



Asamblea General

Distr. general
13 de noviembre de 2018
Español
Original: español/inglés

Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos

Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos

56º período de sesiones

Viena, 11 a 22 de febrero de 2019

Tema 7 del programa provisional*

Desechos espaciales

Investigaciones sobre los desechos espaciales, la seguridad de los objetos espaciales con fuentes de energía nuclear a bordo y los problemas relativos a la colisión de esos objetos con desechos espaciales

Nota de la Secretaría

I. Introducción

1. En su 55º período de sesiones, la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos convino en que se siguiera invitando a los Estados Miembros y a las organizaciones internacionales reconocidas como observadores permanentes por la Comisión a presentar informes acerca de las investigaciones sobre los desechos espaciales, la seguridad de los objetos espaciales con fuentes de energía nuclear a bordo, los problemas relativos a la colisión de esos objetos con desechos espaciales y los modos en que se aplicaban las directrices relativas a la reducción de desechos espaciales (véase el documento A/AC.105/1167, párr. 146). En consecuencia, se envió a los Estados Miembros y a las organizaciones internacionales reconocidas como observadores permanentes una comunicación de fecha 29 de agosto de 2018 en la que se los invitaba a presentar sus informes, a más tardar, el 5 de noviembre de 2018, para que su contenido pudiera ponerse a disposición de la Subcomisión en su 56º período de sesiones.

2. La Secretaría redactó el presente documento basándose en la información recibida de dos Estados miembros, a saber, el Japón y México, así como de la Federación Astronáutica Internacional (FAI). La otra información presentada por el Japón y la FAI, que contiene gráficos relativos a los desechos espaciales, se distribuirá como documento de sesión en el 56º período de sesiones de la Subcomisión.

* A/AC.105/C.1/L.373.



II. Respuestas recibidas de los Estados Miembros

Japón

[Original: inglés]
[2 de noviembre de 2018]

Sinopsis

En respuesta a la solicitud de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre de la Secretaría, el Japón comunica que sus actividades relacionadas con los desechos se realizan principalmente por conducto del Organismo de Exploración Aeroespacial del Japón (JAXA).

Las actividades de esa índole realizadas por el JAXA en 2018 que se eligieron como ejemplos de los avances importantes que se presentarán en el próximo período de sesiones son las relacionadas con:

- a) la 36ª reunión anual del Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales (IADC);
- b) los resultados de la evaluación de conjunciones y las investigaciones sobre tecnología básica para conocer la situación en el medio espacial;
- c) las investigaciones sobre tecnología para la observación de objetos en órbita terrestre baja y en órbita terrestre geosíncrona y para determinar la órbita de esos objetos;
- d) el sistema de medición *in situ* de microdesechos;
- e) la protección contra el impacto de microdesechos;
- f) el tanque de propulsante de desintegración fácil durante la entrada en la atmósfera;
- g) la eliminación activa de desechos.

Situación

La 36ª reunión anual del Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales (IADC)

La 36ª reunión anual del IADC se celebró en junio en Tsukuba (Japón). Participaron en ella más de 100 expertos técnicos de 11 organismos. Su organización estuvo a cargo del JAXA, que también actuó como anfitrión. Los principales temas examinados fueron:

- La declaración del IADC sobre las grandes constelaciones de satélites que se encuentran en órbita terrestre baja

El Comité ya publicó la declaración, en la que solo se formulan consideraciones cualitativas respecto de las grandes constelaciones porque hasta ese momento se disponía de muy pocos resultados de investigaciones sobre la repercusión que podían tener esas constelaciones en el entorno de los desechos espaciales. En la reunión se presentaron los resultados de las simulaciones realizadas por algunos miembros del Comité en relación con las grandes constelaciones, y la opinión consensual del Comité fue que estas agravaban la situación en el entorno de los desechos espaciales. Por consiguiente, los miembros del Comité están preparando una versión actualizada de la declaración que contiene más condiciones limitantes y datos cuantitativos.

- Las Directrices del IADC para la Reducción de Desechos Espaciales

Las Directrices se publicaron en 2002 y se revisaron en 2007. Actualmente, muchos países y entidades internacionales empiezan a establecer condiciones cuantitativas en sus normas para la reducción de los desechos espaciales, mientras

que en las Directrices se habían utilizado muchas expresiones cualitativas. Por lo tanto, el Comité inició deliberaciones con miras a actualizar las Directrices con valores numéricos, a fin de llegar a un entendimiento común más concreto entre sus miembros.

Resultados de la evaluación de conjunciones y las investigaciones sobre tecnología básica para conocer la situación en el medio espacial

El JAXA recibe notificaciones sobre conjunciones del Centro Conjunto de Operaciones Espaciales. Hasta agosto de 2018 se habían celebrado 131 reuniones con objeto de estudiar maniobras para evitar colisiones sobre la base de las notificaciones, y desde 2009 el JAXA ha ejecutado 26 maniobras para evitar colisiones de vehículos espaciales en órbitas terrestres bajas.

Tecnología básica para conocer la situación en el medio espacial

El JAXA determina la órbita de los objetos espaciales mediante los sensores de radar del Centro de Vigilancia Espacial de Kamisaibara y los sensores ópticos del Centro de Vigilancia Espacial de Bisei; predice aproximaciones cercanas utilizando las efemérides orbitales más recientes de sus satélites, y calcula la probabilidad de colisión. Basándose en su experiencia, también examina los criterios utilizados para evaluar conjunciones y efectuar maniobras a fin de evitar colisiones. En las evaluaciones se analizan la evolución de las condiciones de cada conjunción y los errores de predicción debidos a perturbaciones (por ejemplo, la incertidumbre sobre la resistencia aerodinámica).

Investigaciones sobre tecnología para la observación de objetos en órbita terrestre baja y en órbita terrestre geosíncrona y para determinar la órbita de esos objetos

Por lo general, los objetos que están en una órbita terrestre baja se observan principalmente por radar, pero el JAXA ha venido procurando aplicar el sistema óptico a fin de reducir los costos de construcción y funcionamiento. Se elaboró un sensor de gran tamaño con semiconductores complementarios de óxido metálico (CMOS) para observar las órbitas terrestres bajas. El análisis de los datos de ese sensor con tecnología de procesamiento de imágenes basada en una matriz de puertas lógicas programable por el usuario (FPGA) - tecnología esta que formuló el JAXA - permite detectar objetos de hasta 10 cm de diámetro. Se ha estudiado la posibilidad de crear una red de observación óptica con objeto de aligerar la labor encaminada a evitar colisiones, para lo cual se utilizarían datos meteorológicos reales del Organismo Nacional para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera de los Estados Unidos de América. A efectos de aumentar las posibilidades de observar objetos en órbita terrestre baja y en órbita terrestre geosíncrona, se estableció un centro de teleobservación en Australia, que se suma al observatorio del Monte Nyukasa del Japón. Se dispone de dos telescopios de 25 cm y de uno de 18 cm que se usarán con distintos fines.

Protección contra el impacto de microdesechos

Ha aumentado la cantidad de microdesechos (de menos de 1 mm de diámetro) en las órbitas terrestres bajas. Su impacto puede causar daños críticos a los satélites porque se produce a una velocidad media de 10 km/s.

Para evaluar los efectos del impacto de los desechos en los satélites, el JAXA ha elaborado un instrumento de evaluación del riesgo de impacto denominado Turandot, que analiza los riesgos utilizando un modelo tridimensional de vehículo espacial.

Tanque de propulsante de desintegración fácil durante la entrada en la atmósfera

Los tanques de propulsante normalmente se fabrican con aleaciones de titanio, que son mejores debido a su bajo peso y su compatibilidad química con los propulsores. Sin embargo, su elevado punto de fusión impide que esos tanques se desintegren al entrar en la atmósfera, lo que entraña el riesgo de que ocurran accidentes fatales en tierra.

Desde 2010, el JAXA viene realizando investigaciones para crear un tanque revestido de aluminio y recubierto de un compuesto de carbono con temperatura de fusión más baja. A fin de estudiar su viabilidad, ha realizado pruebas elementales, entre otras cosas para determinar la compatibilidad del revestimiento de aluminio con el propulsante hidracina y otra prueba de calentamiento por arco.

Después de fabricar y ensayar el primer modelo tecnológico del tanque, que era más corto, se fabricó el segundo, de tamaño normal. La forma de este último es igual a la del tanque de capacidad nominal, que tiene un dispositivo de administración del propulsante. Se realizaron ensayos de seguridad, de vibración (en condiciones húmedas y secas), de fugas externas, de ciclos de presión y de tracción, todos ellos con buenos resultados. Tras la fabricación del segundo modelo tecnológico, se fabricará y pondrá a prueba un prototipo de modelo.

Este tanque de propulsante recubierto de un compuesto tiene un plazo de entrega más breve y un menor costo que los de titanio. Sin embargo, se están realizando más estudios y pruebas a efectos de determinar su capacidad para desintegrarse durante el regreso a la atmósfera.

Eliminación activa de desechos

El JAXA ha organizado y estructurado un programa de investigación cuyo objetivo es realizar una misión de bajo costo para la eliminación activa de desechos. La investigación y la creación de tecnología clave en ese ámbito se basan en tres temas principales: encuentros espaciales con objetos “no cooperadores”, tecnología para la captura de esa clase de objetos y tecnología para retirar de órbita desechos espaciales intactos de gran tamaño. El JAXA viene cooperando con empresas privadas japonesas en la búsqueda de sistemas comerciales de bajo costo para la eliminación activa de desechos y procurando facilitar tecnología fundamental indispensable a esos efectos.

Un dispositivo de propulsión idóneo para el retiro de órbita durante las actividades de eliminación activa de desechos puede ser un sistema de amarra electrodinámica, que contribuiría a reducir el tamaño del sistema en general y, en consecuencia, lo haría menos costoso. Con objeto de demostrar el funcionamiento de algunas de las técnicas indispensables para el sistema de amarra electrodinámica, en 2017 el JAXA planificó y realizó la misión KITE, que consistió en un experimento en órbita con ese dispositivo en el vehículo de transferencia H-II 6 (HTV-6). Aunque no se logró instalar la amarra, el cátodo emisor de campo, que es una parte esencial del sistema, funcionó bien y se tomaron buenos datos que permitieron seguir elaborando el dispositivo.

México

[Original: español]
[7 de noviembre de 2018]

México, a través de la Agencia Espacial Mexicana (AEM), colaboró con el Grupo de Trabajo sobre la Sostenibilidad a Largo Plazo de las Actividades en el Espacio Ultraterrestre en los cuatro subgrupos de expertos: sobre utilización sostenible del espacio para favorecer el desarrollo sostenible en la Tierra (grupo de expertos A); sobre desechos espaciales (grupo de expertos B); sobre meteorología espacial (grupo de expertos C); y sobre regímenes de reglamentación y orientación para las entidades que emprendan actividades espaciales (grupo de expertos D).

En este sentido, y por lo que respecta a las investigaciones nacionales sobre desechos espaciales, y acorde con la práctica para la eliminación de desechos, México, a través de sus universidades públicas, se ha encargado de realizar investigaciones al respecto, como es el caso de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que a través de la Facultad de Ingeniería y de su Centro de Alta Tecnología en Juriquilla, Querétaro, ha desarrollado trabajos orientados a planear las misiones del futuro con un enfoque de sustentabilidad.

Los trabajos anteriormente mencionados abordan la detección de partículas espaciales, modelos matemáticos de generación de desechos, su medición y planes de protección. Asimismo, la UNAM está trabajando en la instalación de una cámara de vacío y una sala con radiación electromagnética en donde se podrán poner a prueba los satélites y su capacidad para anular dichas interferencias, situación que reduce su vulnerabilidad a fallar durante sus operaciones en el espacio y convertirse en desecho espacial. También se trabaja en el desarrollo de propulsores eléctricos para asegurar que una vez que los satélites cumplan con su vida útil cambien su órbita hacia la atmósfera terrestre y se desintegren, evitando así la generación de más desechos espaciales.

En cuanto al monitoreo de los desechos espaciales a fin de asegurar la seguridad de la infraestructura espacial, la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS) se ha sumado a los esfuerzos internacionales encabezados por la Red Científica Internacional de Observación Óptica (ISON) mediante la participación de su telescopio. Desde 2012 se ha realizado el monitoreo de basura espacial y cada año se han descubierto casi una decena de nuevos objetos, entre ellos fragmentos y satélites perdidos que rondan más allá de la órbita geostacionaria. El observatorio Astronómico UAS-ISON registra hasta 864 fotografías por noche y se detectan desde 30 hasta 70 objetos. El programa realiza un procesamiento automático y lo señala por coordenadas; de no ser así, el registro se realiza de manera manual.

Sobre esta misma línea, se ha sumado el Centro de Investigaciones de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), que forma parte del Proyecto Internacional de Monitoreo de Basura Espacial, integrado por una Red de 25 observatorios distribuidos en más de 15 países, coordinados por el Instituto Kéldysh de la Academia de Ciencias de Rusia. Participa, asimismo, el observatorio de basura espacial en la UANL, que es operado por la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad. Dicho observatorio realiza el monitoreo de basura espacial, donde buscará detectar los residuos que pudieran generar daños satelitales que se traduzcan en afectaciones como señales de telefonía celular, viajes aéreos o errores en el GPS.

Por otro lado, el Instituto Politécnico Nacional (IPN), a través de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Ticomán, fundaron la Asociación Aeroespacial de la ESIME Ticomán, la cual tiene entre sus metas realizar investigaciones sobre temas como el de basura espacial y frecuentemente publican artículos sobre el tema, difundiendo la información en el Instituto y para la sociedad en general.

Otra organización vigente desde 2011 es la Red de Ciencia y Tecnología del Espacio (RedCyTE), un grupo de investigadores interesados en la ciencia y tecnología espacial en México que buscan proporcionar fondos para llevar a cabo proyectos, talleres y seminarios multidisciplinarios de manera articulada entre actores nacionales e internacionales de la academia, gobierno, empresas y sociedad civil, que impulsen el desarrollo de la ciencia y tecnología espacial en México. Uno de sus objetivos particulares es generar investigaciones en temas científicos, como el de basura espacial, proporcionando proyectos anuales y fomentando la participación de expertos e investigadores nacionales.

En todos los procedimientos antes mencionados se tienen en cuenta las regulaciones internacionales en la materia, tales como las Directrices para la Reducción de Desechos Espaciales elaboradas por el IADC, la recomendación ITU-R S.1003 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones para la protección ambiental de la órbita geostacionaria y las normas del Código Europeo de Conducta para la Reducción de los Desechos Espaciales, así como la norma de la Organización Internacional de Normalización ISO 24113 sobre sistemas espaciales: requisitos en materia de reducción de los desechos espaciales.

Finalmente, cabe destacar que México participó junto con Alemania, el Canadá y Chequia en la iniciativa para crear un compendio de normas para la reducción de los desechos espaciales presentado en el 53^{er} periodo de sesiones de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con

Fines Pacíficos. Es el primer documento con información directa de los Estados Miembros (México incluido) sobre medidas de regulación para la reducción y eliminación de los desechos espaciales.

La seguridad de los objetos espaciales con fuentes de energía nuclear a bordo y los problemas relativos a la colisión de estos con desechos espaciales

El tema se trata en las directrices sobre sostenibilidad a largo plazo de las actividades espaciales. México, acorde con el Tratado sobre los Principios que Deben Regir las Actividades de los Estados en la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre, incluso la Luna y otros Cuerpos Celestes, (Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre), ha mantenido la posición de la no militarización del espacio ultraterrestre y el uso pacífico de dicho espacio. No forma parte de programa alguno del país en materia espacial el uso de fuentes de energía nuclear. Las normas emanadas del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) rigen el uso de esas fuentes. En este sentido y en todo lo que implica el uso de fuentes de energía nuclear se halla implícita, entre otras cosas, la seguridad del ser humano en el espacio ultraterrestre y del propio entorno espacial.

A ese respecto, las directrices antes mencionadas son una base fundamental en cuanto al marco de seguridad.

Ni los Principios Pertinentes a la Utilización de Fuentes de Energía Nuclear en el Espacio Ultraterrestre ni las directrices son vinculantes. El artículo IV del Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre brinda protección, aunque sea relativa.

III. Respuestas recibidas de organizaciones internacionales

Federación Astronáutica Internacional

[Original: inglés]
[5 de noviembre de 2018]

Garantizar la sostenibilidad futura de las operaciones espaciales: la cuestión de los desechos orbitales

Una población orbital en constante crecimiento

La puesta en órbita del primer objeto espacial, el Sputnik 1, que tuvo lugar el 4 de octubre de 1957, abrió el camino para que pudieran existir todas las aplicaciones espaciales de las que disfrutamos hoy en día. Nuestra vida cotidiana depende cada vez más de aplicaciones que se vuelven indispensables y que revisten una importancia estratégica para la meteorología, las telecomunicaciones, la determinación de la posición, la seguridad, la defensa, la ciencia y la exploración. Esas aplicaciones también son de gran importancia económica, ya que generan millones de empleos en todo el mundo y billones de euros en concepto de diversas actividades conexas.

Sin embargo, se debe tener presente que el vuelo del Sputnik 1 fue también el primer paso hacia la contaminación orbital; en la misma órbita de ese satélite de 82 kg se puso la etapa principal de su vehículo de lanzamiento, llamada Semioroka-Bloque A, de 6,5 toneladas, y un pequeño carenado de 100 kg que protegía al Sputnik durante el ascenso atmosférico. Así pues, casi el 99 % de la masa puesta en órbita no tenía allí ninguna función útil. El Sputnik emitió su impulso de audiofrecuencia durante 21 días, pero pasó 92 días en órbita antes de volver a la atmósfera. Eso significa que no cumplió ninguna función útil durante el 75 % de su vida orbital. Ese satélite inactivo, la etapa principal de su vehículo de lanzamiento y su revestimiento protector eran objetos orbitales artificiales no funcionales, lo que corresponde a la definición de desecho orbital.

Desde 1957, el número de objetos en órbita y su masa han aumentado enormemente.

Esto refleja, obviamente, la buena salud del sector espacial y el aumento prácticamente explosivo del número de aplicaciones conexas, pero también plantea interrogantes acerca de la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones orbitales. La masa de los objetos en órbita ha aumentado linealmente desde 1957, hasta alcanzar 8.000 toneladas en la actualidad, y el número de los que han sido catalogados (de tamaño suficiente para poder rastrearlos desde tierra, es decir, normalmente de 10 cm de diámetro en órbitas terrestres bajas o de 1 m de diámetro cerca de la órbita geoestacionaria) ha llegado a 20.000. Ese gran aumento puede resultar sorprendente, habida cuenta de que el número de lanzamientos orbitales que han tenido éxito ha disminuido marcadamente respecto del período de la Guerra Fría (de 140 en 1967 a 52 en 2005) y que los primeros reglamentos internacionales para controlar el aumento de la población orbital se establecieron hace más de 20 años, en 1995.

De los 20.000 objetos catalogados en la actualidad, unos 1.700 son satélites activos; los demás son desechos espaciales, que constituyen el 92 % de la población orbital. Esos desechos se encuentran principalmente en las órbitas terrestres bajas, a altitudes de entre 600 y 1.200 km, así como cerca de la órbita geoestacionaria, a 35.800 km de altitud. La mitad de los desechos catalogados son componentes enteros, satélites inactivos, etapas superiores de vehículos de lanzamiento que quedaron en órbita y residuos de operaciones espaciales; la otra mitad consiste en fragmentos de cualquier tamaño y restos de colisiones o explosiones ocurridas en órbita.

Además de esos objetos catalogados de gran tamaño, orbitan alrededor de la Tierra unos 750.000 objetos de más de 1 cm de diámetro y más de 170 millones de más de 1 mm de diámetro.

Esas cifras pueden resultar impactantes, pero cabe tener presente que el espacio es infinitamente vasto. La masa de objetos orbitales artificiales, de 8.000 toneladas, equivalente a la de la Torre Eiffel, está distribuida por todo el espacio que rodea la Tierra. La densidad correspondiente es sumamente baja, ya que llega a una cifra máxima de 0,1 objetos por millón de km³ en la región más poblada.

No obstante, esos objetos tienen tres características muy particulares. La primera es que, una vez en órbita, generalmente permanecen en ella mucho tiempo. Por ejemplo, un satélite colocado en órbita a una altitud de 1.000 km seguirá allí durante 1.000 o 2.000 años. La segunda es que viaja a una velocidad orbital cercana a 8 km/s o 30.000 km/h. Esa velocidad, integrada a lo largo de un período de miles de años, constituye un riesgo importante de colisión. La tercera es que todo objeto puesto en una órbita terrestre baja termina por caer a la Tierra y, al hacerlo, entraña el riesgo de causar víctimas.

Los desechos orbitales plantean dos graves problemas

El regreso incontrolado de objetos espaciales de gran tamaño a la atmósfera pone en peligro a la población

Durante la entrada en la atmósfera los desechos se fragmentan debido a la enorme presión dinámica, que es proporcional al cuadrado de la velocidad. Después, los fragmentos se ven expuestos a corrientes de calor muy intensas, proporcionales al cubo de la velocidad, debido a la fricción con las moléculas de aire, que tiende a fundir y sublimar los materiales. Lamentablemente, ese proceso suele quedar inconcluso, y alrededor del 10 % al 20 % de la masa total de desechos puede sobrevivir a la entrada en la atmósfera, dependiendo de su composición. Los materiales refractarios, como el titanio, el carbono y algunas variedades de acero, no se funden durante la entrada e impactan en la superficie del planeta.

Por fortuna, el 71 % de la superficie terrestre está cubierto de agua, mientras que el resto se compone principalmente de grandes zonas desérticas. Las zonas densamente pobladas son solo el 3 % de la superficie de la Tierra, de modo que el riesgo para la población sigue siendo bajo.

Para indicar el orden de magnitud, cada semana entra al azar en la atmósfera un satélite o una etapa de un vehículo de lanzamiento de gran tamaño, lo que supone un riesgo de lesiones para 1 de cada 10.000 personas. Hasta la fecha no se han registrado víctimas, aunque se han encontrado desechos voluminosos cerca de zonas habitadas, y en raras ocasiones ha habido daños menores en edificios. El problema pende sobre nosotros como una espada de Damocles: seguimos lanzando etapas de vehículos de lanzamiento o satélites de gran tamaño, a sabiendas de que terminarán por regresar a la atmósfera al azar y expondrán a la población a un riesgo considerable.

Riesgo de colisión en órbita

Las colisiones tienen diversas consecuencias. Ya no son un problema de seguridad, sino un riesgo comercial relacionado con los posibles daños infligidos a los satélites activos, que son útiles, y a menudo fundamentales, para la vida cotidiana.

Existen varios posibles riesgos.

Una colisión entre un pequeño fragmento de un desecho sin catalogar y un satélite activo puede inutilizar el vehículo espacial. La energía cinética liberada en una colisión es sumamente alta (una colisión con un fragmento de 1 mm de diámetro tiene una energía de 1 kilojulio, equivalente a la de un bolo lanzado a 100 km/h). En esas circunstancias, incluso un pequeño impacto puede causar la pérdida de un satélite, por ejemplo, si afecta a la computadora de a bordo. Varios estudios han demostrado que la probabilidad de perder un satélite por una colisión es del orden del 5 %. Los desechos espaciales son actualmente la primera causa de la pérdida de satélites en órbita. Como, por definición, los desechos pequeños no están catalogados, es decir, no son visibles, no hay manera de evitar esas colisiones.

Las colisiones entre objetos de gran tamaño son muy infrecuentes; ocurre una cada cinco a ocho años, según el modelo de que se trate. Sin embargo, cada una de ellas genera una gran cantidad de desechos y, por lo tanto, puede aumentar considerablemente el riesgo general para los objetos que están en órbita. Este efecto de regeneración tras una colisión plantea el riesgo de que se produzca un aumento descontrolado de la cantidad de desechos. Se denomina síndrome de Kessler, y se formuló teóricamente ya en 1978. Podría desencadenar una situación incontrolable, aunque se suspendieran todas las actividades espaciales en el futuro. A modo de ejemplo, en febrero de 2009, la colisión entre los satélites Iridium 33 y Kosmos 2251 generó más de 2.200 fragmentos de desechos de gran tamaño catalogados y una miríada de desechos más pequeños.

En simulaciones realizadas por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos de América, y luego por siete organismos del Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales (IADC), se demostró que, incluso si se suspendieran todas las actividades espaciales, la cantidad de desechos orbitales aumentaría exponencialmente en los próximos años. A título ilustrativo, los resultados de las simulaciones efectuadas por la NASA sin tener en cuenta ningún otro lanzamiento posterior a 2006 pronostican un claro aumento a largo plazo debido a las colisiones entre objetos de gran tamaño.

Medidas para limitar el número de desechos orbitales en el futuro y garantizar la sostenibilidad de las operaciones espaciales

Un conjunto de requisitos internacionales eficaces y ampliamente aceptados

La medida más importante y, de hecho, fundamental, es establecer normas a nivel internacional para prevenir la generación de desechos de resultados de las futuras operaciones espaciales. Esto se conoce como reducción de los desechos espaciales, y puede resumirse en cinco medidas de alto nivel que se exponen a continuación.

En primer lugar, es imperativo limitar la generación de desechos durante las operaciones normales de lanzamiento y evitar la destrucción voluntaria de satélites en órbita.

En segundo lugar, deben evitarse las explosiones accidentales en órbita mediante la pasivación de todos los objetos espaciales que queden, es decir, eliminando toda fuente de energía almacenada, como los propulsores residuales, los fluidos comprimidos en tanques presurizados y las baterías, o deteniendo los volantes de reacción.

En tercer lugar, es preciso limitar la vida orbital de los objetos espaciales. Al término de su vida útil, los satélites y las etapas superiores de los vehículos de lanzamiento deben permanecer durante menos de 25 años en dos zonas protegidas, a saber, en las órbitas terrestres bajas y en las cercanías de la órbita geoestacionaria.

La cuarta medida es recomendar a las entidades de explotación de satélites que hagan lo posible por evitar las colisiones en órbita cuando se disponga de información suficientemente exacta y el satélite sea maniobrable.

Por último, se recomienda reducir al mínimo el riesgo que conlleva para la población una entrada incontrolada en la atmósfera. Con ese fin, las entidades de explotación de satélites deberían organizar un regreso controlado tras cualquier misión que entrañara peligro de muerte para más de 1 de cada 10.000 personas.

Estas normas figuran en muchos textos de alcance nacional e internacional. La lista que figura a continuación tiene como único objetivo demostrar que esas recomendaciones vienen formulándose desde hace más de 20 años.

Al parecer, la primera publicación en que se expresaron preocupaciones acerca de la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones espaciales fue un documento del Japón de 1971. Después de esas reflexiones iniciales, se aludió muchas veces a este asunto, por ejemplo, en documentos de la NASA publicados a partir de 1974 y en otros publicados en Europa hacia 1987, lo que desembocó en las primeras normas nacionales, en particular las formuladas por la NASA en 1995, las del Organismo Nacional de Actividades Espaciales del Japón (actualmente llamado Organismo de Exploración Aeroespacial del Japón), en 1996, y las del Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia, en 1999.

El primer texto aprobado a nivel internacional fue el de las Directrices para la Reducción de Desechos Espaciales, elaborado por el IADC, compendio de recomendaciones formuladas por ese Comité, que agrupa actualmente a los 13 principales organismos espaciales. El documento se aprobó por unanimidad en 2002 y se modificó en 2007. En 2000 se finalizó una norma similar de alcance europeo, que se aprobó en junio de 2004.

Las Directrices del IADC fueron adaptadas por la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, y la Asamblea General las hizo suyas en una resolución aprobada en sesión plenaria en 2007.

Francia fue el primer país que promulgó una ley relativa a este asunto, a saber, la Ley de Operaciones Espaciales (*Loi relative aux opérations spatiales*), que entró en vigor en 2010 y fue modificada en 2017.

Desde 2011 la Organización Internacional de Normalización (ISO) ha publicado varias normas sobre los desechos espaciales, en particular la ISO 24113, que es la de más alto nivel. Si esa norma pudiera hacerse aplicable efectivamente a todas las entidades de explotación y a todos los fabricantes, permitiría frenar con eficiencia el aumento de la contaminación del espacio.

Paralelamente, en 2010 la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos creó el Grupo de Trabajo sobre la Sostenibilidad a Largo Plazo de las Actividades en el Espacio Ultraterrestre, encargado de redactar un texto consensual con directrices voluntarias sobre las mejores prácticas, destinado a todas las entidades espaciales, para contribuir a garantizar la utilización sostenible a largo plazo del espacio ultraterrestre. En el proceso de aprobación de las 37 directrices por consenso, es decir, por todos los miembros, se han planteado algunas cuestiones difíciles de resolver, por lo que hasta ahora solo se han aprobado 12 de ellas. Sin embargo, el Grupo de Trabajo

sigue en actividad, y se prevé que, una vez aprobado, el compendio de directrices de las Naciones Unidas resultará un instrumento muy eficaz.

Por último, un gran número de entidades de explotación participaron recientemente en la preparación de una carta especial en la que se proponen directrices más estrictas que en los demás documentos. Ese conjunto de mejores prácticas todavía está en etapa de proyecto, y aún no se sabe si podría pasar a ser un documento normativo.

Protección contra impactos

Una segunda medida para reducir el efecto de la población orbital es blindar los satélites activos. Pueden emplearse para eso láminas de metal o kevlar, o incluso capas de espuma densa, colocadas en el exterior de una pared estructural, las cuales fragmentarían los desechos que chocaran contra ellas y los reducirían a una nube de partículas que no podrían perforar la estructura principal ni podrían causarle otros daños.

Los posibles ensamblajes son muy diversos, dependiendo del tipo de desechos que se hayan de neutralizar, la órbita del satélite blindado, la orientación de esta y la importancia de las partes que haya que proteger. Se vienen realizando numerosos ensayos en todo el mundo para encontrar las combinaciones óptimas. Se realizan pruebas en tierra con cañones de gas ligero, a menudo de dos etapas, que disparan bolitas metálicas de 1 mm de diámetro a velocidades de hasta 12 km/s.

Por desgracia, esa clase de blindaje no es muy eficaz, ya que difícilmente puede proteger una pared del impacto de objetos de más de 1 cm de diámetro. Para evitar que el impacto de desechos de mayor tamaño cause daños a los satélites, habrá que realizar alguna maniobra para apartarlos de su camino, y eso únicamente es posible si se conocen la órbita y la posición de los desechos. Los de más de 10 cm de diámetro están catalogados y, por lo tanto, puede protegerse de ellos a los satélites haciendo una maniobra para evitar la colisión. Sin embargo, no es posible protegerlos de desechos de menos de 10 cm de diámetro (porque no pueden ser catalogados) pero de más de 1 cm de diámetro (porque el blindaje protector no es suficiente).

El blindaje también plantea muchos problemas de volumen, masa y costo, e incluso problemas sistémicos como el relativo al equilibrio térmico del satélite. En la práctica, actualmente solo se instala blindaje en satélites tripulados, como la Estación Espacial Internacional, los vehículos europeos de transferencia automatizada, el vehículo japonés de transferencia H-II o algunos satélites militares estadounidenses de muy gran tamaño.

Medidas para evitar colisiones

Una medida eficaz para proteger a los satélites operacionales con propulsión a bordo es evitar las colisiones con objetos catalogados.

Se trata de una labor muy compleja que exige “propagar” durante varios días las órbitas de todos los objetos potencialmente peligrosos para determinar posibles colisiones. Los cálculos estadísticos se basan en las probabilidades de colisión determinadas por las matrices de covarianza de cada objeto. Cada alerta desencadena un análisis retrospectivo de la posible trayectoria del objeto que puede exigir mediciones específicas por medio de instrumentos especiales de vigilancia espacial como radares y telescopios. Además, el Centro Conjunto de Operaciones Espaciales envía directamente algunos mensajes de datos sobre conjunciones.

En esta labor se aprovechan las redes existentes de vigilancia y seguimiento espaciales, principalmente la de los Estados Unidos, pero también la Red Científica Internacional de Observación Óptica, redes nacionales como el sistema francés basado en la gran red adaptada a la vigilancia espacial (GRAVES) e iniciativas comerciales como el Commercial Space Operations Center (Centro de Operaciones Espaciales Comerciales) de Analytical Graphics Inc. (AGI) o LeoLabs.

Esos análisis permiten determinar cuándo debe maniobrarse un satélite para reducir la probabilidad de colisión. Como cálculo aproximado, hay que maniobrar cada satélite una vez al año para evitar colisiones.

El principal problema es la falta de precisión de los parámetros orbitales de los desechos, cuyo margen de error característico es de 100 a 1.000 m. Esto da lugar a un número sumamente elevado de falsas alarmas, del orden del 99,99 %. Una de las mejoras que se requieren con carácter prioritario en los próximos años es aumentar en varios órdenes de magnitud la exactitud de los parámetros orbitales. Eso podría lograrse utilizando técnicas de telemetría por láser, ya sea desde tierra o en órbita.

Evitación inmediata de colisiones entre desechos no maniobrables de gran tamaño

El procedimiento para evitar colisiones descrito en el párrafo anterior solo guarda relación con los satélites activos, que son menos del 20% de los objetos de gran tamaño que están en órbitas terrestres bajas (satélites o etapas de vehículos de lanzamiento). Eso significa que es eficaz para proteger a los satélites operacionales, pero no contribuye en modo alguno a contener el aumento de la población orbital debido a colisiones entre grandes objetos no maniobrables, que son estadísticamente predominantes, y, por lo tanto, es de utilidad limitada para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones espaciales.

Así pues, en los últimos años se ha venido estudiando otra medida, la de evitar las colisiones predecibles entre residuos de gran tamaño. En lo esencial, la idea es que, cuando sea probable que ocurra una colisión en un par de días, es decir, si la probabilidad de colisión es superior a un umbral permitido, se realice una misión con el fin de ajustar muy ligeramente la trayectoria de uno de los dos desechos y, de esa manera, evitar la colisión o restablecer un margen aceptable de probabilidades.

Principalmente en los Estados Unidos y Francia se vienen estudiando varias técnicas para evitar las colisiones inmediatas, técnicas que consisten, por ejemplo, en lanzar una nube de gas, polvo o partículas frente a los desechos mediante un cohete sonda a fin de aumentar brevemente la resistencia aerodinámica del objeto y reducir su velocidad. Esos métodos son muy prometedores porque parecen mucho más sencillos que las técnicas de eliminación activa y se utilizarían solo en caso de colisión muy probable, lo que normalmente puede ocurrir cada cinco o seis años. En otras técnicas que también estudian conjuntamente los Estados Unidos y Francia se utilizan sistemas de láser en órbita para ajustar la trayectoria de los desechos mediante impulsos muy cortos, pero intensos, que vaporizan localmente su superficie y modifican ligeramente su velocidad. Se ha propuesto controlar continuamente la posición de todos los desechos de gran tamaño mediante un sistema de láser relativamente pequeño, para minimizar la probabilidad de colisión (lo que se denomina “gestión del tráfico de desechos de gran tamaño”).

Eliminación activa de desechos

Una medida importante que se viene estudiando desde hace más de 15 años es recuperar los desechos de muy gran tamaño que sean potencialmente peligrosos, es decir, los que pueden generar la mayor cantidad de desechos secundarios tras una colisión. Esta y otras medidas similares se denominan “medidas de eliminación activa de desechos”.

Esa estrategia se basa en las conclusiones de estudios realizados inicialmente por la NASA, que se publicaron en 2010, y más adelante, por la mayoría de las delegaciones del IADC. Suponiendo que se aplicaran muy bien las medidas de reducción (evitar la fragmentación en órbita y cumplir la norma de 25 años en órbitas terrestres bajas), para estabilizar la población orbital bastaría con recuperar de 5 a 10 desechos de gran tamaño correctamente elegidos que estuvieran en las órbitas más pobladas.

Para “limpiar” el espacio ultraterrestre se han propuesto y estudiado muchas posibles soluciones, que se han ensayado en tierra, en condiciones de vuelo de gravedad

cero, y recientemente, en órbita. Esas soluciones se dividen en varias categorías (el siguiente resumen no es exhaustivo).

En principio, hay algunas soluciones para las que no se necesita un contacto directo, por ejemplo, la correa electrostática virtual, o un láser para elevar la órbita de los satélites antiguos abandonados en la órbita geoestacionaria.

También hay numerosas soluciones, derivadas de las técnicas de pesca, en las que se utilizan anzuelos, arpones y redes para capturar los desechos y tirar de ellos con una amarra larga hasta que entren en la atmósfera de forma controlada.

Además, varias ideas se basan en aumentar la resistencia aerodinámica de los desechos para acelerar su pérdida de altitud, por ejemplo, utilizando un vehículo especial para darles alcance y adosarles una bolsa de aire de gran tamaño o una vela, con lo cual aumentará considerablemente su superficie total. También se les puede instalar una amarra electrodinámica, es decir, un cable conductor que interactúe con el campo magnético de la Tierra para generar fuerzas de Lorentz que reduzcan su velocidad y con ello su vida orbital. Sin embargo, esas soluciones tienen inconvenientes importantes porque inducen un regreso incontrolado y, por lo tanto, pueden ser peligrosas para la población.

Por último, las soluciones más convencionales consisten en capturar los desechos mediante un brazo robótico, con numerosas variantes que pueden consistir en tentáculos o abrazaderas, para sujetarlos y posteriormente desorbitarlos de forma controlada hasta que entren en la atmósfera.

Esas soluciones están, en general, muy avanzadas técnicamente, y ya se han realizado numerosas demostraciones, incluso en órbita. Así pues, los problemas principales no son técnicos, sino financieros, porque esas operaciones serán muy costosas si no se cuenta con un plan comercial definido, encaminado a crear condiciones favorables para realizar negocios en ese sector. También hay muchos obstáculos jurídicos, relativos a delimitar la responsabilidad con respecto a las operaciones, e incluso cuestiones militares, porque algunas de esas operaciones podrían propiciar la militarización del espacio.

Estas cuestiones se examinan intensamente en varios grupos de trabajo a nivel internacional, en particular en la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, en el marco de la labor relacionada con la sostenibilidad a largo plazo de las actividades en el espacio ultraterrestre. Las primeras iniciativas de eliminación activa de desechos pudieron emprenderse antes de lo previsto gracias a la aparición de los remolcadores espaciales. Varios de estos vehículos orbitales polivalentes se encuentran actualmente en la etapa de formulación, en particular en los Estados Unidos y Francia, y la desorbitación de desechos de gran tamaño podría ser la última actividad de un remolcador espacial o la última maniobra de su vida útil tras finalizar sus operaciones orbitales. También se están elaborando vehículos orbitales para desorbitar satélites de constelaciones abandonados, lo que demuestra el potencial que tendría un plan comercial acertado en el ámbito de la eliminación activa de desechos.

Conclusión: la situación es motivo de preocupación

El grado de cumplimiento de las normas sobre la reducción de los desechos es actualmente muy insuficiente

En general, el grado de cumplimiento es de aproximadamente el 55 %, pero esa cifra puede ser algo optimista porque abarca todos los satélites pequeños lanzados a baja altitud, que regresan rápidamente a la atmósfera. Si se consideran únicamente los vehículos espaciales que se encuentran a altitudes de más de 600 km, el grado de cumplimiento es inferior al 20 %. Si se consideran solo los satélites de más de 100 kg, descendiendo al 6 %.

La masa y el número de desechos que se encuentran en órbita siguen aumentando y no hay señales de que vayan a disminuir. Cada año siguen produciéndose numerosas colisiones y fragmentaciones en órbita, y durante las operaciones de lanzamiento se

siguen liberando decenas de objetos de gran tamaño, además de los satélites y etapas superiores de los vehículos de lanzamiento.

Muchos estudios han demostrado que, para poner coto al aumento de los desechos, sería necesario que el grado de cumplimiento de las normas de reducción fuese de más del 90 %.

La aparición de los nanosatélites plantea numerosos interrogantes

Actualmente se observa un aumento explosivo del número de satélites muy pequeños que se ponen en órbita. Estos CubeSat representan un cambio radical, porque se trata de satélites inteligentes que aprovechan al máximo la miniaturización y ofrecen gran número de aplicaciones espaciales a muy bajos costos de formulación, producción y lanzamiento. En consecuencia, cada año se lanzan varios cientos de ellos, pero en la mayoría de los casos no tienen propulsión y, por consiguiente, no pueden evitar colisiones, ni es posible reducir su vida orbital. Suelen ser puestos en órbita a gran altitud y no cumplen la norma de los 25 años. En 2017 se lanzaron unos 430 CubeSat, y se prevé que a partir de 2018 se lanzarán más de 500 por año.

Actualmente el IADC y la ISO están definiendo otras normas, aplicables a los satélites que no tienen capacidad para evitar colisiones, por las que se limitaría su vida orbital a 25 años tras el lanzamiento y su altitud a unos 600 km.

Las grandes constelaciones

Las grandes constelaciones plantean un problema diferente. Se hacen planes para lanzar constelaciones de miles de satélites de 200 a 500 kg cada uno, por lo general a órbitas muy estables. Por ejemplo, en el marco de la iniciativa One Web, a partir de mediados de 2018 se lanzarán cerca de 1.000 satélites para Internet, que se pondrán en una órbita circular muy inclinada de 1.200 km, estable durante miles de años. Y tal vez eso sea solo el comienzo. La empresa Boeing ha anunciado su propia constelación de 2.900 satélites. A su vez, SpaceX anunció que lanzará su primera constelación, de 2.800 satélites, y una segunda de 7.500. En total, la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos ha recibido solicitudes para lanzar más de 17.000 satélites en los próximos 10 años (cabe recordar que actualmente hay solo 1.700 satélites activos).

Muchas de las entidades de explotación de satélites son empresas de Silicon Valley recién llegadas, que no tienen experiencia en materia de operaciones espaciales. Sin embargo, parecen conocer muy bien todas las normas de reducción de los desechos espaciales, por lo que aún cabe confiar en que esas vastas operaciones realizadas en órbitas muy estables redunden en una situación controlable a largo plazo, siempre y cuando se cumplan estrictamente las normas internacionales.

Nuevo radar llamado “Valla Espacial”

La Fuerza Aérea de los Estados Unidos está construyendo un nuevo sistema de radar de banda S, llamado “Space Fence” (valla espacial), que entrará en funcionamiento en 2019. Ese sistema podrá rastrear objetos bastante más pequeños que los catalogados hoy en día, posiblemente de 3 a 5 cm de diámetro. Este nuevo componente de los sistemas de vigilancia y seguimiento espaciales constituye una gran noticia, si bien, al mismo tiempo, significa que el número de objetos catalogados aumentará en un orden de magnitud, posiblemente a 200.000. Esto elevará enormemente el número de alertas de colisión, si al mismo tiempo no aumenta lo suficiente la exactitud de la información orbital.

Gestión del tráfico espacial

Al parecer se reconoce cada vez más que para preservar las actividades espaciales para el futuro se debe actuar con rapidez. A nivel internacional se está trabajando intensamente en lo que respecta a la gestión del tráfico espacial con objeto de garantizar la seguridad del espacio ultraterrestre, la cual, conforme a la definición formulada por

el Instituto Europeo de Política Espacial, consiste en la protección de la infraestructura espacial contra amenazas y riesgos naturales y de origen humano para garantizar la sostenibilidad de las actividades espaciales. Algunos investigadores proponen crear una nueva organización espacial internacional, de carácter civil, con un mandato muy ambicioso que abarcaría desde la gestión de las normas de reducción de los desechos hasta la imposición de tasas de acceso al espacio, organización esta que tendría facultades de ejecución.

Esas iniciativas son acertadas, pero esencialmente tienen por objeto brindar protección a corto plazo a los satélites operacionales. Hasta la fecha prácticamente no se han presentado propuestas encaminadas a evitar la aparición de miles de fragmentos resultantes de las colisiones entre desechos de gran tamaño no maniobrables. Mientras no se encuentre una solución, las futuras operaciones espaciales seguirán estando gravemente amenazadas.
