaciones presentes y futuras, con la finalidad de que las múltiples actividades espaciales puedan continuar, y lo puedan hacer sin poner en riesgo la vida en la Tierra.

Si bien la sostenibilidad del espacio no fue un tema a considerar cuando se discutieron los tratados y convenios que forman parte del *corpus iuris spatialis*, hoy día es de enorme relevancia, porque si la sostenibilidad del espacio no se atiende con la prioridad que se debe y de manera adecuada, existen múltiples riesgos y consecuencias de alto impacto para la humanidad.

⁴¹² ¿Sostenibilidad o sustentabilidad? Tanto el *Diccionario del español de México* de El Colegio de México como el de la Real Academia de la Lengua Española incluyen como sinónimos de sustentable el vocablo “sostenible”. Aun cuando pueden estimarse como sinónimos y, por ende, poder utilizarse *sostenibilidad* o sustentabilidad, dado que en la ONU se ha utilizado más el término “sostenible”, se empleará éste.

Diccionario del español de México, “sustentable... Que se sustenta o se puede sustentar; que se puede mantener en sus características o ventajas a lo largo del tiempo, especialmente racionalizando su uso o su explotación; sostenible”.

“Sostenible... Que se sostiene o se puede sostener; sustentable”, *Diccionario del español mexicano*, “Sustentable”, México, consulta: 12 de mayo de 2023, disponible en: <https://dem.colmex.mx/Ver/sustentable>.

Diccionario de la lengua española de la Real Academia Española “Sustentable... Que se puede sustentar o defender con razones... sostenible (que se puede mantener sin agotar los recursos). Sostenible... Que se puede sostener... Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente”. Real Academia Española, “Sustentable”, *Diccionario de la lengua española*, Madrid, última actualización: 2022, consulta: 12 de mayo de 2023, disponible en: <https://dle.rae.es/sustentable>.

Podría alguien cuestionar por qué debiera haber preocupación de la sostenibilidad del espacio cuando existen muchos desafíos a la sostenibilidad del medio ambiente en la Tierra. La respuesta simple y contundente es: ambas deben atenderse con la más alta prioridad, a pesar de que cada una requiere acciones distintas, de actores diferentes.

Las acciones para la protección del medio ambiente en la Tierra van desde la que cada persona puede realizar en su hogar y en su vida diaria hasta los esfuerzos de todos los países y empresas. Las medidas para la sostenibilidad del espacio son más sofisticadas; no dependen de la acción/omisión de las personas de a pie; no todos los países realizan actividades espaciales, mientras que la participación de empresas del sector privado de ciertos países va en franco crecimiento; y la investigación y el desarrollo en materia espacial —aunque ha avanzado mucho— es incipiente, y no en todos los países se realiza.

Este capítulo se inicia con responder a la pregunta de qué es la sostenibilidad y por qué es importante, para continuar con una sección destinada a los desechos o basura espacial que se consideran uno de los más grandes desafíos para la sostenibilidad a largo plazo del espacio. Dentro de esta sección se explica el síndrome de Kessler, el cementerio de naves espacial y la órbita cementerio, así como los servicios en órbita y de remoción de basura, que prometen contribuir a atacar la problemática de los desechos espaciales. Posteriormente, se presenta lo que se conoce como conciencia situacional del espacio y el tránsito seguro. Finalmente, se realizará un análisis de cuál sería el marco normativo de la sostenibilidad del espacio.

I. ¿QUÉ ES LA SOSTENIBILIDAD DEL ESPACIO Y POR QUÉ ES IMPORTANTE?

La sostenibilidad a largo plazo de las actividades en el espacio ultraterrestre se define como la capacidad de mantener la realización de actividades espaciales indefinidamente en el futuro

de modo tal que se logren los objetivos del acceso equitativo a los beneficios de la exploración y utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos, a fin de atender las necesidades de las generaciones presentes y, al mismo tiempo, preservar el medio espacial para las generaciones futuras.⁴¹³

También se ha argumentado que la sostenibilidad a largo plazo depende de la existencia de instituciones y empresas que inviertan en investigación, desarrollo e innovación, por lo que imponer una regulación ambiental estricta pudiera afectar la competitividad del sector espacial.⁴¹⁴

Las actividades espaciales mejoran la vida en la Tierra con las comunicaciones satelitales, la observación de la Tierra (por ejemplo, para cuestiones ambientales y de prevención de desastres, monitoreo del cambio climático), la radiodeterminación y radionavegación satelital, la investigación espacial, así como con los datos que se obtienen de las actividades espaciales.⁴¹⁵ Además, las actividades espaciales han sido identificadas como esenciales para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible, por lo cual son de vital importancia, especialmente para los países en desarrollo.⁴¹⁶

De no atenderse la sostenibilidad del espacio, se interrumpirían e inhabilitarían servicios y actividades espaciales; las ven-

⁴¹³ Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA), *Directrices Relativas a la Sostenibilidad a Largo Plazo de las Actividades en el Espacio Ultraterrestre de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (Directrices de Sostenibilidad del Espacio)*, Viena, UNOOSA, 2021, disponible en: https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2021/stspace/stspace79_0_html/st_space79S.pdf, p. 5.

⁴¹⁴ Undseth, M. et al., *Space Sustainability: The Economics of Space Debris in Perspective*, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, OECD Publishing, París, 2020, disponible en: <https://doi.org/10.1787/a339de43-en>, p. 45.

⁴¹⁵ Bohlmann, Ulrike y Petrovici, Gina, *op. cit.*, p. 3. Secure World Foundation, *Space Sustainability: A Practical Guide*, Secure World Foundation, 2014, disponible en: https://swfound.org/media/206289/swf_space_sustainability-a_practical_guide_2018__1.pdf.

⁴¹⁶ Directrices de Sostenibilidad del Espacio, párrafo 1.

tan para lanzamientos se volverían más escasas.⁴¹⁷ Más aún, e independientemente de los efectos directamente asociados con la sostenibilidad en el espacio, Yap y Truffer, citando diversas investigaciones, mencionan otros efectos adversos, tales como la acumulación de hollín como producto de los lanzamientos que pueden incrementar el cambio climático o contribuir a la desaparición de la capa de ozono; la contaminación marina; la obstrucción de la observación astronómica, y la contaminación por luz que ocasionaría confusión a las aves migratorias.⁴¹⁸

La sostenibilidad del espacio a largo plazo involucra:

- *Basura espacial.* Ésta tiene impacto en las actividades del espacio: riesgos de colisión entre los propios objetos que son desechos espaciales (por ejemplo, satélites fuera de funcionamiento, etapas de los vehículos de lanzamiento que se van liberando a lo largo de la misión) y entre estos y satélites en operación, estaciones espaciales o vehículos de lanzamiento; riesgos de explosión de los desechos que impacte a otros objetos en el espacio; para la astronomía pueden representar obstáculos a la investigación,⁴¹⁹ entre otros.
- *Navegación segura de la Tierra-espacio, y viceversa.* Las naves espaciales requieren que al viajar al espacio y en su retor-

⁴¹⁷ Mallowan, Lucas *et al.*, *op. cit.*, p. 159.

⁴¹⁸ Yap, Xiao-Shan y Truffer, Bernhard, “Contouring «earth-space sustainability»”, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Países Bajos, vol. 44, septiembre de 2022, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.06.004>, pp. 185-193, pp. 187-188.

⁴¹⁹ Las afectaciones para la astronomía y la radioastronomía son: i) derivadas del brillo de los satélites, que impide tener una imagen adecuada del cosmos, lo que dificulta detectar objetos espaciales, como los asteroides y cometas o que crea ruido, lo cual puede causar una identificación errónea de fenómenos; y ii) cuando los satélites están en la parte de sombra pueden bloquear la vista de estrellas y objetos astronómicos. Para más información sobre astronomía y afectaciones derivadas de satélites, así como las acciones que se están emprendiendo y el derecho internacional, véanse Byers, Michael y Boley, Aaron, *op. cit.*, pp. 91-99.

no tengan un trayecto sin afectaciones de otros objetos espaciales en servicio, ni de la basura espacial.

- *Explotación de recursos espaciales.* Ésta incluye desde la utilización de órbitas y frecuencias del espectro radioeléctrico hasta la minería espacial, que tiene sus propios retos técnicos, jurídicos y de gobernanza.⁴²⁰

Ahora bien, ¿por qué hoy día está en boga la sostenibilidad del espacio con mayor fuerza? Por múltiples razones, entre las cuales se encuentran: el incremento de los actores espaciales del sector privado; el aumento en el número de satélites que se están lanzando y se planean colocar en el espacio (por ejemplo, constelaciones en la órbita LEO de miles de satélites); el ingreso de muchas instituciones académicas y de investigación con satélites pequeños y de misiones de corta duración; la reducción de costos de lanzamiento que hace más accesible llegar al espacio; la cantidad de basura espacial existente y la que se sigue generando; el turismo espacial, etcétera.⁴²¹ Además, existe necesidad de que las prácticas actuales contrarias a la sostenibilidad del espacio no se conviertan en las normas del espacio.⁴²²

Múltiples son las instituciones que están abordando la sostenibilidad del espacio, como la COPUOS y el Inter-Agency Space

⁴²⁰ Yap y Truffer argumentan, con relación a la sostenibilidad del espacio, que ésta debe ir más allá de la gobernanza de órbitas terrestres y debe incluir otros espacios como la minería espacial y la manufactura en el espacio. Yap, Xiao-Shan y Truffer, Bernhard, *op. cit.*, nota 7, p. 188.

Por su parte, Prasad afirma que es indispensable que el derecho internacional espacial evolucione para evitar la sobreexplotación sin un beneficio equitativo y una compartición de recursos. Prasad, Deva, *op. cit.*, p. 172.

⁴²¹ Denis, Gil *et al.*, “From new space to big space: How commercial space dream mis becoming a reality”, *Acta Astronautica*, vol. 166, enero de 2020, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.08.031>, p. 435; Directrices de Sostenibilidad del Espacio, numeral 1; Yap, Xiao-Shan y Truffer, Bernhard, *op. cit.*, pp. 185-193.

⁴²² Secure World Foundation, *op. cit.*, p. 6.

Debris Coordination Committee (IADC),⁴²³ además de agencias espaciales nacionales, empresas del sector espacial, universidades y centros de investigación.⁴²⁴

II. BASURA ESPACIAL

Los desechos espaciales o basura espacial se definen⁴²⁵ 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”.⁴²⁶

La basura espacial,⁴²⁷ por una parte, está formada por naves espaciales (las etapas de los cohetes que —durante el lanzamiento— al finalizar cada una de las etapas, se van desprendiendo),

⁴²³ Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, “What’s IADC”, última actualización: 2019, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: https://www.iadc-home.org/what_iadc.

⁴²⁴ Para más información sobre propuestas económicas para la sostenibilidad del espacio, véase Undseth, M., *et al.*, *op. cit.*, y Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, *Earth’s Orbits at Risk: The Economics of Space Sustainability*, OCDE Publishing, París, 2022, consulta: 07 de mayo de 2023, disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/sites/16543990-en/1/3/2/index.html?itemId=/content/publication/16543990-en&_csp_=854a4bce42a0a0ccab7782305a6fe7d7&itemIGO=oecd&itemContentType=book.

⁴²⁵ No hay una definición jurídica precisa de basura espacial, por lo que sirve esta definición técnica en las Directrices contra la Basura Espacial. Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 19.

⁴²⁶ Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS), *Directrices para la Reducción de Desechos Espaciales* (Directrices contra la Basura Espacial), 2007, <https://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/COPUOS-GuidelinesS.pdf>.

⁴²⁷ También existe “basura” natural espacial, como fragmentos de meteorito, que se ha demostrado que no representan —en su mayoría— riesgo a los satélites, estimándose que la “basura” natural espacial podría ocasionar la pérdida de un satélite cada veinte años. *Cf.* National Security Technology Accelerator, “Space Situational Awareness (SSA) and Space Traffic Management (STM)”, California, última actualización: 7 de marzo de 2023, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://nstxl.org/space-situational-awareness-and-space-traffic-management/>

satélites en desuso y objetos liberados durante las misiones espaciales, y, por otra parte, la basura espacial también es generada por fragmentación intencional y no intencional o accidental.⁴²⁸

La fragmentación se da por múltiples razones, entre las que se encuentran: 1) la colisión accidental entre satélites, entre satélites y desechos, entre objetos en el espacio; 2) la deliberada, que desprende de manera intencional elementos de los satélites y naves por detonación (por ejemplo, satélites que fueron diseñados para explotar en caso de que no pudieran regresar a la atmósfera, satélites destruidos por pruebas militares); 3) las explosiones causadas por el combustible o energía en los satélites/cohetes en desuso; 4) los desprendimientos no intencionales de elementos de los satélites/cohetes.⁴²⁹

Se han realizado esfuerzos por tener un catálogo de los desechos espaciales y rastrearlos. Sin embargo, se estima que los 20,000 objetos de basura espacial catalogados no representan ni el 0.02% de la basura total.⁴³⁰

La mayoría de los desechos espaciales catalogados son de fragmentación de las naves espaciales y de las etapas orbitales de los vehículos de lanzamiento (véase cap. cuarto, III.3), y se estima

⁴²⁸ Clormann, Michael y Klimburg-Witjes, Nina, “Troubled Orbits and Earthly Concerns: Space Debris as a Boundary Infrastructure”, *Science, Technology, & Human Values*, Londres, núm. 5, vol. 47, junio de 2021, disponible en: <https://doi.org/10.1177/01622439211023554>, pp. 960-985, pp. 961 y 966; Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA), *Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, UNOOSA, Viena, 2010, disponible en: https://www.unoosa.org/pdf/publications/st_space_49E.pdf, numeral 1; Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y European Space Agency, “Infographic 6: the history of space debris creation”, UNOOSA and ESA space debris infographics and podcasts, Ginebra, última actualización: 10 de febrero de 2021, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.unoosa.org/oosa/en/informationfor/media/unoosa-and-esa-release-infographics-and-podcasts-about-space-debris.html>

⁴²⁹ Artículo 1 de las Directrices contra la Basura Espacial; Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y European Space Agency, “Infographic 6:...”, *cit.*

⁴³⁰ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 34.

que en un futuro la basura espacial se formará en gran medida por los fragmentos generados por colisiones.⁴³¹

La basura espacial pone en riesgo la vida humana en casos de naves espaciales tripuladas y estaciones espaciales (estación espacial internacional o ISS, por sus siglas en inglés de *International Space Station*), al tiempo que representan una amenaza para los satélites en operación por el riesgo de colisión.⁴³²

De hecho, se estima que la principal amenaza a la sostenibilidad de largo plazo de las operaciones espaciales es precisamente la acumulación de basura espacial.⁴³³

Por más pequeños que sean los desechos espaciales, pueden generar desde indisponibilidad de los servicios hasta la total destrucción de un satélite o nave espacial. Lo anterior, debido a que los desechos espaciales viajan a muy altas velocidades,⁴³⁴ por lo cual una partícula de un cm viajaría a 10 km/segundo, pudiendo el impacto de esa partícula ser equivalente a un choque de un auto pequeño a cuarenta km/hr.⁴³⁵ Más aún, la basura espacial también puede impactar a una nave espacial que está yendo a colocarse en su órbita.⁴³⁶

⁴³¹ Directrices contra la Basura Espacial, numeral 1, y directriz 5.

⁴³² En un estudio que incluyó entrevistas a distintas personas especialistas en temas del espacio, se expresaron preocupaciones respecto a que la basura espacial podría generar indisponibilidad de infraestructura para comunicaciones y observación de la Tierra. Adicionalmente, una persona entrevistada destacó que el problema de la basura espacial es uno global, sin importar si es un par de países o empresas privadas las que generan ingentes cantidades de basura. Clormann, Michael y Klimburg-Witjes, Nina, *op. cit.*, pp. 969 y 971.

⁴³³ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 14.

⁴³⁴ Clormann, Michael y Klimburg-Witjes, Nina, *op. cit.*, pp. 961 y 962.

⁴³⁵ Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y European Space Agency, “Infographic 7: the impact of space debris creation”, UNOOSA and ESA space debris infographics and podcasts, Ginebra, última actualización: 10 de febrero de 2021, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.unoosa.org/oosa/en/informationfor/media/unoosa-and-esa-release-infographics-and-podcasts-about-space-debris.html>

⁴³⁶ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 25.

- El primer accidente verificado entre un satélite funcionando (Cerise) y un objeto espacial catalogado (desechos del cohete Ariane lanzado en 1986) ocurrió en 1996, y dejó severamente afectado al satélite Cerise.⁴³⁷
- El satélite chino de clima Feng-Yun-1C lanzado al espacio en 1999 fue destruido en una prueba antisatélite por el gobierno de China en 2007, lo que generó miles de fragmentos de basura espacial, y que se considera el evento que más fragmentos ha generado.⁴³⁸
- El accidente de los satélites de comunicaciones Cosmos 2251 (en desuso) e Iridium 33 (en servicio) en 2009 a una velocidad relativa de 11.7 km/segundo⁴³⁹ creó más de 140,000 fragmentos de basura espacial, con lo cual se incrementó de manera importante la basura espacial.⁴⁴⁰
- Rusia llevó a cabo una prueba antisatélite (*antisatellite test*) de armas sobre un satélite ruso en desuso (Cosmos 1408) lanzado en 1982, que fue destruido (noviembre de 2021). Los tripulantes de la ISS tuvieron que resguardarse.⁴⁴¹
- La Estación Espacial Internacional que está en una órbita LEO a una altitud de 400 km, sólo en 2022 tuvo que maniobrar tres veces para evitar ser impactada por basura espacial.⁴⁴²

⁴³⁷ Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y European Space Agency, “Infographic 7:...”, *cit.*

⁴³⁸ Byers, Michael y Boley, Aaron, *op. cit.*, pp. 326 y 327.

⁴³⁹ *Idem.*

⁴⁴⁰ Clormann, Michael y Klimburg-Witjes, Nina, *op. cit.*, pp. 961 y 962.

⁴⁴¹ Gohd, Chelsea, “Russian anti-satellite missile test draws condemnation from space companies and countries”, *space.com*, última actualización 10 de agosto de 2022, última consulta: 5 de junio de 2023, disponible en: <https://www.space.com/russian-anti-satellite-missile-test-world-condemnation>.

⁴⁴² Desde 1999, la EEI ha tenido que maniobrar 33 veces para evadir basura espacial. Sin embargo, con el crecimiento de la basura espacial es probable que dichos eventos sean más recurrentes. NASA Orbital Debris Program Office, “Two More On-orbit Fragmentations in 2022”, *Orbital Debris: Quarterly News*, Texas, núm. 1, vol. 27, marzo de 2023, disponible en: <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv27i1.pdf>, p. 2. Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 27.

La basura espacial identificada proviene principalmente de China, Estados Unidos y Rusia.⁴⁴³

Con los sistemas de conciencia situacional espacial o *Space Situational Awareness* (véase la sección III de este capítulo) se puede realizar una aproximación a la cantidad de objetos de basura espacial.

La basura espacial continuará incrementándose debido tanto al número de satélites de las constelaciones en órbitas LEO como a los satélites pequeños y satélites con misiones de corta duración del sector académico,⁴⁴⁴ así como por el mayor número de actores espaciales del sector privado, la participación constante de los países con una larga historia de actividades espaciales y de aquellos que recién ingresan a estas, la multiplicidad de actividades en el espacio que van, desde las tradicionales de observación de la Tierra y comunicaciones, hasta el turismo espacial.⁴⁴⁵

Para reducir la basura espacial, las Directrices para la Reducción de Desechos Espaciales de la COPUOS (Directrices contra la Basura Espacial) identifican medidas en distintas etapas, como: 1) en la planeación de la misión, 2) durante el diseño y fabricación de satélites y vehículos de lanzamiento, y 3) en la etapa operacional (lanzamiento-misión-disposición final) (Directrices contra la Basura Espacial).⁴⁴⁶

Colisiones. Una de las preocupaciones principales de la basura espacial es el riesgo de colisión en el espacio con otros satélites en operación, que incluso pueden llegar a ser destruidos, así como los daños que los desechos espaciales pueden causar si no se desintegran al entrar a la Tierra.⁴⁴⁷

⁴⁴³ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 21.

⁴⁴⁴ En el sector académico se están utilizando los Cubesats en la órbita LEO, y muchos, al no traer propulsión no pueden desorbitarse. *Ibidem*, p. 17.)

⁴⁴⁵ Bohlmann, Ulrike y Petrovici, Gina, *op. cit.*, p. 2.

⁴⁴⁶ Dentro de las medidas de largo plazo se encuentran la disposición de los objetos espaciales al final de su vida útil. Directrices contra la Basura Espacial, numeral 1.

⁴⁴⁷ Directrices contra la Basura Espacial, numeral 1; Prasad, Deva, *op. cit.*, p. 171.

Debe señalarse que algunas partes de los satélites pueden protegerse con escudos, por ejemplo, pero otras partes no, como es el caso de los paneles solares, a los cuales es más difícil de protegerlos de una posible colisión con basura espacial.

La Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) recomendó incluir tecnología para desorbitar y para evitar colisiones, sin que exista una buena implementación de estas sugerencias del IADC debido a los costos.⁴⁴⁸

Para evitar colisiones, se requiere de comunicación constante y cooperación de los actores espaciales, además de mejorar la Conciencia Situacional del Espacio. Byers y Boley argumentan que se requiere una acción decidida y fuerte de la mayor parte de los Estados nación para asegurar la adopción de las mejores prácticas para evitar colisiones y evitar que éstas se tengan que hacer obligatorias después de que ocurra un accidente mayor, como fue el caso del desastre de derrame de petróleo de Exxon Valdez. Dichos autores recuerdan que las colisiones con las megaconstelaciones satelitales son totalmente probables.⁴⁴⁹

Pasivación. En cuanto a evitar la explosión de un objeto espacial en desuso, se ha acostumbrado realizar la pasivación, en la cual el objeto espacial descarga el combustible y las fuentes de energía que tiene para evitar que explote y genere fragmentos espaciales.⁴⁵⁰

Síndrome de Kessler. Los desechos espaciales o basura espacial pueden generar más desechos, que a su vez pueden ocasionar un

⁴⁴⁸ En cuanto a la implementación de tecnología para desorbitar y evitar colisiones que añada costos a la fabricación de los satélites, Byers y Boley recuerdan que la IADC señaló una baja implementación en 2017 y, aun cuando en 2022 la FCC reportó una mejora en las métricas de la disposición al final de la vida útil de los satélites, eso quizá se deba a las prácticas internas de SpaceX y al número de sus satélites que pueda estar diluyendo la métrica y ocultando la tasa de no cumplimiento. Byers, Michael y Boley, Aarón, *op. cit.*, pp. 79 y 80.

⁴⁴⁹ Byers, Michael y Boley, Aarón, *op. cit.*, pp. 55, 59, 90 y 91.

⁴⁵⁰ Federal Aviation Administration (EUA), *Launch activity and orbital debris mitigation: second quarter 2002 – Quarterly Launch Report*, Washington D. C., 2002, disponible en: https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/15757/dot_15757_DS1.pdf.

efecto en cascada de colisiones que generen más y más basura espacial, hasta imposibilitar las actividades en el espacio, a lo cual se le conoce como el “síndrome de Kessler”.⁴⁵¹

De acuerdo con Undseth *et al.*, de darse el síndrome de Kessler, las órbitas que podrían ser más afectadas son las LEO entre 650-1,000km y hacia los 1,400 km, donde están los cinturones más densos de basura espacial, aun cuando también existe concentración de basura espacial en la órbita MEO entre los 19,000 y 23,000 km y en la órbita cementerio.⁴⁵²

Costos de la basura espacial. La protección contra la basura espacial y el reducirla tiene costos, que se están incrementando. En especial el costo de lidiar con la basura espacial tanto al planear una misión como en la operación del día a día.

Undseth *et al.* refieren que algunos operadores de la órbita GEO estiman que las medidas de protección y mitigación pueden representar entre 5-10% de los costos de la misión, en tanto que los costos en la parte alta de las órbitas LEO pueden ser más altos.⁴⁵³

En cualquier órbita, los costos de reemplazo de una nave espacial y los relacionados con los retrasos y pérdida de información son las consecuencias más directas de una colisión fatal con basura espacial. Sin embargo, hay también una multitud de otros costos que pueden afectar negativamente la masa y consumo de combustible de la nave espacial y por tanto los costos de lanzamiento y la duración de la vida operacional de la misión. Esto incluye las medidas para evitar impactos o medidas para reducirlos (por

⁴⁵¹ Síndrome de Kessler toma el nombre del científico de la NASA Donald Kessler, cuyo artículo en coautoría con Burton Cour-Palais titulado “Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt” de 1978, contribuyó al establecimiento en 1979 de la Oficina del Programa de Desechos Espaciales (*Orbital Debris Program Office*) de la NASA. Wall, Mike, “Kessler Syndrome and the space debris problem”, *Space.com*, Nueva York, última actualización: 14 de julio de 2022, consulta: 07 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.space.com/kessler-syndrome-space-debris>.

⁴⁵² Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, pp. 19 y 26.

⁴⁵³ *Ibidem*, pp. 7 y 22.

ejemplo, escudos, maniobras para evadir basura), así como medidas de mitigación de basura (por ejemplo, autorización para [usar] una órbita [orbit clearance], descargar el combustible restante) y otras consideraciones que alteran el diseño de la nave espacial (National Research Council, 2011). También están todos los demás costos asociados con vigilancia, rastreo y de dar información sobre basura.⁴⁵⁴

En los costos de las maniobras para evadir una basura espacial están también el tiempo en que los instrumentos científicos se apagan y no pueden recopilar información.⁴⁵⁵

Asimismo, los costos sociales de la no disponibilidad de servicios espaciales y satelitales serían mayores para zonas rurales que dependen más de las comunicaciones vía satélite, además de impactar servicios gubernamentales.⁴⁵⁶

A reserva de analizar el marco jurídico aplicable a la basura espacial, debe tenerse presente que existen fragmentos que son

⁴⁵⁴ “On any orbit, spacecraft replacement costs and related delays and data loss is the most direct consequence of a fatal collision with space debris. However, there are also multiple other costs that can negatively affect spacecraft’s mass and fuel consumption and hence launch costs and the length of the operational mission life. This includes impact avoidance or reduction measures (*e. g.* shielding, debris avoidance manoeuvres), as well as debris mitigation measures (*e. g.* orbit clearance, venting of residual fuel) and other considerations that alter the spacecraft’s design (National Research Council, 2011). There are also all the costs associated with debris surveillance, tracking and reporting”. *Ibidem*, p. 22 [traducción de Clara-Luz Álvarez].

National Science and Technology Council (EUA), *National Low Earth Orbit Research and Development Strategy*, Washington D. C., marzo de 2023, disponible en: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/03/NATIONAL-LEO-RD-STRATEGY-033123.pdf>.

⁴⁵⁵ Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y European Space Agency, “Infographic 3: the cost of avoiding collisions”, UNOOSA and ESA space debris infographics and podcasts, Ginebra, última actualización: 10 de febrero de 2021, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.unoosa.org/oosa/en/informationfor/media/unoosa-and-esa-release-infographics-and-podcasts-about-space-debris.html>

⁴⁵⁶ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 25.

basura espacial, que pueden ser de un milímetro y tener el potencial de generar daños a los satélites y estaciones espaciales.⁴⁵⁷ Por lo que identificar quién es el propietario de la basura espacial puede llegar a ser una labor imposible, al no poder saber a ciencia cierta de qué objeto se desprendió o de qué colisión surgió esa basura.⁴⁵⁸

1. *Cementerios y desintegración de objetos espaciales*

Cuando los objetos espaciales entran a la atmósfera de la Tierra, la fricción y el calentamiento pueden hacer que aquéllos se desintegren. Además, la altitud de la órbita en la que se encuentre el objeto espacial y el arrastre atmosférico condicionarán el tiempo en el cual el objeto regresará a la Tierra.

LEO, desintegración y cementerio. Un satélite a 500 km de altitud tardaría en regresar a la Tierra menos de veinticinco años; uno a 800 km tomaría entre cien y ciento cincuenta años; mientras que uno a 1,200 km de altitud podría tardar unos dos mil años.⁴⁵⁹

Para satélites en órbitas LEO, cuando el objeto espacial entra a la Tierra se puede desintegrar; sin embargo, puede haber partes que no se desintegren, por lo que deben rastrearse y enviarse para que caigan en zonas deshabitadas.

⁴⁵⁷ La NASA estima que hay aproximadamente cien millones de objetos de basura espacial de un milímetro o más, así como quinientos mil objetos de basura espacial de más de un centímetro. NASA, “Space Debris and Human Spacecraft”, Space Station, Texas, última actualización: 26 de mayo de 2021, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html

⁴⁵⁸ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 20.

⁴⁵⁹ Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y European Space Agency, “Infographic 2: falling to Earth takes a long time”, UNOOSA and ESA space debris infographics and podcasts, Ginebra, última actualización: 10 de febrero de 2021, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.unoosa.org/oosa/en/informationfor/media/unoosa-and-esa-release-infographics-and-podcasts-about-space-debris.html>

Al polo de inaccesibilidad del océano Pacífico sur (cerca del Punto Nemo), que está a 2,688 km de cualquier Tierra habitada, se le conoce como el “cementerio de naves espaciales”.⁴⁶⁰

El cementerio de naves espaciales debe estar generando impacto al medio ambiente marítimo, por lo que no puede asumirse que la afectación sea nula o mínima, sino que se trasladó contaminación espacial al fondo de nuestros océanos con las consecuencias que ello acarrea.

GEO y órbita cementerio. Un satélite en la órbita GEO, al no ser arrastrado a la Tierra debido a la gravedad, podría quedarse indefinidamente en dicha órbita, así que se opta por desorbitarlo (quitarlo de la órbita GEO) y colocarlo en una órbita de retiro permanente u órbita cementerio.⁴⁶¹ Lo anterior es porque dada la altitud a la que está la órbita GEO (35,786 km), sería impráctico y costoso buscar reingresar un satélite de la órbita GEO a la Tierra.

Así que al final de la vida útil de un satélite, si se trata de uno en la órbita GEO, se envía a una órbita más arriba que la GEO, donde no estorba para la ocupación de la propia órbita GEO.⁴⁶²

⁴⁶⁰ Abbany, Zulfikar, “Cementerio espacial marino: cohetes, satélites y estaciones terminan en el fondo del mar”, DW, Berlín, última actualización: 17 de mayo de 2021, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.dw.com/es/cementerio-espacial-marino-cohetes-sat%C3%A9lites-y-estaciones-terminan-en-el-fondo-del-mar/a-57562297>

Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y European Space Agency, “Infographic 5: the role of reentries”, UNOOSA and ESA space debris infographics and podcasts, Ginebra, última actualización: 10 de febrero de 2021, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.unoosa.org/oosa/en/informationfor/media/unoosa-and-esa-release-infographics-and-podcasts-about-space-debris.html>

⁴⁶¹ Oficina para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y European Space Agency, “Infographic 2:..., *cit.*; Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 19.

⁴⁶² RIA Novosti, “Así muere un satélite – infografía”, Satelital-Móvil, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.satelital-movil.com/2013/08/asi-muere-un-satelite-infografia.html>

NASA, “¿A dónde van los satélites viejos cuando mueren?”, última actualización: 31 de octubre de 2022, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://spaceplace.nasa.gov/spacecraft-graveyard/sp/>

Ello no debe interpretarse como que el satélite pierda su carácter de basura espacial.

2. *Servicios en órbita y remoción de basura*

Una vez puestos en órbita, no había sido posible reparar los satélites ni servirles combustible, por ejemplo. Hoy gracias a la investigación y el desarrollo tecnológico, existe un incipiente mercado para prestar servicios en órbita que podría extender la vida útil de satélites y estaciones espaciales. Dicha extensión de vida útil también contribuye a la sostenibilidad del espacio.

Los servicios en órbita comprenden “el prestar servicios a plataformas espaciales (por ejemplo, satélites, estaciones espaciales) para abastecerlas de consumibles y degradables (por ejemplo, propelentes, baterías, paneles solares); reemplazar funcionalidades que hayan fallado; y/o mejorar la misión a través de actualizaciones de *software* y *hardware*”.⁴⁶³

En un futuro el diseño de los satélites puede convertirse en más modular, y de esta manera aprovechar las posibilidades de servicios en órbita.⁴⁶⁴

Rendezvous y operaciones de proximidad. Si bien no existe una definición internacional del rendezvous o encuentro espacial y de las operaciones de proximidad, ambos se refieren a maniobras orbitales de dos estaciones espaciales en las cuales se acercan a una distancia corta.⁴⁶⁵

⁴⁶³ “In-orbit servicing involves a number of complex operations in space: the servicing of space platforms (*e. g.* satellite, space station) to replenish consumables and degradables (*e. g.* propellants, batteries, solar array); replacing failed functionality; and/or enhancing the mission through software and hardware upgrades”. Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 48 [traducción de Clara-Luz Álvarez].

⁴⁶⁴ *Idem.*

⁴⁶⁵ Johnson, Kaitlyn, *Rendezvous and Proximity Operations*, Center for Strategic and International Studies (CSIS), Washington, D. C., 2020, disponible en: <https://www.jstor.org/stable/resrep26047.7>, p. 18. Mallowan, Lucas *et al.*, *op. cit.*, p. 160.

El rendezvous y las operaciones de proximidad permiten “actividades tales como la inspección remota, el abastecimiento de combustible, la reparación, la reposición de piezas, así como [servicios de] mantenimiento en órbita o transferencia de órbita y la desorbitación de una nave espacial”.⁴⁶⁶

Remoción activa de basura. La remoción activa de basura espacial podría llegar a ser otra medida para contribuir a la sostenibilidad a largo plazo del ambiente espacial. Esta tarea presenta muchos retos. “Involucra operaciones de proximidad de lejos y de cerca, navegación relativa, así como rendezvous (encuentro espacial) y acoplamiento con plataformas espaciales (que no cooperan) que se mueven a velocidades de varios kilómetros por segundo, capturar la carga útil y removerla de la órbita”.⁴⁶⁷

Enseguida se presenta la tabla sobre los impactos y costos presentes y potenciales a futuro de los desechos espaciales.⁴⁶⁸

⁴⁶⁶ “Activities, such as remote inspection, refueling, repair, parts replenishment, as well as orbit maintenance or orbit transfer and the de-orbiting of spacecraft”, Corbin, Benjamin *et al.*, *Global Trends in on Orbit Servicing, Assembly and Manufacturing (OSAM)*, Institute for Defense Analyses – Science & Technology Policy Institute, Virginia, 2020, disponible en: <https://www.ida.org/-/media/feature/publications/g/gl/global-trends-in-on-orbit-servicing-assembly-and-manufacturing-osam/d-13161.ashx>, citado por Mallowan, Lucas *et al.*, *op. cit.*, p. 160 [traducción de Clara-Luz Álvarez].

⁴⁶⁷ “It involves far- and close- proximity operations, relative navigation, as well as rendezvous and docking with (non-co-operating) space platforms moving at speeds of several kilometres per second, capturing the payload and removing it from orbit”. Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 32.

⁴⁶⁸ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 22-23, Tabla 3.1 [traducción al español por Clara-Luz Álvarez].

<i>Periodo de tiempo</i>	<i>Tipo del costo / impacto</i>	<i>Descripción</i>
Impactos actuales	Daño relacionado con desechos	Pérdida de funcionalidad o pérdida total de satélites. Muchos incidentes no son reportados.
	Diseño de satélite y constelación	Los costos asociados con la protección de escudos a los satélites, con las capacidades para evadir colisiones, modos seguro (<i>safehold</i>) y redundancias (por ejemplo, lanzamiento de satélites extra de repuesto). Constelaciones satelitales crecientemente incluyen repuestos para la resiliencia del sistema, pero esta solución frecuentemente se convierte en parte del problema.
	Costos de operación	Costos de actividades de conciencia situacional del espacio (SSA)
	Costos de despejar la órbita	En la órbita geoestacionaria: relativamente bajas, equivalente a casi tres meses de mantenimiento en órbita (<i>station-keeping</i>). En la órbita baja arriba de 650 km de altitud: muy altos y requiriendo subsistemas específicos para satélite (computadoras a bordo).
	Costos de seguros	En general, uso limitado de seguros en órbita por parte de los operadores para desechos espaciales. Las colisiones por desechos espaciales se han considerado históricamente como de baja probabilidad y que no afectan las pólizas de seguros.
Potenciales impactos a futuro	Pérdida de aplicaciones y funcionalidades únicas	Las observaciones desde el espacio desde algunas órbitas de las más vulnerables a desechos espaciales son frecuentemente la mejor o la única fuente de información y señales en su ámbito. Esto aplica en particular para los satélites de clima en órbita polar y de observación de la Tierra. La pérdida de la observación desde satélites de clima en órbita polar afectaría fuertemente al hemisferio sur, donde hay menos observaciones terrestres.

<i>Periodo de tiempo</i>	<i>Tipo del costo / impacto</i>	<i>Descripción</i>
Potenciales impactos a futuro	Pérdida de vidas	La Estación Espacial Internacional está ubicada a 400 km de altitud. Aun cuando los desechos a esta altitud se desintegran naturalmente, de cualquier manera representan una amenaza real de colisión.
	Interrupción de series de tiempo para investigaciones de ciencias de la Tierra y del clima	Tener series de tiempo ininterrumpidas es crucial para la exactitud y confiabilidad de la predicción del estado del tiempo [climático] y para la elaboración de modelos de clima.
	Pausa al crecimiento económico y desaceleración en las inversiones en el sector	La banda ancha vía satélite es ampliamente considerada como un factor fundamental para las actividades espaciales y para [generar] ganancias en las próximas décadas. Más de diez constelaciones satelitales de banda ancha están en diversas etapas de desarrollo. Prácticamente todos los servicios de comunicaciones desde LEO se afectarán, en órbita y/o durante la colocación en órbita, ya que la mayoría de las constelaciones están ubicadas cerca o arriba de los cinturones más gruesos de desechos. Acceso limitado a capital de riesgo, con inversionistas que prefieren alternativas terrestres más asequible y menos riesgosas.
Potenciales impactos a futuro	Efectos distributivos	La pérdida o afectación de ciertas órbitas bajas puede impactar más fuertemente a zonas residenciales con baja densidad y a países de bajos ingresos.

FUENTE: Tabla 3.1 de Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, OECD Publishing, pp. 22 y 23 [traducción al español por Clara-Luz Álvarez].

III. CONCIENCIA SITUACIONAL ESPACIAL Y TRÁNSITO SEGURO

La Conciencia Situacional Espacial (SSA por sus siglas en inglés de *Space Situational Awareness*), es “el conocimiento del ambiente espacial, incluyendo la ubicación y función de los objetos en el espacio y los fenómenos del clima espacial”.⁴⁶⁹

La SSA utiliza sistemas tanto para la vigilancia y monitoreo de los objetos espaciales como para el monitoreo y pronóstico del clima espacial y el monitoreo de objetos de la naturaleza cercanos a la Tierra.⁴⁷⁰

- *Objetos artificiales espaciales*. Éstos pueden ser objetos que estén funcionando o tratarse de basura espacial.
- *Clima espacial*. Éste se refiere al ambiente entre el Sol, la Tierra y el sistema solar, que puede tener repercusiones en la Tierra, siendo los fenómenos del Sol (por ejemplo, eyecciones de masa coronal, vientos solares) las que pueden acarrear mayores afectaciones.⁴⁷¹
- *Objetos de la naturaleza cercanos a la Tierra (Near-Earth objects)*. Estos son asteroides y cometas.⁴⁷²

El uso militar de sistemas de SSA es parte importante de la seguridad nacional para países que cuentan con dichos sistemas,

⁴⁶⁹ “Space Situational Awareness (SSA) refers to the knowledge of the space environment, including location and function of space objects and space weather phenomena”, European Union Satellite Centre, “Space Situational Awareness (SSA)”, SSA, Madrid, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.satcen.europa.eu/page/ssa> [traducción de Clara-Luz Álvarez].

⁴⁷⁰ *Idem*.

⁴⁷¹ National Oceanic and Atmospheric Administration, “What is space weather?”, Education and Outreach, Broadway, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: <https://www.swpc.noaa.gov/content/education-and-outreach> Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, *op. cit.*

⁴⁷² European Space Agency, “Near-Earth Objects – NEO Segment”, Space Safety, París, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: https://www.esa.int/Space_Safety/Near-Earth_Objects_-_NEO_Segment.

al permitirles tanto monitorear las actividades de sus adversarios en el espacio como para recopilar información relevante de los activos de otras naciones, así como para identificar lanzamientos no anunciados, para labores de inteligencia y detectar contra-inteligencia de otros países.⁴⁷³

Debido a que gobiernos, empresas espaciales y de comunicación vía satélite, así como organizaciones y la academia pueden tener diferente información que por sí misma resultaría incompleta para una debida administración del tráfico espacial, es indispensable el esfuerzo conjunto.⁴⁷⁴ Con el crecimiento exponencial de constelaciones satelitales en la órbita LEO (por ejemplo, Starlink), la mejora en la detección y alertas a los sistemas satelitales a través de los SSA se convierte en uno de los principales retos.⁴⁷⁵

Ahora bien, la sostenibilidad del espacio necesita de gestión del tráfico espacial (STM, por sus siglas en inglés de *Space Traffic Management*). Tómese como ejemplo el caso de la estación espacial china Tiangong, que tuvo que realizar maniobras para evitar colisión con satélites de Starlink en 2021.⁴⁷⁶ Aun cuando hay diferentes posiciones en torno a lo que debe ser e incluir un sistema de gestión del tráfico espacial,⁴⁷⁷ se pueden tomar las siguientes definiciones:⁴⁷⁸

⁴⁷³ National Security Technology Accelerator, *op. cit.*

⁴⁷⁴ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 33.

⁴⁷⁵ *Ibidem*, p. 25.

⁴⁷⁶ En este caso, China señaló responsabilidad de Estados Unidos con base en el Tratado del Espacio. Byers, Michael y Boley, Aarón, *op. cit.*, p. 57.

⁴⁷⁷ Para más información con relación a los conceptos y definiciones de gestión del tráfico espacial, véase Verspieren, Quentin, "Space Traffic Management: A brief history", *Space Policy*, Londres, London School of Economics and Political Science, vol. 58, noviembre de 2021, disponible en: <https://www.lse.ac.uk/ideas/projects/space-policy/publications/A-Brief-History-of-Space-Traffic-Management>.

⁴⁷⁸ Mallowan *et al.* comentan con relación a la gestión del tráfico espacial y la posible necesidad de establecer zonas de seguridad en ciertos casos, abordando también las cuestiones jurídicas que se presentan. Mallowan, Lucas *et al.*, *op. cit.*, pp. 155-166.

La Gestión de Tráfico Espacial (STM) comprende los medios y las reglas para el acceso, para conducir actividades y para regresar del espacio de manera segura y sostenible.⁴⁷⁹

La gestión de tráfico espacial significa una serie de disposiciones técnicas y regulatorias para promover el acceso seguro al espacio, las operaciones en el espacio y el regreso del espacio a la Tierra libre de interferencia física o de radiofrecuencia.⁴⁸⁰

En la Unión Europea está el programa SSA, que incluye el Sistema de Vigilancia y Rastreo (*Space Surveillance and Tracking*) con servicios para evitar una colisión entre estaciones espaciales y entre éstas y la basura espacial, para evaluar el riesgo de objetos que entran a la Tierra sin control, y para identificar fragmentaciones en órbita.⁴⁸¹

En Estados Unidos está la red para la vigilancia espacial (*Space Surveillance Network*), con la encomienda de identificar objetos espaciales y proveer información a múltiples usuarios. Esta red cuenta con radares y telescopios terrestres y otros en satélites, los cuales recopilan información, para posteriormente ser procesada y producir información de interés.⁴⁸²

⁴⁷⁹ “Space Traffic Management (STM) encompasses the means and the rules to access, conduct activities in, and return from outer space safely, sustainably and securely”, Verspieren, Quentin, *op. cit.* [traducción de Clara-Luz Álvarez].

⁴⁸⁰ “Space traffic management means the set of technical and regulatory provisions for promoting safe access into outer space, operations in outer space and return from outer space to Earth free from physical or radio-frequency interference [12]”; *idem* [traducción de Clara-Luz Álvarez].

Contant-Jorgenson, Corinne *et al.*, *Cosmic Study on Space Traffic Management*, International Academy of Astronautics, París, 2006, disponible en: https://www.black-holes.eu/resources/LAA_spacetrafficmanagement.pdf.

⁴⁸¹ European Union Satellite Centre, *op. cit.*

⁴⁸² Para la evolución de la *Space Surveillance Network* desde 1957 con información obtenida de documentos confidenciales que ya fueron desclasificados por el gobierno de Estados Unidos, véase National Security Archive, “What’s Up There, Where Is It, and What’s It Doing? The U.S. Space Surveillance Network”, Washington, D. C., última actualización: 13 de marzo de 2023, disponible en: https://nsarchive.gwu.edu/briefing-book/intelligence/2023-03-13/whats-there-where-it-and-whats-it-doing-us-space-surveillance#_edn1

Rusia cuenta también con una red militar de vigilancia espacial equivalente a la estadounidense.⁴⁸³

IV. ¿CUÁL ES EL MARCO NORMATIVO?

La sostenibilidad del espacio no está expresamente prevista en los tratados y convenios sobre el espacio, ya que cuando se aprobaron éstos, la sostenibilidad no era un concepto desarrollado, no se habían codificado las leyes ambientales ni se percibía como una prioridad o tema en aquella época.⁴⁸⁴

El marco normativo sobre sostenibilidad del espacio debe considerarse de una manera sistemática, que involucra los tratados y convenios del espacio y en materia ambiental, el derecho internacional, directrices (por ejemplo, Directrices contra la Basura Espacial, Directrices para la Sostenibilidad del Espacio), estándares técnicos (por ejemplo, estándares de ISO), resoluciones de la Asamblea General de la ONU,⁴⁸⁵ leyes de países con relación al espacio y otras normas.⁴⁸⁶

Los cambios que se están dando en el ecosistema espacial con el ingreso de múltiples actores del sector privado y grandes constelaciones de satélites parece exigir una adecuación de los tratados y convenios del espacio. No obstante ello, existe un cambio tecnológico constante, una dinámica en el ecosistema, ausencia de ciertas precisiones o definiciones (por ejemplo, límite de atmósfera-espacio), y eso ha hecho que no haya disposición de los países y actores del espacio para que los principios, directrices

⁴⁸³ Space Foundation Editorial Team, "Space Situational Awareness", Space Foundation, Colorado, consulta: 13 de mayo de 2023, disponible en: https://www.spacefoundation.org/space_brief/space-situational-awareness/

⁴⁸⁴ Bohlmann, Ulrike y Petrovici, Gina, *op. cit.*, p. 4; Clormann, Michael y Klimburg-Witjes, Nina, *op. cit.*, p. 967; Prasad, Deva, *op. cit.*, p. 166.

⁴⁸⁵ Bohlman y Petrovici afirman que las resoluciones de la Asamblea General de la ONU aunque no sean vinculantes, pueden llegar a ser derecho consuetudinario lo cual se decidirá caso por caso. Bohlmann, Ulrike y Petrovici, Gina, *op. cit.*, p. 4.

⁴⁸⁶ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, pp. 29 y 30.

y normas de cumplimiento voluntario se conviertan en tratados y convenios obligatorios.⁴⁸⁷

En esta sección se presentan las cuestiones a debate en cuanto a sostenibilidad en el espacio, abriéndose en cada una de ellas nuevas líneas de investigación.

Tratados y sostenibilidad. Algunos artículos de los tratados y convenios del espacio se han identificado como que incorporarían implícitamente la sostenibilidad en el espacio, como:

- Exploración y utilización del espacio y cuerpos celestes en provecho e interés de todos los países, lo cual incumbe a toda la humanidad.⁴⁸⁸
 - Puede interpretarse que debe procurarse la sostenibilidad del espacio; de lo contrario, ni los países ni la humanidad podrán beneficiarse de las actividades espaciales.
- Las actividades espaciales deben realizarse de conformidad con el derecho internacional.
 - Dentro del derecho internacional está la protección al medio ambiente y la sustentabilidad, por lo cual sería aplicable también a las actividades espaciales.⁴⁸⁹
- La responsabilidad de los Estados por las actividades en el espacio propias y de sus nacionales.⁴⁹⁰
 - Esta responsabilidad puede entrañar también la relativa a la sostenibilidad en el espacio (por ejemplo, deber de mitigar la generación de basura espacial o removerla).⁴⁹¹

⁴⁸⁷ Bohlmann, Ulrike y Petrovici, Gina, *op. cit.*, p. 5.

⁴⁸⁸ Artículo I del Tratado del Espacio y artículo 4 del Acuerdo de la Luna.

⁴⁸⁹ Prasad, Deva, *op. cit.*, pp. 167 y 168.

⁴⁹⁰ Artículos VI y VIII del Tratado del Espacio y II y III de la Convención de Responsabilidad.

⁴⁹¹ Prasad argumenta que el Acuerdo de Salvamento implícitamente podría incorporar la sostenibilidad en el espacio, en tanto que el Convenio de Responsabilidad contemplaría de manera subyacente el principio del que la persona que contamina es la que debe pagar, y que dentro del término de daño estarían contemplados los daños al medio ambiente. Asimismo, este autor señala que

- Tener en cuenta los intereses de otros países.⁴⁹²
 - Es en el interés de todos los países la sostenibilidad del espacio, por lo cual si para las actividades espaciales se tienen en cuenta los intereses de otros países, entonces deberá procurarse la sostenibilidad por todos los medios posibles.
 - Byers y Boley consideran que la sostenibilidad requiere nuevas prácticas, como limitar el número de satélites que una sola compañía pueda lanzar, con la finalidad de incentivar que se busque incrementar la vida útil de los satélites.⁴⁹³
- La investigación espacial no debe producir contaminación nociva ni cambios desfavorables al medio ambiente de la Tierra⁴⁹⁴ ni perturbar el equilibrio de la Luna.⁴⁹⁵
 - Aun cuando la contaminación y los cambios desfavorables están relacionados con el medio ambiente de la Tierra, puede argumentarse que sin protección del ambiente del espacio cercano tampoco se puede proteger el medio ambiente de la Tierra.
 - En cuanto a la Luna y las afectaciones a su medio, eso cobra relevancia con las nuevas misiones a la Luna y la minería espacial; sin embargo, debe recordarse que el Acuerdo de la Luna sólo ha sido ratificado por dieciocho países, dentro de los cuales no están los países con más actividades espaciales, como China, Estados Unidos y Rusia, por ejemplo.

como el Convenio de Registro mandata que los Estados registren los objetos espaciales y se le dé publicidad, esta cooperación internacional y transparencia son equivalentes a la gobernanza y participación pública, que son parte de la sostenibilidad. Prasad, Deva, *op. cit.*, p. 169.

⁴⁹² Artículo IX del Tratado del Espacio.

⁴⁹³ Byers, Michael y Boley, Aaron, *op. cit.*, p. 9.

⁴⁹⁴ Artículos XI del Tratado del Espacio y 7.1 del Acuerdo de la Luna.

⁴⁹⁵ Artículo 7.1 del Acuerdo de la Luna.

- Generaciones futuras. El Acuerdo de la Luna incorpora la consideración a las generaciones futuras, también a la exploración y utilización de la Luna, siendo el primer tratado espacial en el que aparece esa consideración.⁴⁹⁶

Prasad argumenta y sustenta en tratados internacionales y en el derecho internacional que la sostenibilidad del espacio es compatible y no entra en conflicto con el derecho internacional del espacio. Más aún, el autor destaca que la sostenibilidad, la equidad intrageneracional (generación actual) e intergeneracional (generaciones futuras), así como el principio de buena gobernanza y de participación pública están en línea con los tratados y principios del espacio. Además, Prasad propone que se incorpore la sostenibilidad de manera activa en los tratados (por ejemplo, Tratado del Espacio, Acuerdo de la Luna, Convenio de Responsabilidad). Además, dice que el concepto jurídico de sostenibilidad puede dar parámetros y fortaleza normativa para la sostenibilidad en el espacio, amén de que es un concepto que evoluciona y puede servir para el balance entre el desarrollo económico y la protección al medioambiente.⁴⁹⁷

Finalmente, se ha buscado equiparar la situación jurídica de los mares y océanos en el derecho internacional con el espacio exterior. Sin embargo, existen profundas diferencias entre el espacio exterior y los mares y océanos. Sólo a manera de ejemplo, mientras que los mares y los océanos pueden estar disponibles y al alcance de personas y países con distintos niveles de desarrollo y de sofisticación tecnológica, el espacio exterior aún es un ámbito reservado a unos cuantos países y empresas.

Espacio aéreo versus espacio exterior. Al no existir una definición exacta o de aceptación unánime en cuanto a lo que es el espacio aéreo y lo que es el espacio exterior en los tratados y

⁴⁹⁶ Bohlmann, Ulrike y Petrovici, Gina, *op. cit.*, p. 5; Prasad, Deva, *op. cit.*, p. 170.

⁴⁹⁷ Prasad, Deva, *op. cit.*, p. 172.

convenios,⁴⁹⁸ las consecuencias jurídicas de actos y hechos en el espacio en cuanto a sostenibilidad del espacio pueden tenerse que resolver caso por caso.

Mallowan *et al.* presentan algunas preguntas, que bien pueden darse por esa falta de definición:

¿Cuándo es una nave espacial extranjera una intrusa en lugar de una observadora legal?... ¿Qué tan lejos deben los estados permitir que se extiendan sus fronteras a lo alto para proteger su espacio aéreo soberano? Y, ¿dónde deben esos mismos límites [de las fronteras] detenerse para proteger el bien común que es el espacio exterior?⁴⁹⁹

Basura espacial. Tampoco existe una definición única de basura espacial a nivel internacional. Esto hace que no sea clara y precisa la titularidad, propiedad y responsabilidad sobre cierta basura espacial.⁵⁰⁰

En este sentido, si con base en el Tratado del Espacio y el Convenio de Responsabilidad se requiere consentimiento del Estado que tiene registrado un objeto espacial,⁵⁰¹ ¿podría un tercer Estado, una empresa o un organismo internacional remover

⁴⁹⁸ La corriente espacialista propone trazar una línea arbitraria arriba del nivel del mar de la Tierra para separar lo que es el espacio aéreo del espacio exterior. La corriente funcionalista se basa en las características, funcionalidades y propósitos del vehículo para determinar si debe considerarse un vehículo aéreo y sujeto a la soberanía del espacio aéreo donde navega, o si es un vehículo espacial, mismo que estaría sujeto a los tratados y convenios del espacio. Bohlmann y Petrovici también reconocen la falta de una definición entre espacio aéreo y espacio exterior. Bohlmann, Ulrike y Petrovici, Gina, *op. cit.*, p. 3; Mallowan, Lucas *et al.*, *op. cit.*, p.159.

⁴⁹⁹ "...when is a foreign spacecraft an intruder rather than a lawful observer?... how far ought states to be allowed to extend their upward boundaries to protect their sovereign airspace, and where should these same boundaries stop in order to protect the common good, which is outer space?", Mallowan, Lucas *et al.*, *op. cit.*, p. 159 [traducción de Clara-Luz Álvarez].

⁵⁰⁰ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, pp. 8 y 20.

⁵⁰¹ *Ibidem*, p. 33.

dicho objeto espacial que ya es basura sin infringir los tratados internacionales?

Responsabilidad. Un satélite puede fallar por diferentes causas; algunas pudieran ser imputables a una persona (por ejemplo, agresión intencional, colisión con un objeto espacial registrado a nombre de un país) y otras no (por ejemplo, fenómeno del clima del espacio). En algunos casos las causas de falla pueden ser plenamente identificables, mientras que en otras no, por lo que pueden darse tensiones y conflictos en Tierra por situaciones del espacio.⁵⁰²

Personas entrevistadas del sector espacial hicieron énfasis en la responsabilidad principal que deben tener actores espaciales tales como la NASA y Roscosmos para remover la basura espacial, al mismo tiempo de reforzar las obligaciones de quienes actualmente producen basura tanto de Estados nación como de empresas privadas. Una persona entrevistada propuso introducir como principio el de que “el que contamina paga”.⁵⁰³

Directrices. Las Directrices contra la Basura Espacial y la de Sostenibilidad del Espacio son compendios de medidas que se basan en las prácticas y normas de los distintos actores espaciales, las cuales se proponen para que los Estados y las organizaciones internacionales las adopten. Las Directrices son guías que carecen de obligatoriedad.

La efectividad de las Directrices es debatible,⁵⁰⁴ y su cumplimiento, insuficiente.⁵⁰⁵ Undseth *et al.* destacan en cuanto a las Directrices sobre Basura Espacial, que el cumplimiento de satélites en la órbita GEO para enviarlos a la órbita cementerio se cumple en un 80%, mientras que en los satélites en las órbitas LEO el cumplimiento es de casi 20% en las órbitas arriba de 650 km y de menos de 60% en órbitas más bajas, siendo el cumplimiento

⁵⁰² Secure World Foundation, *op. cit.*, p. 22.

⁵⁰³ Clormann, Michael y Klimburg-Witjes, Nina, *op. cit.*, p. 972.

⁵⁰⁴ Prasad, Deva, *op. cit.*, p. 171.

⁵⁰⁵ Undseth, M. *et al.*, *op. cit.*, p. 8.

menor en las LEO por ser más costosas las maniobras para la desorbitación.⁵⁰⁶

Las Directrices contra la Basura Espacial versan sobre limitar la basura espacial durante el funcionamiento normal de los objetos espaciales; minimizar los desprendimientos en las fases operacionales; reducir las probabilidades de colisión en el lanzamiento y mientras están en órbita los objetos espaciales; evitar la destrucción intencional de objetos espaciales y actividades perjudiciales; minimizar desintegraciones por energía almacenada, para lo cual se sugiere agotar o desactivar las fuentes de energía almacenadas al final de la misión (pasivación); al término de la misión de objetos espaciales (satélites, etapas de vehículos de lanzamiento), limitar su presencia en la órbita LEO y en aquellos que estuvieran en la órbita GEO, limitar la interferencia llevándolos a una órbita por encima de la órbita GEO.⁵⁰⁷

Las Directrices de Sostenibilidad del Espacio reiteran que éstas pueden ser aplicables a gobiernos y entidades no gubernamentales, nacionales e internacionales, así como para cualquier actividad espacial y en cualquiera de sus etapas.⁵⁰⁸ Además, también hacen énfasis en la cooperación internacional como la base para evaluar los efectos y la eficacia de las Directrices y para poder garantizar que cumplan con la sostenibilidad del espacio conforme evolucionen las actividades espaciales y los conocimientos de los factores que influyen en éstas.⁵⁰⁹

Las Directrices de Sostenibilidad del Espacio

- Sugieren cambios al marco regulatorio con normas que no sean tan “prescriptivas como para impedir iniciativas que contribuyan a la sostenibilidad a largo plazo”,⁵¹⁰ además de que se prevean periodos de transición con base en el nivel de desarrollo tecnológico.

⁵⁰⁶ *Ibidem*, pp. 8 y 31.

⁵⁰⁷ Directrices contra la Basura Espacial.

⁵⁰⁸ Directrices de Sostenibilidad del Espacio.

⁵⁰⁹ Directrices de Sostenibilidad del Espacio, numeral I, punto 20.

⁵¹⁰ Directriz A.1 de las Directrices de Sostenibilidad del Espacio.

- Se reitera que los objetos espaciales en la órbita LEO sean retirados, mientras los que están en la órbita GEO se pongan en una órbita más alta para evitar interferencias.
- Se solicita mejorar el registro de objetos espaciales, actualizar los datos y aumentar la exactitud de los datos orbitales.
- Se pide compartir información sobre vigilancia de desechos espaciales.
- De las conjunciones, efectuar las evaluaciones durante las fases orbitales de los vuelos controlados y elaborar enfoques prácticos para esas evaluaciones.
- Del clima espacial, se busca compartir datos y pronósticos, así como elaborar modelos y recopilar prácticas sobre la mitigación de los efectos del clima espacial.
- Sobre los objetos espaciales, se propone promover el diseño y funcionamiento para una mejor rastreabilidad y para reducir los desechos espaciales, así como adoptar medidas para enfrentar los riesgos cuando dichos objetos regresen a la Tierra de manera no controlada.
- En cuanto a cooperación internacional, se fomenta que busque la sostenibilidad del espacio exterior con participación de los sectores público, privado y académico; que compartan experiencias; desarrollen capacidades en los países desarrollados, así como que procuren que la información obtenida desde el espacio esté disponible para países afectados por desastres naturales u otras catástrofes.
- Se sugiere promover la investigación para la exploración y utilización sostenible del espacio, así como para desarrollar nuevas medidas para atender la problemática de la basura espacial.