



Asamblea General

Distr.: GENERAL
14 de diciembre de 1998
ESPAÑOL
Original: INGLÉS

COMISIÓN SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL ESPACIO ULTRATERRESTRE CON FINES PACÍFICOS

Proyecto de informe técnico sobre desechos espaciales de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos

Índice

	<i>Párrafos</i>	<i>Página</i>
Introducción	1-9	3
1. Mediciones de desechos espaciales	10-59	4
1.1 Mediciones desde tierra	10-30	4
1.1.1 Mediciones por radar	11-24	5
1.1.2 Mediciones ópticas	25-30	6
1.2 Mediciones desde el espacio	31-44	9
1.2.1 Superficies y detectores de impactos recuperados	31-39	9
1.2.2 Mediciones espaciales de desechos	40-44	10
1.3 Resumen de las mediciones	45	11
1.4 Catalogación y bases de datos	46-52	11
1.5 Efectos del entorno de desechos espaciales en el funcionamiento de los sistemas espaciales	53	15
1.5.1 Efectos de los desechos grandes en el funcionamiento de los sistemas espaciales ...	54	15
1.5.2 Efectos de los desechos pequeños en el funcionamiento de los sistemas espaciales ...	55	16
1.5.2.1 Daños a la superficie o los subsistemas	56	16
1.5.2.2 Efectos de los desechos espaciales en las operaciones espaciales tripuladas ...	57-58	16
1.6 Otros efectos de los desechos espaciales	59	16
2. Elaboración de modelos del entorno de desechos espaciales y evaluación de riesgos	60-93	16
2.1 Elaboración de modelos del entorno de los desechos espaciales	60-77	16
2.1.1 Introducción y metodología	60-66	16
2.1.2 Modelos a corto plazo	67-68	18
2.1.3 Modelos a largo plazo	69-77	19
2.2 Evaluaciones del riesgo de los desechos espaciales	78-93	22
2.2.1 Introducción	78-79	22
2.2.2 Evaluaciones de los riesgos de colisión en la órbita terrestre baja	80-82	22

Índice (continuación)

	<i>Párrafos</i>	<i>Página</i>
2.2.2.1 Metodología	80-82	22
2.2.2.2 Resultados de las evaluaciones de riesgos	83-85	24
2.2.3 Evaluación del riesgo de colisión en órbita geoestacionaria	86-88	24
2.2.4 Evaluación del riesgo imputable al reingreso de desechos espaciales	89-93	26
3. Medidas de reducción de los desechos espaciales	94-129	26
3.1 Reducción del aumento de desechos en el tiempo	94-103	26
3.1.1 Evitación de los desechos generados en condiciones operacionales normales	94	26
3.1.1.1 Objetos relacionados con misiones	94	26
3.1.1.2 Amarres	95	26
3.1.1.3 Efluentes sólidos de motores de cohetes, pintura y otros materiales externos ..	96	27
3.1.2 Prevención de roturas en órbita	97	27
3.1.2.1 Explosiones en órbita	98-99	27
3.1.2.2 Colisiones en órbita	100	27
3.1.3 Salida de órbita y reinserción en órbita de objetos espaciales	101-103	27
3.1.3.1 Terminación de la misión de sistemas espaciales	101-102	27
3.1.3.2 En caso de fallo	103	28
3.2 Estrategias de protección	104-118	28
3.2.1 Blindaje	105-107	28
3.2.1.1 Vuelos espaciales tripulados	108-110	29
3.2.1.2 Naves espaciales no tripuladas	111	29
3.2.2 Evitación de colisiones	112-118	30
3.2.2.1 En órbita	114-117	30
3.2.2.2 Lanzamiento	118	30
3.3 Efectividad de las medidas de mitigación de desechos	119-129	31
3.3.1 Escenarios de medidas de mitigación	122-124	31
3.3.2 Costo u otras repercusiones de las medidas de mitigación	125	32
3.3.2.1 Costo de desarrollo de los sistemas	126	32
3.3.2.2 Comportamiento de lanzamiento y desventajas en cuanto a la masa	127	33
3.3.2.3 Tiempo de vida de la misión	128	33
3.3.2.4 Fiabilidad	129	33
4. Resumen	130-135	33
Anexo. Lista de documentos relacionados con el tema de los “desechos espaciales”		35

Introducción

1. El tema de los desechos espaciales se incluyó en el programa de trabajo de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su 31° período de sesiones, celebrado en febrero de 1994, de conformidad con la resolución 48/39 de la Asamblea General, de 10 de diciembre de 1993. La Subcomisión expresó su satisfacción por el hecho de que, tras muchos años de debates en diversos foros internacionales, entre ellos la propia Subcomisión y la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, la cuestión de los desechos espaciales figurase por separado como tema de su programa. La Subcomisión convino en que el examen de la cuestión de los desechos espaciales era importante y en que la cooperación internacional era indispensable para formular estrategias apropiadas y asequibles a fin de minimizar las posibles consecuencias de los desechos espaciales para futuras misiones espaciales (A/AC.105/571, párr. 64). En sus períodos de sesiones ulteriores, la Subcomisión prosiguió el examen de ese tema del programa con carácter prioritario.

2. La Subcomisión convino en que era importante disponer de una firme base científica y técnica para la adopción de futuras medidas sobre los complejos atributos de los desechos espaciales y que debía, entre otras cosas, centrarse en la comprensión de los aspectos de la investigación relacionados con los desechos, inclusive: técnicas de medición de los desechos, elaboración de modelos matemáticos del entorno de los desechos, caracterización del entorno de los desechos espaciales y medidas para reducir los riesgos de los desechos espaciales por ejemplo en lo que respecta al diseño de las naves espaciales para protegerlas contra esos desechos (A/AC.105/605, párr. 79). A fin de adelantar en su examen del tema de los desechos espaciales, en su 32° período de sesiones, la Subcomisión aprobó el siguiente plan de trabajo (A/AC.105/605, párr. 83):

1996: Mediciones de desechos espaciales, inteligencia de los datos y efectos de este entorno sobre los sistemas espaciales. Las mediciones de desechos espaciales comprenden todos los procesos por los que se obtiene información sobre el entorno de partículas cercanas a la Tierra mediante sensores terrestres y basados en el espacio. Debe describirse el efecto

(impacto de partículas y daños importantes) de este entorno sobre los sistemas espaciales;

1997: Elaboración de modelos matemáticos sobre el entorno de los desechos espaciales y evaluación de los riesgos. Un modelo de los desechos espaciales es una descripción matemática de la distribución actual y futura en el espacio de los desechos como función de su tamaño y de otros parámetros físicos. Los aspectos que deben abordarse son: análisis de modelos de fragmentación; evolución a corto y a largo plazo de la población de desechos espaciales; y comparación de modelos. Deben examinarse críticamente los diversos métodos para evaluar los riesgos de colisión;

1998: Medidas de mitigación de los desechos espaciales. La mitigación comprende la reducción del crecimiento de la población de desechos espaciales y la protección contra el impacto de partículas. Las medidas para la reducción del crecimiento de los desechos abarcan métodos para prevenir los desechos y quitarlos. La protección contra los desechos espaciales comprende: protección física mediante blindaje y medios de evitar la colisión.

3. En cada período de sesiones se examinarían las prácticas operacionales actuales de mitigación de los desechos y se estudiarían futuros métodos de mitigación con respecto a su eficiencia en relación con el costo. La Subcomisión convino en que el plan de trabajo se aplicara con flexibilidad y en que, a pesar de la selección de un punto concreto como tema para el siguiente período de sesiones, las delegaciones que lo desearan pudieran hacer uso de la palabra en la Subcomisión en ese momento para referirse a otros aspectos de la investigación científica relacionada con los desechos espaciales (A/AC.105/605, párrs. 83 y 84).

4. La Subcomisión observó que en algunos países se habían realizado ya ciertas investigaciones sobre los desechos espaciales, lo que había permitido una mejor comprensión de las fuentes de los desechos, las zonas en órbita cercana a la Tierra que alcanzaban elevados niveles de densidad de desechos, las probabilidades y los efectos de las colisiones y la necesidad de minimizar la creación de desechos espaciales (A/AC.105/605, párr. 88). La Subcomisión acordó que los Estados Miembros debían prestar mayor atención al problema de las colisiones de objetos espaciales, inclusive los que

funcionaban con fuentes de energía nuclear a bordo, con desechos espaciales, y a otros aspectos de esos desechos. Convino también en que debía proseguir la investigación nacional sobre los desechos espaciales y que los Estados Miembros tenían que poner los resultados de esas investigaciones a disposición de todas las partes interesadas (A/AC.105/605, párr. 85)¹.

5. La Subcomisión alentó a los Estados Miembros y a las organizaciones internacionales pertinentes a que suministraran información sobre las prácticas adoptadas y que habían resultado eficaces para minimizar la creación de desechos espaciales (A/AC.105/605, párr. 88). La secretaría compiló la información y la ha puesto a disposición de los interesados en forma de documentos de las Naciones Unidas. En el anexo figura una lista de los documentos relacionados con el tema de los “desechos espaciales”.

6. A fin de contar con una interpretación uniforme del término “desechos espaciales”, en su 32º período de sesiones, la Subcomisión propuso una definición del término que, modificada en sus períodos de sesiones ulteriores, reza así: “Son desechos espaciales todos los objetos artificiales, inclusive sus fragmentos y piezas, tanto si es posible la identificación de sus propietarios como si no lo es, en órbita terrestre o que reingresan a las capas densas de la atmósfera y que no son funcionales ni tienen expectativa razonable de que puedan asumir o reanudar las funciones a que se destinaban ni ninguna otra función para la que estén o puedan estar autorizados” (A/AC.105/672, párr. 112). Sin embargo, aún no hay consenso sobre la definición.

7. En su 33º período de sesiones, la Subcomisión inició la preparación de su informe técnico sobre los desechos espaciales a fin de establecer un entendimiento común que pudiera servir de base para las deliberaciones subsiguientes de la Comisión sobre ese importante asunto. El informe técnico se estructuró de acuerdo con los temas concretos previstos en el plan de trabajo para el período 1996 a 1998, y se fue desarrollando y actualizando cada año. El texto fue preparado durante los períodos de sesiones de la Subcomisión por un grupo oficioso de expertos facilitados por los Estados Miembros. Al redactarse el informe técnico se evaluaron los documentos de trabajo preparados para los períodos de sesiones así como las exposiciones científicas y

técnicas realizadas por destacados especialistas en desechos espaciales.

8. Hizo aportaciones especialmente valiosas a todas las partes del informe técnico, en particular datos gráficos y numéricos, el Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales, constituido oficialmente en 1993 para que los organismos espaciales pudieran intercambiar información sobre las actividades de investigación relativas a los desechos espaciales, examinar los progresos de las actividades de cooperación en curso, facilitar oportunidades de cooperación en materia de investigación sobre desechos espaciales y determinar opciones para la mitigación de los desechos. Los miembros fundadores de este Comité fueron la Agencia Espacial Europea (ESA), el Japón, la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos de América y la Agencia Espacial Rusa. China se integró en 1995 y luego lo hicieron el Centro Nacional Británico del Espacio, el Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) de Francia y la Organización de Investigación Espacial de la India en 1996, y el Instituto Alemán de Investigaciones Aeroespaciales (DLR) en 1997. Recientemente, la Agencia Espacial Italiana (ASI) solicitó ser admitida como miembro del Comité.

9. En su 35º período de sesiones, la Subcomisión convino en que el informe técnico final de la Subcomisión sobre desechos espaciales se aprobase en su 36º período de sesiones, en 1999, una vez efectuada la última revisión en el lapso comprendido entre esos dos períodos de sesiones y tras el examen de las organizaciones pertinentes (como el Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales y la Academia Internacional de Astronáutica (AIA)).

1. Mediciones de desechos espaciales

1.1 Mediciones desde tierra

10. La teleobservación de desechos espaciales con mediciones desde tierra se divide en general en dos categorías: mediciones por radar y mediciones ópticas. Generalmente, las mediciones por radar se han utilizado para desechos espaciales situados en órbitas terrestres bajas, mientras que las mediciones ópticas se han utilizado para las órbitas terrestres altas. En el caso de las mediciones ópticas pasivas, la intensidad de la señal que

se devuelve es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia o altitud del objeto, ya que la iluminación incidente del Sol es intrínsecamente independiente de la altitud. Para las mediciones por radar, la intensidad de la señal que se devuelve es inversamente proporcional a la distancia elevada a la cuarta potencia, ya que los radares deben proporcionar su propia iluminación. Por tanto, un telescopio óptico de tamaño medio puede resultar más eficaz que la mayoría de los radares en la detección de desechos a grandes altitudes. Se han realizado algunas mediciones ópticas de pequeños desechos en órbitas terrestres bajas, pero en general los radares son más eficaces que los telescopios para las mediciones en órbitas terrestres bajas.

1.1.1 Mediciones por radar

11. Los radares terrestres son especialmente apropiados para observar los objetos espaciales debido a que funcionan independientemente de las condiciones meteorológicas, tanto de día como de noche. La potencia del radar y la longitud de onda en la que actúan son factores que limitan la detección de pequeños objetos a grandes distancias.

12. Para las mediciones de objetos espaciales se utilizan básicamente dos tipos de radar:

a) Radares con dirección del haz controlada mecánicamente mediante antenas parabólicas reflectoras. Sólo pueden detectarse y medirse objetos que se encuentran en el campo de visión real, dado por la dirección mecánica de la antena parabólica reflectora;

b) Radares con dirección del haz controlada electrónicamente mediante antenas múltiples con mando de fase. Se pueden detectar y medir simultáneamente varios objetos en distintas direcciones.

13. El primer tipo de radar se utiliza principalmente para el rastreo y la imagerie de satélites, y el segundo para las tareas de rastreo y búsqueda.

14. Para la observación de los desechos espaciales se utilizan las siguientes funciones de radar: función de rastreo; función de haz fijo; y función mixta (en ocasiones denominada de observación y captación).

15. En la modalidad de rastreo el radar sigue un objeto durante unos minutos obteniendo datos sobre la dirección angular, la distancia, la velocidad radial, la amplitud y la fase de los ecos de radar. A partir de la evaluación de la dirección y la velocidad (angular y radial) como función temporal se pueden derivar los elementos orbitales.

16. En la función de haz fijo, la antena se mantiene fija en una dirección determinada y los ecos se reciben de los objetos que pasan dentro del campo de visión. Este procedimiento proporciona información estadística sobre el número y el tamaño de los objetos detectados, aunque datos menos exactos sobre su órbita.

17. En la función mixta, el radar empieza en la función de haz fijo y pasa a la de rastreo cuando un objeto atraviesa el haz, obteniendo con ello datos orbitales más exactos. Una vez reunidos los datos, el radar puede volver a la función de haz fijo.

18. Se han utilizado tanto radares de configuración monostática (con una única antena transmisora y receptora) como bistática (con una antena transmisora y otra receptora). En la función bistática, se utiliza una antena receptora adicional, separada de la antena emisora. Esto proporciona una mayor sensibilidad, que le permite detectar objetos más pequeños y le da flexibilidad para formar una red con diferentes tipos de antenas.

19. Utilizando principalmente las mediciones por radar, pueden obtenerse las siguientes características de los objetos espaciales, todas las cuales presentarán cierto grado de incertidumbre:

a) Los elementos orbitales que describen el movimiento del centro de masa del objeto alrededor de la Tierra;

b) La actitud que describe el movimiento del objeto alrededor de su centro de masa;

c) El tamaño y la forma del objeto;

d) La duración en órbita;

e) El coeficiente balístico, definido en el inciso g) del párrafo 47 *infra*, que especifica la velocidad a la que se degrada el semieje mayor orbital;

- f) La masa del objeto;
- g) Características materiales.

20. Los datos de determinación pueden reunirse en un catálogo de objetos espaciales, así como información estadística sobre el número de objetos de un tamaño determinado detectados en una región dada en un momento preciso.

21. Tanto la Federación de Rusia como los Estados Unidos (Mando Espacial de los Estados Unidos) tienen en funcionamiento redes de radares (y telescopios ópticos) para la detección, el rastreo y la catalogación de objetos espaciales en órbita. Estos catálogos se remontan al lanzamiento del primer satélite artificial en 1957 e incluyen desechos espaciales de pequeño diámetro (10 a 30 cm).

22. Los Estados Unidos, utilizando los Haystack, Haystack Auxiliary (HAX) y Goldstone, la Federación de Rusia, utilizando algunos radares rusos, y Alemania, utilizando el radar del Instituto de Investigación en Ciencias Aplicadas FGAN de Wachtberg-Werthhoven y el radiotelescopio Effelsberg, han efectuado mediciones por radar de las poblaciones de desechos orbitales de tamaños inferiores a 30 centímetros (el límite nominal para los catálogos de los Estados Unidos y de la Federación de Rusia). Los radares Haystack, HAX y Goldstone han proporcionado un cuadro estadístico de los desechos en órbita terrestre baja de tamaños que llegan hasta 0,5 cm (con algunos datos de sólo 0,2 cm). Las mediciones por radar del FGAN no han llegado a tamaños tan pequeños, pero en general coinciden con los resultados de la NASA. De estas y otras mediciones se desprende que la población de desechos excede la población natural de meteoritos de todos los tamaños (salvo los que tienen entre 30 y 500 μ).

23. El radar de la atmósfera media y alta (MU) de la Universidad de Kyoto (Japón) ha observado durante 20 segundos la variación de la sección transversal radárica de objetos desconocidos. Un sistema de radar biestático del Instituto de Ciencias Espaciales y Astronáuticas (ICEA) del Japón tiene capacidad para detectar objetos de un diámetro mínimo de 2 cm a 500 km de altitud.

24. En el cuadro 1 se presenta la capacidad de radar actual y prevista para la observación de desechos de tamaño inferior a los de diámetro comprendido entre 10 y 30 cm.

1.1.2 Mediciones ópticas

25. Los desechos pueden detectarse mediante un telescopio cuando el objeto que forma parte del desecho está iluminado por el Sol y el firmamento de fondo está oscurecido. En el caso de los objetos en órbita terrestre baja este período se limita a una o dos horas justo después de la puesta del sol o antes del amanecer. Sin embargo, en el caso de los objetos en órbita terrestre alta, tales como los objetos en órbita terrestre geosincrónica, las observaciones frecuentemente pueden continuar durante toda la noche. Otra limitación de las mediciones ópticas es la necesidad de que el cielo esté despejado y oscuro.

26. El Mando Espacial de los Estados Unidos emplea telescopios de 1 metro de abertura dotados de detectores con vidicon intensificado para rastrear objetos en órbita terrestre alta. Estas mediciones se utilizan para mantener la parte del catálogo del Mando Espacial correspondiente a la órbita terrestre alta. La capacidad de esos telescopios se limita a la detección de objetos de 1 metro en altitudes geosincrónicas, lo cual corresponde a una magnitud estelar límite de 16. Se está proyectando desarrollar dispositivos de acoplamiento de carga para estos telescopios, que mejorarán su rendimiento. La Agencia Espacial Rusa tiene un telescopio similar que se utiliza para mantener en su catálogo las órbitas de los objetos en órbita terrestre alta.

27. En general, los catálogos del Mando Espacial de los Estados Unidos y de la Federación de Rusia referentes a la órbita geoestacionaria versan sobre naves espaciales y cuerpos de cohetes intactos. Sin embargo, existen razones para creer que en la región de la órbita geoestacionaria también existen pequeños

Cuadro 1
Instalaciones de radar para la observación de desechos

País	Organización	Instalación	Tipo	Modo principal de funcionamiento	Configuración	Campo de visión	Longitud de onda (m)	Sensibilidad (Diámetro en metros)	Situación
Alemania	FGAN	TIRA	De antena parabólica	Mixto	Monostático	0,5	0,23	0,02 a 1.000 km	Operacional
Alemania	MPIfR	Effelsberg	De antena parabólica	De observación	Biestático con TIRA	0,16	0,23	0,009 a 1.000 km	Experimental
Estados Unidos	NASA	Goldstone	De antena parabólica	De observación	Biestático	0	0,035	0,002 a 500 km	En servicio
Estados Unidos	NASA/DoD	HAX	De antena parabólica	De observación	Monoestático	0,1	0,02	0,05 a 1.000 km	En servicio
Estados Unidos	NASA/DoD	Haystack	De antena parabólica	De observación	Monoestático	0,1	0,03	0,006 a 1.000 km	En servicio
Estados Unidos	DoD	TRADEX	De antena parabólica	Mixto	Monoestático	0,61/ 0,30	0,23/ 0,10	0,03 a 500 km	En servicio
Estados Unidos	NASA/N SF	Arecibo	De antena parabólica	De observación	Biestático	0	0,13	0,004 a 575 km	Experimento no repetible
Japón	ISAS	Uchinoura	De antena parabólica	Mixto	Biestático	0,4	0,13	0,02 a 500 km	Experimental
Japón	ICEA	Usuda	De antena parabólica	Mixto	Biestático	0,13	0,13	0,02 a 500 km	Experimental
Japón	Universidad de Kyoto	Radar MU	De antena múltiple con mando de fase	De observación	Monoestático	3,7	6,4	0,02 a 500 km	En servicio
Ucrania Federación de Rusia		Evpatoria	De antena parabólica	De observación	Biestático	0,1	0,056	0,003 a 1.000 km	En fase de desarrollo

desechos orbitales resultantes de explosiones. En 1978 se observó la explosión de un satélite Ekran ruso en la órbita geoestacionaria. Se han visto muchos objetos no catalogados en órbitas elípticas altas a una inclinación de 7 grados, posiblemente como consecuencia de la desintegración de la etapa de geotransferencia de un Ariane. El telescopio del

Mando Espacial de los Estados Unidos en Maui (Hawai) observó accidentalmente la destrucción de la última etapa del Titan 4 (1968-081E) en febrero de 1992. En la proximidad de la órbita geoestacionaria hay otras etapas finales que aún son potencialmente explosivas. Algunas de estas etapas parecen haberse perdido y es posible que ya hayan explotado.

28. Se requiere una combinación excepcional de sensibilidad y campo de visión para detectar los pequeños desechos orbitales que se supone existen en la órbita geoestacionaria. A fin de detectar desechos de dimensión inferior a 1 metro cerca de la altitud geosincrónica se requiere una magnitud estelar límite de 17 o mayor, y para observar grandes extensiones rápidamente es necesario disponer de un campo de visión lo más amplio posible. El campo de visión de la mayoría de los telescopios astronómicos que tienen suficiente sensibilidad es pequeño. Éstos sirven para determinar con exactitud la posición de los satélites (una vez que se conozca su ubicación aproximada), pero no para observar grandes extensiones de la bóveda celeste.

29. Se han realizado algunas mediciones preliminares para determinar si en las regiones cercanas a la órbita

geoestacionaria existen desechos de tamaño inferior a 1 metro. La NASA utilizó un telescopio pequeño capaz de detectar objetos de apenas 17,1 magnitudes estelares (equivalentes aproximadamente a un objeto de 0,6 metros de diámetro a una altitud geosincrónica), con un campo de visión de alrededor de 1,5 grados. Los resultados indicaron que en efecto existía una apreciable población de desechos en las inmediaciones de esas alturas. Hay fundamento para continuar las observaciones de desechos. El Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales está realizando en la actualidad una campaña para la exploración de los desechos orbitales en la órbita geoestacionaria.

30. En el cuadro 2, se resumen las capacidades ópticas existentes y previstas para la observación óptica de desechos.

Cuadro 2
Instalaciones ópticas para la observación de desechos

<i>País</i>	<i>Organización</i>	<i>Abertura del telescopio (metros)</i>	<i>Campo de visión (grados)</i>	<i>Tipo de detector</i>	<i>Magnitud límite</i>	<i>Situación</i>
	ESA	1	1	CCD	19	En fase de desarrollo
Estados Unidos	NASA	0,3	1,5	CCD	17,1	En servicio
Estados Unidos	NASA	3	0,3	CCD	21,5	En servicio
Federación de Rusia	ACR ^a	1	0,2	CCD	19	En servicio
	ACR ^a	0,6	0,2	CCD	18	En servicio
Federación de Rusia	AER ^b	0,6	0,2	TV	19	En servicio
Francia	CNRS	0,9	0,5	CCD	19	En fase de desarrollo
Japón	CRL	1,5	0,28	CCD	18,7	En servicio
Japón	SUNDAI	0,75	0,04	CCD	17	En servicio
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Royal Greenwich Observatory/ MOD	0,4	0,6	CCD	18	Dos telescopios en servicio, Reino Unido y ultramar
Suiza	Universidad de Berna	1	0,5	CCD	19,5	En servicio

^a ACR: Academia de Ciencias de Rusia.

^b AER: Agencia Espacial Rusa.

1.2 Mediciones desde el espacio

1.2.1 Superficies y detectores de impactos recuperados

31. Es posible obtener información sobre las partículas de tamaño inferior a 1 mm mediante el análisis, tras su regreso a la Tierra, de las superficies o naves espaciales expuestas al medio espacial. También puede obtenerse esta clase de información mediante detectores diseñados

especialmente para atrapar desechos y polvo. La mayoría de ellos contienen, como elemento fundamental, una superficie de detección. Algunos de ellos están concebidos para atrapar una partícula causada por un impacto a fin de someterla a análisis posteriormente. Por razones de costo, las superficies que se recuperan para su examen ulterior proceden únicamente de órbitas terrestres bajas.

32. En el cuadro 3 figuran ejemplos de naves espaciales y superficies recuperadas.

Cuadro 3
Ejemplos de naves espaciales y superficies recuperadas

<i>Nombre</i>	<i>Órbita</i>	<i>En órbita</i>	<i>Estabilización</i>	<i>Zona expuesta</i>
Salyut 4 y 6	350 km 51,6 grados	1974-1979	Diversos medios	~7 m ² de sensores y casetes
Ventana del STS-7 (NASA)	295-320 km 28,5 grados	junio 1983	Diversos medios	~2,5 m ²
Solar Maximum Mission (NASA)	500-570 km 28,5 grados	febrero 1980 - abril 1984	Orientado hacia el Sol	2,3 m ²
STS-52 (Canadá/NASA)	350 km 28,4 grados	octubre 1992	Diversos medios	1 m ²
LDEF (NASA)	340-470 km 28,5 grados	abril 1984 - enero 1990	Gradiente de gravedad	151 m ²
EURECA (ESA)	520 km 28,5 grados	julio 1992 - junio 1983	Orientado hacia el Sol	35 m ² de nave espacial y 96 m ² de generadores solares
Generador solar del HST (NASA/ESA)	610 km 28,5 grados	mayo 1990 - diciembre 1993	Orientado hacia el Sol	62 m ²
MIR/EUROMIR 95 (AER/ESA)	390 km 51,6 grados	octubre 1995 - febrero 1996	Gradiente de gravedad	casete 20 x 30 cm
MIR	390 km 51,6 grados	1986-1998	Diversos medios	~15 m ² de casetes y otros elementos
MIR (Canadá/Ucrania)	390 km 51,6 grados	noviembre 1997 - febrero 1999	Diversos medios	1 m ²
SFU (Japón)	480 km 28,5 grados	marzo 1995 - enero 1996	Orientado hacia el Sol (excepto 1 mes en funcionamiento como telescopio IR)	50 m ²
Vehículo orbital del Transbordador Espacial (NASA)	300-600 km 28,5-51,6 grados	1992 a la actualidad	Diversos medios	100 m ²

33. Durante su exposición al medio espacial, las superficies de las naves espaciales reciben impactos de meteoritos y desechos. El tamaño de los cráteres y agujeros resultantes de los impactos varía desde milésimas de milímetros hasta varios milímetros. Uno de los problemas básicos es distinguir entre los impactos causados por meteoritos y los desechos generados por el hombre. Un método de eficacia demostrada para determinar su origen es el análisis químico. No obstante, este método plantea algunas dificultades. Dada la alta velocidad del impacto, la parte del material impactante que se mantiene inalterada es muy pequeña. La partícula se vaporiza y luego se recondensa en las superficies circundantes. Por tanto, no siempre puede determinarse de un único modo el origen de una partícula impactante. A fin de relacionar el tamaño de la superficie del impacto con el tamaño de la partícula, se han realizado ensayos de calibración en tierra (ensayos de impacto a hipervelocidad) utilizando diferentes materiales.

34. Sobre la base de las estadísticas de impacto y de los experimentos de calibración es posible determinar el flujo de meteoritos y desechos en función del tamaño de la partícula. Una cuestión importante que ha de tenerse en cuenta es la de los impactos secundarios. Si éstos no se tratan debidamente, se obtendrá una sobrestimación de las cifras de flujo resultantes.

35. La superficie del Laboratorio de Exposición Prolongada (LDEF) presentaba más de 30.000 cráteres visibles a simple vista, de los cuales 5.000 eran de diámetro superior a 0,5 mm. El cráter más grande, de 5 mm de diámetro, había sido causado probablemente por una partícula de 1 mm. La observación del LDEF mostró que algunos grupos de impactos habían ocurrido aproximadamente al mismo tiempo y que abundaban las partículas submilimétricas en órbitas elípticas.

36. En el Vehículo Europeo Portador Recuperable (EURECA), el mayor diámetro de los cráteres causados por impactos era de 6,4 mm. Entre las superficies recuperadas, el generador solar del Telescopio Espacial Hubble (HST) devuelto a la Tierra era la que había alcanzado la mayor altura de órbita. Un resultado interesante fue que el flujo de impacto del HST era considerablemente superior (factor 2-8) al del EURECA en el caso de cráteres con una hendidura superior a 200-300 micras.

37. La Unidad Volante Espacial (SFU) lanzada por un cohete H-II en marzo de 1995 fue recuperada por el

Transbordador Espacial en enero de 1996. Se esperan los resultados del análisis post-vuelo previsto.

38. Los casos examinados anteriormente demuestran el efecto del medio de partículas en las naves espaciales en órbita. En ningún caso se observó una degradación funcional de la nave espacial. La información disponible sobre la población de partículas submilimétricas se limita a alturas por debajo de los 600 km. En particular, no se dispone de información relativa a las regiones de mayor densidad de desechos espaciales en la órbita terrestre baja (a altitudes de 800 a 1.000 km) ni en la órbita estacionaria. En 1996 la ESA colocó un detector de desechos y de polvo en la órbita geoestacionaria en la nave espacial rusa Express-2. El CNES colocará detectores activos y pasivos en la Mir en 1999. El CNES proyecta utilizar los mismos detectores en el satélite francés STENTOR en la órbita geoestacionaria (1999) y en un satélite israelí (1999) en la órbita heliosincrónica.

39. Desde 1971 se venían realizando periódicamente mediciones de meteoritos y partículas de desechos submilimétricos en las estaciones espaciales rusas "Salyut" 1, 2, 3, 4, 6 y 7 y "Mir". Estas mediciones se efectuaban mediante sensores de capacidad con una superficie total de exposición de unos 3 m², así como por medio de casetes retomadas con una superficie de exposición de 0,1 m² cada una. En enero de 1998, durante la misión del Transbordador Espacial, se devolvieron a la Tierra para ulteriores investigaciones ocho secciones de paneles solares de la estación espacial "Mir", de una superficie total de unos 10 m² y un tiempo de exposición de unos diez años.

1.2.2 Mediciones espaciales de desechos

40. En general, las mediciones espaciales tienen la ventaja de proporcionar más alta definición debido a la menor distancia existente entre el observador y el objeto. Además, no hay ningún efecto perturbador de la atmósfera (extinción y absorción de señales electromagnéticas). En general, el costo de los sistemas espaciales suele ser superior al de los sistemas instalados en tierra, y es necesario evaluar cuidadosamente el rendimiento en función de los costos.

41. El satélite astronómico de infrarrojos (IRAS), lanzado en 1983 para realizar una observación de la bóveda celeste en un espectro de longitud de onda de 8 a

120 micras, estuvo en funcionamiento durante diez meses en una órbita solar sincrónica cercana a los 900 km de altura. El satélite apuntaba radialmente en dirección opuesta a la Tierra a fin de explorar la bóveda celeste. El conjunto completo de datos no elaborados procedentes del IRAS ha sido analizado por la Organización de Investigaciones Espaciales de los Países Bajos (SRON), en Groningen, a fin de caracterizar la emisión infrarroja de desechos y extraer un conjunto amplio de observaciones de desechos. El método para identificar las características de los desechos se basa en el reconocimiento de su trayectoria en el plano focal del IRAS. Las 200.000 observaciones de desechos potenciales están almacenadas en una base de datos. Unas 10.000 observaciones se atribuyen a objetos reales. No es posible calcular los elementos orbitales de un desecho en forma unívoca sobre la base de las observaciones de desechos.

42. En 1996, los Estados Unidos lanzaron la nave espacial MSX, colocándola en una órbita de 900 km. Sus sensores de visibilidad y de infrarrojos se utilizan para observar los pequeños desechos cercanos.

43. En septiembre de 1996 se colocó en la órbita geoestacionaria, a bordo del satélite de telecomunicaciones ruso Express 12, el detector de ionización por impacto GORID (detector de impactos en la órbita geoestacionaria). Se situó a 80 grados de longitud Este y su tarea es medir la población de meteoritos y desechos espaciales de tamaño submilimétrico.

44. Se está desarrollando un detector *in situ* normalizado de recursos bajos, denominado DEBIE, para medir la población de pequeñas partículas sólidas en diferentes órbitas y con mayor periodicidad. Está previsto que el primer vuelo del DEBIE sea en el satélite pequeño de tecnología ESA, PROBA, en la órbita polar.

1.3 Resumen de las mediciones

45. En la figura I aparece un resumen de los resultados de muchos de los sistemas de medición descritos en anteriores secciones. Se muestra el flujo transversal (número de objetos por año y por metro cuadrado) de los objetos de un determinado tamaño y de tamaños superiores. Se resumen las mediciones realizadas en la órbita terrestre baja a unos 500 km de altitud.

1.4 Catalogación y bases de datos

46. Un catálogo es un registro en el que constan las características de la población en órbita obtenidas por medición o procedentes de otros registros. (A los fines de este informe, el término catálogo incluirá la recopilación de elementos orbitales.) Los fines de un catálogo son proporcionar información actualizada sobre los objetos en órbita, que pueda utilizarse para predecir el movimiento orbital, y permitir la correlación con las observaciones sobre los objetos en órbita, dar constancia histórica de la actividad orbital a efectos de la observación del medio ambiente, servir como aporte para la modelización del comportamiento de objetos en órbita, y servir de base para predecir la actividad futura en cuanto a lanzamientos y operaciones.

47. Es posible registrar las siguientes características de los objetos en órbita:

a) Vectores de situación actualizados con regularidad: las características de la órbita de un objeto se obtienen en un momento concreto y se utilizan para la propagación de la órbita;

b) La masa: masa de lanzamiento, masa al iniciarse el tiempo de vida y masa seca (al término de la vida);

c) La sección transversal radárica: la firma de retorno de un objeto en órbita partiendo de la cual puede deducirse la forma, la orientación y el tamaño; (la sección transversal radárica depende de la longitud de onda del radar. Por tanto, también es necesario registrar la longitud de onda de la medición);

d) El albedo: medida de la reflectividad de un objeto que caracteriza la visibilidad óptica del mismo;

e) Las dimensiones;

f) La orientación;

g) El coeficiente balístico: medida de las características aerodinámicas y de relación área-masa de un objeto que influye en la duración en órbita del mismo hasta su entrada en la atmósfera superior;

Figura I

Flujo aproximado de los desechos medidos en órbita terrestre baja, por tamaño de los objetos

Figura II

Número de objetos del catálogo de los Estados Unidos, por tipo de objeto, 1959-1996

Número de objetos en órbita

Año y mes

- a - Total de objetos, incluidos objetos que no figuran en el catálogo oficial
- b - Total de objetos basado en el catálogo oficial
- c - Desechos de fragmentación; los fragmentos se contabilizan desde el año del fenómeno; el material de origen se considera intacto hasta la fecha del fenómeno; tras ella, dicho material se considera como fragmentos
- d - Vehículos espaciales
- e - Fuselajes de cohetes
- f - Desechos de vehículos activos; los desechos de este tipo que guardan relación con un lanzamiento se contabilizan desde el año de lanzamiento; los desechos de SALYUT 4, 5, 6 y 7 y de MIR no se contabilizan desde la fecha de lanzamiento sino a partir de una fecha más realista

h) El material de que están compuestos: aunque actualmente no es de importancia, representar fielmente la dispersión de microdesechos exigiría definir las características de la superficie;

i) Las características de lanzamiento: en particular el vehículo, la época y el lugar de lanzamiento.

48. Existen dos catálogos de objetos espaciales que se actualizan con frecuencia por observación: el catálogo del Mando Espacial de los Estados Unidos y el catálogo de la Federación de Rusia. También se archivan datos en la base de datos y sistema de información para caracterizar objetos espaciales (DISCOS) de la ESA, basada en esos dos catálogos. En la figura II se indica el crecimiento en el tiempo de objetos del catálogo de los Estados Unidos, limitándose a tamaños superiores a los de 10 a 30 cm.)

49. El Organismo Nacional de Aprovechamiento del Espacio (NASDA) del Japón estudia la posibilidad de crear una base informática sobre desechos, que suministre datos a la base informática internacional sobre desechos estudiada en el seno del Comité Internacional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales. El NASDA también estudia un análisis de predicción de trayectorias de reentrada de objetos y un análisis para evitar colisiones en nuevos lanzamientos.

50. El NASDA depende actualmente de la información sobre elementos en órbita facilitada por el Mando Espacial de los Estados Unidos, que es la fuente de su base de datos sobre desechos. El NASDA introducirá en dicha base los datos orbitales sobre sus propias naves espaciales que obtenga el Observatorio Nacional de Astronomía.

51. La información registrada en un catálogo puede almacenarse de diversas maneras. Un formato en copia impresa (papel) no se adapta bien al carácter dinámico de la población en órbita. En cambio, un formato electrónico se presta bien al registro de tal información, a la modificación y actualización de las características, a la manipulación de los datos con fines de comparación o de uso como aporte para modelos, así como al acceso por medio de redes por parte de usuarios con fines de interrogación y aportación.

52. En los catálogos actuales figura información sobre satélites y desechos de pequeño diámetro (entre 10 y 30 cm). Algunas actividades recientes de los Estados Unidos tienen como finalidad mejorar la sensibilidad del catálogo de los Estados Unidos para permitir la detección de objetos de 5 cm a altitudes por debajo de los 600 km. En algunos estudios se han contemplado mejoras que permitan la detección de objetos de 1 cm. Sin embargo, no es probable que en un futuro próximo se realicen mejoras de los catálogos que vayan más allá de los 5 cm. Por tanto, los encargados de los modelos deben continuar utilizando las mediciones estadísticas de tamaños inferiores (véanse las figuras III y IV).

Figura III

Alcance de las variaciones de diámetro y período de exposición de los desechos: datos obtenidos en el espacio, 1980-1998

A: Solar Maximum
 B: LDEF
 C: Eureka
 D: SFU
 E: HST Solar Array
 F: STS Windows
 G: STS Surfaces

Figura IV

Alcance de las variaciones de diámetro y período de exposición de los desechos: datos obtenidos en tierra, 1980-1998

- A: Estudios fotográficos Mir
- B: Haystack
- C: Haystack Auxiliary (HAX)
- D: Telescopio de espejo líquido (LMT)
- E: Telescopio para desechos con dispositivo de acoplamiento de cargas (CDT)
- F: Red de Vigilancia Espacial (SSN) (Estados Unidos)
- G: Goldstone
- H: Sistema electro-óptico de observación terrestre del espacio interestelar (GEODSS)
- K: Arecibo
- L: Instituto de Investigación en Ciencias Aplicadas (FGAN) (Alemania)

1.5 Efectos del entorno de desechos espaciales en el funcionamiento de los sistemas espaciales

53. Cuatro factores determinan la forma en que un entorno de desechos espaciales afecta a las operaciones de los sistemas espaciales: la duración en órbita, la proyección del área, la altura de la órbita y la inclinación de la órbita. Los factores dominantes son la duración en órbita, la proyección del área y la altura de la órbita.

1.5.1 Efectos de los desechos grandes en el funcionamiento de los sistemas espaciales

54. Según una definición habitual, los desechos grandes son aquellos cuyo tamaño excede de 10 cm. Tales objetos pueden ser rastreados y mantienen los elementos en su

órbita. En el curso de misiones del transbordador espacial, se han dispuesto maniobras de ciertos vehículos orbitales para evitar colisiones catastróficas con esos grandes desechos espaciales. También han ejecutado maniobras para evitar colisiones con los desechos grandes dos satélites no tripulados: el Satélite de Teleobservación Europeo (ERS-1) en junio de 1997 y el Satellite pour l'observation de la Terre (SPOT-2) en julio de 1997. En 1996 se produjo la primera colisión natural registrada entre dos objetos catalogados, el satélite operacional Cerise y un fragmento procedente de una etapa superior del Ariane que había explotado.

1.5.2 Efectos de los desechos pequeños en el funcionamiento de los sistemas espaciales

55. Los desechos pequeños (de tamaño inferior a unos pocos milímetros de diámetro) han causado daños a los sistemas espaciales operativos. No hay constancia de que dichos impactos afectaran al éxito de la misión. Estos daños pueden dividirse en dos categorías. La primera comprende los daños a la superficie o los subsistemas. La segunda, los efectos en las operaciones.

1.5.2.1 Daños a la superficie o los subsistemas

56. Como ejemplos de daños que afectan a la superficie de los sistemas operativos cabe citar:

- a) Los daños a las ventanas del transbordador espacial;
- b) Los daños a la antena de alta ganancia del HST;
- c) La rotura de la amarra del sistema pequeño de despliegue no reutilizable - 2 (SEDS-2);
- d) Los daños a otras superficies expuestas del transbordador espacial.

En los casos a), b) y d), está claro que el daño se debe a desechos orbitales. En el caso c) no está claro si el daño lo causó un desecho de origen humano o un micrometeorito.

1.5.2.2 Efectos de los desechos espaciales en las operaciones espaciales tripuladas

57. Se han adoptado procedimientos operativos para proteger a las tripulaciones contra los desechos durante el vuelo. En el caso del transbordador espacial, el vehículo orbital se orienta durante el vuelo con la cola situada en la dirección del vector de velocidad. Se optó por esta orientación para proteger a la tripulación y los sistemas sensibles del vehículo contra los daños causados por las colisiones con pequeños desechos.

58. Se han adoptado también restricciones operacionales para las actividades extravehiculares (AEV). Siempre que es posible, las AEV se ejecutan de forma que los tripulantes que las ejecutan estén protegidos contra los desechos por el vehículo orbital.

1.6 Otros efectos de los desechos espaciales

59. Los astrónomos han observado al estudiar imágenes de gran angular un aumento en el número de estelas por placa causadas por desechos orbitales. Estas estelas

disminuyen la calidad de las observaciones. Las estelas de desechos orbitales hacen totalmente imposible la observación fotométrica cuando el desecho atraviesa el estrecho campo fotométrico.

2. Elaboración de modelos del entorno de desechos espaciales y evaluación de riesgos

2.1 Elaboración de modelos del entorno de los desechos espaciales

2.1.1. Introducción y metodología

60. Los modelos de desechos espaciales proporcionan una descripción matemática de la distribución de los objetos en el espacio, el movimiento y flujo de los objetos y sus características físicas (por ejemplo, tamaño, masa, densidad, propiedades de reflexión, movimiento intrínseco). Estos modelos pueden ser de carácter determinista (es decir, cada objeto se describe individualmente en función de sus parámetros orbitales y características físicas, de tipo estadístico (es decir, la caracterización de un conjunto sobre la base de cierto número de muestras de objetos) o de índole mixta (es decir, híbridos). Estos modelos pueden aplicarse a las evaluaciones de riesgos y daños, a la predicción de las tasas de detección de desechos para sensores en tierra, a la predicción de las maniobras realizadas por vehículos espaciales en funcionamiento para evitar colisiones y al análisis a largo plazo de la eficacia de las medidas de mitigación de los desechos.

61. Los modelos de desechos espaciales deben tener en cuenta el aumento de la población de objetos en órbita resultante de los siguientes acontecimientos originarios:

- a) Lanzamientos (incluidas las etapas superiores de los vehículos de lanzamiento, las cargas útiles y los objetos relacionados con misiones);
- b) Maniobras (a fin de tener en cuenta los encendidos de motores de cohetes de propulsante sólido);
- c) Desintegraciones (producidas por explosiones y colisiones);
- d) Separación de material de las superficies (efectos de envejecimiento: por ejemplo, escamillas de pintura);
- e) Material procedente de escapes (por ejemplo, refrigerante de las fuentes de energía nuclear).

62. Deben tenerse en cuenta asimismo los siguientes acontecimientos eliminatorios:

a) Desintegración en órbita debido a la resistencia aerodinámica u otras perturbaciones;

b) Recuperaciones de la órbita;

c) Salida de la órbita;

d) Fragmentación (que supone la pérdida de objetos grandes).

Los modelos del entorno de los desechos deben contener todos estos elementos o algunos de ellos.

63. En la elaboración de modelos de desechos espaciales se utilizan todas las fuentes de datos disponibles, a saber:

a) Datos deterministas sobre objetos decimétricos y objetos mayores recogidos en el catálogo de satélites del Mando Espacial de los Estados Unidos y en el catálogo ruso de vigilancia del espacio (véase la figura V para la correspondiente distribución de la densidad espacial);

Figura V

Densidad espacial de los objetos catalogados (al 21 de agosto de 1997)

b) Datos estadísticos de objetos centimétricos derivados de observaciones por radares especializados en órbita terrestre baja;

c) Datos estadísticos sobre las poblaciones de desechos submilimétricos encontradas que se deduzcan del análisis de superficies recuperadas y de sensores de impacto *in situ*;

d) Datos estadísticos sobre objetos decimétricos y de mayor tamaño que se encuentran en la órbita terrestre baja obtenidos con telescopios terrestres;

e) Simulaciones en tierra de colisiones a hipervelocidad con cuerpos de satélites y de cohetes;

f) Simulaciones en tierra de fragmentaciones explosivas.

64. Estos modelos se ven limitados por la escasa cantidad de datos disponibles para validar las relaciones resultantes. Los modelos deben basarse en los datos registrados previamente con respecto a las características de los satélites, los lanzamientos efectuados y las roturas en órbita; además, los datos referentes a la reacción de los materiales de los vehículos espaciales a los impactos y a la exposición al entorno orbital son limitados. Por otra parte, es necesario partir de ciertos supuestos fundamentales al aplicar estos modelos para predecir el entorno futuro. En particular, las características futuras del tráfico de desechos y la aplicación de medidas de mitigación tendrán considerables repercusiones en el resultado de las predicciones basadas en los modelos. Los modelos de desechos espaciales deben actualizarse y validarse continuamente para que reflejen la precisión cada vez mayor de los conjuntos de datos derivados de observaciones y experimentos en cuanto a pormenores y tamaño.

65. Los modelos del entorno de los desechos pueden ser de dos clases: los separados, que representan la población de desechos en un formato detallado, o las aproximaciones mecánicas. Además, estos modelos pueden ser a corto plazo (los que abarcan un período de hasta diez años) o a largo plazo (los que abarcan períodos más largos). En la preparación de todos estos modelos, la población de desechos original es representada en una determinada época inicial, la cual se propaga hacia el futuro en forma gradual teniendo en cuenta los acontecimientos originarios y eliminatorios y las perturbaciones orbitales pertinentes. Ni los modelos a corto plazo ni los modelos a largo plazo representan las concentraciones periódicas de desechos que subsisten desde horas hasta meses después de la

desintegración. Estos modelos a “muy corto plazo” se utilizan en ocasiones para evaluar los riesgos para sistemas espaciales concretos, pero no se recogen en el cuadro que figura a continuación.

66. En el cuadro 4 se comparan las características pertinentes de los modelos.

Cuadro 4
Modelos del entorno de desechos

Nombre del modelo	Procedencia	Período de evolución	Modelo de ingeniería disponible	Tamaño mínimo	Ámbito orbital
CHAIN	NASA	A largo plazo	No	1 cm	Órbita terrestre baja
CHINEE	ESA	A largo plazo	No	1 cm	Órbita terrestre baja
EVOLVE	NASA	A corto y largo plazo	No	1 mm	Órbita terrestre baja
IDES	DERA	A corto y largo plazo	No	0,01 mm	Órbita terrestre baja
LUCA	TUBS	A largo plazo	No	1 mm	Órbita terrestre baja y mediana
MASTER	ESA	A corto plazo	Sí	0,1 mm	Órbita terrestre baja/órbita geostacionaria
Nazarenko	AER	A corto y largo plazo	No	0,6 mm	Órbita terrestre baja
ORDEM96	NASA	A corto plazo	Sí	1 μ	Órbita terrestre baja
SDM/STAT	ESA/CNUCE	A corto y largo plazo	No		Órbita terrestre baja/órbita geostacionaria

2.1.2 Modelos a corto plazo

67. La comunidad de científicos e ingenieros dispone de los siguientes modelos a corto plazo:

a) *EVOLVE* fue elaborado por el Centro Espacial Johnson de la NASA con la finalidad de hacer predicciones a corto y largo plazo de la situación de la órbita terrestre baja con amplias fuentes y modelos de tráfico detallados, sobre la base de técnicas cuasideterministas de propagación de los desechos que son adecuadas para la

elaboración de modelos de la órbita terrestre baja y de la órbita geoestacionaria;

b) *ORDEM96* es un modelo de ingeniería semiempírico elaborado por el Centro Espacial Johnson de la NASA. El modelo se basa en amplias observaciones remotas e *in situ* y se utiliza para apoyar el diseño y las operaciones del Transbordador Espacial de los Estados Unidos y de la Estación Espacial Internacional;

c) *MASTER* es un modelo de entorno semideterminista de la ESA basado en la separación en tres dimensiones de densidades espaciales y velocidades transitorias. El modelo es aplicable a altitudes que van desde la órbita terrestre baja hasta la órbita geoestacionaria y proporciona estimaciones de la situación a corto plazo. Existe una versión menos detallada de *MASTER* en formato de ingeniería. Ambos modelos fueron creados por la Universidad Técnica de Braunschweig en virtud de un contrato con la ESA.

d) *IDES* es un modelo semideterminista de la situación en el espacio que utiliza modelos de tráfico históricos y futuros y que sirve para hacer predicciones a corto y a largo plazo con respecto a los desechos orbitales y al flujo de colisión que representa para determinados satélites. El modelo fue elaborado por el Organismo de Evaluación e Investigación para la Defensa (DERA), con sede en Farnborough (Reino Unido);

e) *Nazarenko*, creado por el Centro de Estudios de Programas de la Agencia Espacial Rusa, es un modelo estocástico semianalítico para la predicción a corto y largo plazo de la situación de la órbita terrestre baja en lo que a desechos se refiere, que proporciona datos sobre la densidad espacial, las distribuciones de velocidades y los flujos de partículas. El modelo tiene en cuenta el promedio de las fuentes de desechos (excepto el efecto de cascada) y de la resistencia aerodinámica; se ha ajustado en función de los datos de los catálogos ruso y estadounidense y de las mediciones publicadas de fragmentos algo inferiores de tamaño (más de 1 mm), tomando también en consideración la información *a priori*;

f) *SDM* es un modelo semideterminista para la predicción a corto y a largo plazo del volumen de desechos orbitales. El código, elaborado en CNUCE, usa un modelo detallado de tráfico, con constelaciones de satélites y tiene en cuenta varias opciones de modelos de fuentes para explosiones, colisiones y escapes de RORSAT. El SDM se

ha elaborado en el marco de contratos de la ESA y la Agencia Espacial Italiana.

68. Estos modelos pueden utilizarse para “predecir” el entorno actual. Se han utilizado varios modelos diferentes para elaborar “sobres con soluciones” para el entorno actual, como aparece en la figura VI.

2.1.3 Modelos a largo plazo

69. Los modelos de predicción a largo plazo de la situación de los desechos orbitales permiten prever el número de objetos en un plazo máximo de 100 años en función del tiempo, la altitud, la inclinación, y el tamaño de los objetos. Estas predicciones son importantes para evaluar la necesidad y la eficacia de las técnicas de reducción de los desechos, así como las consecuencias de la nueva actividad espacial.

70. Además de las fuentes de desechos espaciales que se toman en consideración al elaborar modelos sobre la cantidad actual de desechos, es preciso tener en cuenta las colisiones de objetos de mayor tamaño (de más de 10 cm). Actualmente, las colisiones entre objetos de mayor tamaño no influyen mucho en el aumento del número de objetos, ya que sus probabilidades son bajas. No obstante, en el futuro, es posible que aumente el riesgo interactivo de colisiones denominadas destructivas, es decir, las que generan fragmentos de mayor tamaño. Este riesgo interactivo de colisión entre todos los objetos es proporcional al cuadrado del número de objetos. Así pues, en el futuro la mitigación a largo plazo debe consistir en la eliminación de masa y la sección transversal de la órbita.

71. A fin de evaluar las consecuencias de las colisiones entre objetos de mayor tamaño, es necesario disponer de modelos divisibles fiables para colisiones de este tipo. Sin embargo, es muy difícil simular colisiones en órbita sin disponer de datos de pruebas que confirmen los resultados. Por esta razón, con la simulación de colisiones se introduce incertidumbre en los modelos.

72. A diferencia de los modelos sobre la cantidad actual de desechos, en los modelos a largo plazo es necesario prever algunos supuestos en que se describan las futuras actividades de navegación espacial, incluidos

Figura VI

Valores de la densidad espacial actual obtenidos con modelos

- A: ≥ 1 mm
- B: ≥ 1 cm
- C: ≥ 10 cm

Fuentes: NASA (ORDEM96); DERA (IDES); ESA (MASTER); CNUCE (SDM) y Nazarenko.

los mecanismos de generación de desechos, por ejemplo, en función de lo siguiente:

- a) El futuro número de lanzamientos y órbitas conexas;
- b) El futuro número de cargas útiles por lanzamiento y su magnitud;
- c) El futuro número de objetos relacionados con las misiones (cavenado, pernos, etc.);
- d) El futuro número de explosiones de naves espaciales y etapas finales;

e) Los nuevos usos del espacio (por ejemplo, las constelaciones de satélites de comunicaciones de órbita terrestre baja con fines comerciales).

73. Todos estos parámetros varían con el tiempo por razones técnicas, científicas o financieras y políticas. Así pues, se añaden nuevos factores de incertidumbre a los derivados del modelo matemático propiamente tal (modelos de fragmentación, etc.).

74. Se han elaborado varios modelos para previsiones a largo plazo de la situación de los desechos, que pueden caracterizarse brevemente del siguiente modo:

a) *CHAIN* y *CHAINEE*. El modelo *CHAIN* fue preparado por la Universidad Técnica de Braunschweig en virtud de un contrato público. Ha sido aplicado y perfeccionado por la NASA desde 1993. El modelo *CHAINEE*, prolongación europea del modelo *CHAIN*, es utilizado por la Agencia Espacial Europea (ESA). Se trata de un modelo analítico del tipo de “partícula en caja”, que describe la población y los fragmentos de colisiones hasta una altitud de 2.000 km, mediante el uso de cuatro sectores de altura en órbita terrestre baja y cinco categorías de masa. Los modelos *CHAIN* y *CHAINEE* son códigos informáticos sumamente rápidos. Permiten determinar las tendencias relativas relacionadas con políticas concretas de reducción de los desechos. La resolución del modelo *CHAIN* es limitada debido a la sectorización que utiliza;

b) *EVOLVE*. Este modelo fue elaborado por la NASA. Es de carácter semideterminista, es decir, los desechos se describen por separado mediante un conjunto de parámetros. Además de poder elaborar modelos del entorno actual de los desechos, sirve para investigar las características de la evolución futura con arreglo a distintas prácticas de reducción de desechos basadas en técnicas de Monte Carlo. Para ello se utilizan datos modelo de misiones;

c) *IDES*. Este modelo fue perfeccionado en el Departamento Espacial del DERA. Se simulan y desarrollan fuentes históricas, como lanzamientos, fragmentaciones y escamas de pintura para generar el entorno actual de los desechos. Se las utiliza como condiciones iniciales, junto con un modelo pormenorizado de la misión, para simular la evolución futura del entorno de desechos. El *IDES* puede utilizarse para estudiar las interacciones relacionadas con colisiones de constelaciones múltiples de satélites en órbita terrestre baja y la eficacia de las medidas de reducción de los desechos;

d) *LUCA*. Este código informático semideterminista fue perfeccionado en la Universidad Técnica de Braunschweig para el análisis pormenorizado de situaciones hipotéticas futuras, especialmente si se precisa una alta resolución en cuanto a la altitud orbital y la declinación. Este código une a las ventajas de una alta resolución espacial un consumo tolerable de tiempo de computadora. Para calcular el riesgo de colisión en función del tiempo se ha puesto a punto un instrumento especial. Éste refleja el aumento del riesgo de colisión en

mayores condiciones de declinación (por ejemplo, cerca de las regiones polares);

e) *STAT/SDM*. El enfoque estocástico (*STAT*) y el modelo semideterminista (*SDM*) utilizan la misma población inicial de desechos, obtenida mediante un modelo informático, y las mismas hipótesis de origen y eliminación, incluidas las colisiones. En el modelo *SDM* se utilizan las órbitas de un subconjunto representativo de la población de desechos para preparar mapas prospectivos de ésta; los efectos de las políticas de lanzamiento y las medidas de reducción pueden analizarse mediante estudios paramétricos. El *STAT* es un modelo del tipo “partícula en caja” eficaz en su uso del tiempo de computadora, que puede utilizarse en lugar del *SDM*. Se basa en un sistema de ecuaciones diferenciales con 80.000 “cajas” correspondientes a los valores de masa, eje semimayor y excentricidad de las poblaciones de desechos. Ambos códigos son comparables y pueden recibir resultados análogos;

f) “*Partícula en caja*” de tamaño dual. Se trata de dos modelos que pueden ocuparse de constelaciones en órbita terrestre baja;

g) *Nazarenko*. Este modelo, elaborado por CPS (Federación de Rusia) es un modelo estocástico semianalítico para predicciones a corto y largo plazo del entorno de la órbita terrestre baja, que da la densidad espacial y las distribuciones de velocidad y permite evaluar el riesgo de colisión. Se basa en datos de los catálogos ruso y estadounidense y en información publicada sobre los desechos espaciales pequeños (de tamaño superior a 1 mm). Utiliza una población inicial basada en los catálogos de satélites y en el volumen medio de las fuentes de desechos espaciales. Las características de las fuentes se basan en el análisis histórico de la contaminación por desechos espaciales. Las predicciones se efectúan integrando las ecuaciones diferenciales parciales correspondientes a la distribución de los desechos como función de la altitud. La resistencia aerodinámica, la distribución de los coeficientes balísticos y la excentricidad de la órbita se tienen presentes en la propagación de la órbita.

75. Las conclusiones principales de los modelos de desechos a largo plazo señalados pueden resumirse del siguiente modo:

a) La población de desechos puede aumentar de forma acelerada en el futuro si los vuelos espaciales siguen realizándose como hasta ahora. Ello se debe al número cada vez mayor de colisiones que se producirán entre los objetos de mayor tamaño;

b) En la actualidad, y según el tamaño, los fragmentos producidos por explosiones son la fuente principal de los desechos espaciales. Pasado un cierto momento, es posible que los fragmentos generados por colisiones predominen en la población de desechos;

c) Si se produce la segunda etapa de esta evolución, podrá comenzar el llamado efecto de colisiones en cascada. Ello significa que los fragmentos generados por colisiones contribuirán al número de colisiones posteriores. A partir de ese momento la población aumentará de forma exponencial;

d) La eliminación de las explosiones puede reducir el número de objetos en órbita, pero no impedir las colisiones en cascada, que depende de la masa total en órbita y de la cantidad de objetos de gran tamaño;

e) La única forma de evitar el efecto de colisiones en cascada es limitar la acumulación de masa en la órbita terrestre baja;

f) En algún momento, puede que los fragmentos de colisiones lleguen a ser los más abundantes del entorno. Sin un cierto avance tecnológico, no se contará con la capacidad práctica de contener esta expansión; en consecuencia, se deberían poner en práctica medidas de reducción antes de que se llegue a esa situación.

76. Los resultados de los modelos de desechos a largo plazo no concuerdan cuantitativamente a causa de las diferentes hipótesis y condiciones iniciales. Sin embargo, las tendencias básicas obtenidas con ellos coinciden cualitativamente. La cantidad de grandes colisiones pronosticadas por varios modelos (EVOLVE, CHAIN, CHAINEE e IDES) se presentan como áreas de predicciones en la figura VII. El número de fragmentos generados por las fuentes futuras no se predice con tanta certeza en el caso de los fragmentos pequeños.

77. Las probabilidades de colisión entre los objetos de mayor tamaño son, en un principio, bajas. Por ello, es indispensable analizar cierto número de tandas separadas

de Monte Carlo o utilizar enfoques de valor medio con objeto de obtener tendencias fiables. Los modelos antes citados tienen en cuenta ese efecto.

2.2. Evaluaciones del riesgo de los desechos espaciales

2.2.1 Introducción

78. Las evaluaciones del riesgo incluyen la probabilidad de un fenómeno, así como sus consecuencias posteriores. Con la ayuda de modelos del entorno de los desechos orbitales se puede evaluar el riesgo de colisión entre vehículos espaciales operacionales y desechos orbitales. Los vehículos espaciales que se encuentran en la órbita terrestre baja reciben un bombardeo repetido de partículas de muy pequeñas dimensiones (<100 micras), dado el gran número de desechos de ese tipo que existe, pero sus efectos suelen ser leves ya que las masas y las energías que intervienen son bajas. Teniendo en cuenta que la población de objetos de desechos de tamaño más grande es menor, cuanto mayor es el tamaño del desecho mucho menor es la probabilidad de colisión. Sin embargo, con el tamaño aumenta también la gravedad de las colisiones.

79. Los principales factores de riesgo son la densidad espacial y la velocidad media relativa de colisión en la órbita (altura e inclinación) del objeto espacial de que se trate, la superficie transversal de ese objeto espacial y la duración del vuelo. Las consecuencias de una colisión dependerán de las masas y composiciones respectivas de los objetos. Mientras que el riesgo de colisión entre un objeto en órbita y un meteorito es básicamente independiente de la altura, la probabilidad de una colisión entre objetos orbitales depende mucho de la altura, siendo por lo general un orden de magnitud mayor en la órbita terrestre baja que en la órbita geoestacionaria.

2.2.2 Evaluaciones de los riesgos de colisión en la órbita terrestre baja

2.2.2.1 Metodología

80. Desde el decenio de 1960 se han llevado a cabo evaluaciones periódicas del riesgo para las naves

Figura VII

Márgenes característicos correspondientes al número de colisiones importantes en tres escenarios, 1995-2095

Año

A: Continuación como hasta la fecha

B: Continuación como hasta la fecha durante los próximos 20 años; luego ningún lanzamiento más

C: En adelante, ningún lanzamiento más

espaciales en órbita terrestre baja. Se utiliza el modelo de Poisson en aquellos casos en que existen muchos fenómenos independientes y la probabilidad de que cada uno de esos fenómenos ocurra, es baja. Los desechos artificiales y los micrometeoritos satisfacen esos criterios de independencia, salvo en los casos de desintegración reciente o de una tormenta de meteoros.

81. Para calcular la probabilidad de un impacto causado por desechos espaciales, es necesario disponer de un modelo del entorno de meteoritos/desechos orbitales (M/DO), la configuración de la nave espacial y el perfil de la misión. Para calcular la probabilidad de penetración o

de avería debida a desechos espaciales se requiere un conocimiento detallado de la configuración de la nave espacial, comprendidos los siguientes aspectos:

- a) La geometría de los subsistemas críticos;
- b) La resistencia de penetración o la ecuación del límite balístico de cada subsistema;
- c) Datos sobre la capacidad de tolerar desperfectos de cada subsistema.

82. Sobre la base de esta información, cabe calcular con ciertas fórmulas informáticas:

a) La probabilidad de impacto de desechos espaciales para cada partícula de cierto tamaño;

b) La probabilidad de daños por impacto en un subsistema dado;

c) La proporcionalidad entre la probabilidad de daños por impacto con desechos de origen humano y con micrometeoritos.

2.2.2.2 Resultados de las evaluaciones de riesgos

83. Se utilizan habitualmente las evaluaciones de riesgos en órbita terrestre baja para aumentar la seguridad de las operaciones espaciales. En los vuelos espaciales tripulados la evaluación de estos riesgos han resultado de inestimable utilidad para garantizar la seguridad de operaciones como las del transbordador espacial. Se reconfigura operacionalmente toda misión del transbordador en cuya evaluación previa del riesgo se haya calculado un nivel inaceptable de riesgo de impacto con desechos espaciales.

84. Se están utilizando evaluaciones del riesgo de impacto para diseñar la colocación y el tipo de blindaje contra desechos espaciales necesario para proteger a la tripulación, así como los subsistemas esenciales de la Estación Espacial Internacional.

85. Se están utilizando también evaluaciones de riesgos para el diseño de vehículos espaciales no tripulados. Estas evaluaciones facilitan el diseño y la instalación correctos del blindaje protector de los subsistemas y componentes esenciales, así como el diseño sistemático de las grandes constelaciones de satélites de telecomunicaciones. En el cuadro 5 se presenta un ejemplo de evaluación de riesgo en órbita terrestre baja.

2.2.3 Evaluación del riesgo de colisión en órbita geostacionaria

86. En la actualidad sólo se conoce bien la población de objetos espaciales en el interior o las cercanías de la zona de órbitas geostacionarias respecto de los vehículos espaciales y sus etapas superiores (véase la figura VIII). El reducido número de estos objetos, su amplia distribución espacial y su menor velocidad relativa media (500 m/sec) contribuyen a disminuir considerablemente la probabilidad de colisiones en la órbita geostacionaria. Además, a medida que se van dejando un mayor número de naves espaciales y etapas superiores en órbitas superiores o inferiores a la zona

Cuadro 5

Tiempo medio entre impactos en un satélite con una superficie de sección transversal de 10 metros cuadrados

<i>Altura de la órbita circular</i>	<i>Objetos 0,1-1,0 cm</i>	<i>Objetos 1-10 cm</i>	<i>Objetos > 10 cm</i>
	<i>Resultado probable del impacto</i>		
	<i>Posible pérdida del satélite</i>	<i>Pérdida probable del satélite</i>	<i>Fragmentación del satélite</i>
500 km	10-100 años	3.500-7.000 años	150.000 años
1.000 km	3-30 años	700-1.400 años	20.000 años
1.500 km	7-70 años	1.000-2.000 años	30.000 años

Figura VIII
Cargas útiles y etapas superiores lanzadas a la órbita geoestacionaria, 1963-1996

geoestacionaria, el número de objetos intactos no sujetos a control que cruzan la órbita geoestacionaria aumenta muy lentamente. Existe un riesgo especial de colisión en la zona geoestacionaria imputable a la gran proximidad de vehículos operacionales en ciertas longitudes de órbita, pero es posible eliminar ese riesgo mediante procedimientos de control de dichos vehículos. El reducido número de objetos voluminosos en la proximidad de la órbita geoestacionaria permite asimismo predecir los acercamientos peligrosos entre naves espaciales activas y desechos detectados orbitales con tiempo suficiente para efectuar una maniobra de desviación.

87. No se conoce bien el número de desechos orbitales de menos de 1 metro de diámetro en las proximidades de la zona geoestacionaria. Se han detectado dos objetos desintegrados (una nave espacial y una etapa superior) y existen indicios de otras desintegraciones. La trayectoria de ese tipo de desechos podría sufrir perturbaciones que la

llevaran a otras órbitas, lo que podría reducir su período de residencia en la zona geoestacionaria, pero aumentaría también su velocidad relativa de impacto haciendo que el flujo aumentara de manera casi constante en función del cambio de inclinación. En muchos casos esos fragmentos sufrirán una gran dispersión tanto en su inclinación como en su altitud. Se requieren nuevas mediciones de desechos en la órbita geoestacionaria para poder evaluar esos riesgos con mayor precisión. Tal vez se deban desarrollar también nuevas técnicas de cálculo de la probabilidad de colisiones para tomar en consideración el carácter no aleatorio de las aproximaciones peligrosas en órbita geoestacionaria.

88. No existe ningún mecanismo natural de eliminación para los satélites en órbita geoestacionaria. Por ello los vehículos activos corren el riesgo de ser dañados por otros no sujetos a control. El riesgo anual de colisión de un satélite operacional se calcula actualmente en 10^{-5} .

2.2.4 Evaluación del riesgo imputable al reingreso de desechos espaciales

89. La presente evaluación se limita al reingreso incontrolado de objetos desde una órbita terrestre.

90. En un lapso de casi 40 años se ha tenido conocimiento del reingreso de más de 16.000 objetos espaciales catalogados. No se tiene constancia de que hayan causado daños materiales ni personales de consideración. Ello se debe en gran parte a la enorme extensión de la superficie oceánica y a la escasa densidad de población de muchas regiones terrestres. En los últimos cinco años se ha estado registrando casi semanalmente el reingreso en la atmósfera terrestre de un objeto orbital de sección transversal equivalente o superior a 1 m², algunos de cuyos fragmentos han quedado intactos.

91. El riesgo del reingreso no se limita a su impacto mecánico sino también a la posible contaminación química o radiológica del medio ambiente. El riesgo mecánico sería imputable a objetos no destruidos por su calentamiento aerodinámico. Este riesgo dependerá de las características de la órbita final, del tamaño del objeto y de sus propiedades físicas.

92. Toda evaluación del riesgo que supone el reingreso debe comprender modelos de los objetos, el análisis de la altitud de desintegración, la determinación de los componentes que podrían sobrevivir al reingreso, y el cálculo de la superficie total expuesta al posible impacto.

93. No hay consenso internacional sobre el número de víctimas humanas que podrían causar esos reingresos. En la norma de seguridad 1740.14 de la NASA ("*Guidelines and assessment procedures for limiting orbital debris*") se prevé una probabilidad de accidentes de 10⁻⁴ por cada reingreso.

3. Medidas de mitigación de los desechos espaciales

3.1 Reducción del aumento de desechos en el tiempo

3.1.1 Evitación de los desechos generados en condiciones operacionales normales

3.1.1.1 Objetos relacionados con misiones

94. Aproximadamente el 12% de la actual población catalogada de desechos orbitales consiste en objetos descartados durante el emplazamiento de los satélites y su funcionamiento en condiciones normales. Los objetos típicos de esta clase son elementos de fijación, contrapesos de guiñada y movimientos de yoyó, tapas de toberas, cubreobjetivos, mecanismos de cargas útiles múltiples, etc. En general, es relativamente fácil, tanto en el aspecto técnico como en el económico, adoptar medidas de mitigación contra estos objetos. Según se ha informado, muchos organismos han tomado tales disposiciones. Por ejemplo, los cuerpos que las generen deben retener las abrazaderas y las tapas de sensores, y deben capturarse todos los fragmentos de los pernos explosivos. Sin embargo, posiblemente habrá algunas piezas que se desprendan inevitablemente, por ejemplo un elemento estructural dejado en órbita de transferencia geoestacionaria en el curso de una misión con carga útil doble. Se recomienda a todo organismo minimizar esta clase de desechos hasta donde sea factible, utilizando el equipo o las técnicas más modernos.

3.1.1.2 Amarres

95. Los amarres pueden convertirse en desechos en el espacio circun terrestre si se descartan tras el uso o si son seccionados por el impacto de un objeto (un desecho antropógeno o un meteorito). Es posible que los amarres de varios miles de metros de longitud y unos pocos milímetros de diámetro no sobrevivan por mucho tiempo. Los amarres de nuevo diseño, formados por múltiples cabos, pueden reducir el riesgo de

seccionamiento. A final de las misiones, los amarres pueden ser replegados para reducir la posibilidad de colisión con otros objetos o pueden soltarse las masas finales para acelerar su desintegración en órbita.

3.1.1.3 Efluentes sólidos de motores de cohetes, pintura y otros materiales externos

96. Otras partículas pueden ser generadas fortuitamente en el curso de misiones, como en el caso de la emisión de escorias (de hasta varios centímetros de diámetro) durante la fase de quemado de los motores de cohetes de combustible sólido y tras esa fase. No se conoce con claridad la naturaleza exacta ni la cantidad y distribución de esas eyecciones de escoria, y es difícil mejorar el propulsante sólido y el aislamiento de los motores para reducir al mínimo la expulsión de materiales. Debe procurarse evitar la generación de desechos muy pequeños a causa de los efectos del entorno espacial, por ejemplo la erosión del oxígeno atómico, los efectos de la radiación solar y el bombardeo de meteoritos minúsculos. La aplicación de pintura más duradera y de tapas protectoras podría ser una medida correctiva eficaz.

3.1.2 Prevención de roturas en órbita

97. Aproximadamente el 43% de la población de desechos identificada actualmente es consecuencia de la fragmentación de etapas superiores y naves espaciales y quizá incluso llegue a representar el 85% de todos los desechos de más de 5 cm de diámetro en el espacio circunsterrestre. Se sabe que, al 1° de septiembre de 1998, se han roto en órbita terrestre por lo menos 153 objetos espaciales, con una masa seca total superior a 385.000 kg. Por fortuna, el 60% de los desechos catalogados generados en esas circunstancias han caído finalmente en la Tierra. Estas fragmentaciones son causadas principalmente por explosiones o por colisiones.

3.1.2.1 Explosiones en órbita

98. El 36% de todas las roturas de objetos espaciales residentes corresponde a etapas superiores o sus componentes que cumplieron su función con éxito pero que fueron abandonados una vez concluida la misión de transportar la nave espacial. Incidentes de ese género han afectado a una amplia variedad de vehículos de lanzamiento utilizados por China, los Estados Unidos de América y la Federación de Rusia así como por la ESA. Las explosiones accidentales pueden ser también

causadas por mal funcionamiento de los sistemas propulsores, sobrecarga de baterías o cargas explosivas. También se han producido roturas intencionales.

99. Los análisis de la fragmentación accidental tanto de vehículos espaciales como de etapas superiores han demostrado que la salida de órbita o la pasivización de los vehículos, es decir, la eliminación de todas las formas de energía almacenada, suprimiría la gran mayoría de esos sucesos. Son medidas eficaces, entre otras, la expulsión de los propulsores residuales por quemado o venteo, la descarga de todos los aparatos de acumulación eléctrica, la expulsión de los fluidos presurizados, el control térmico y aseguramiento de los dispositivos destructivos no utilizados y la descarga (desgirado) de los volantes de inercia y dispositivos similares de control de actitud. Estas medidas deben ejecutarse poco después de que el vehículo haya cumplido su misión.

3.1.2.2 Colisiones en órbita

100. La probabilidad de una colisión accidental en órbita terrestre es actualmente baja, pero crece conforme aumentan el número y el tamaño de los satélites. En 1996, el vehículo espacial francés CERISE fue impactado y parcialmente inutilizado por un fragmento que, según la red de vigilancia del Comando Espacial de los Estados Unidos, procedía de una etapa superior de Ariane que había explotado. Además, no cabe negar la posibilidad de que otras roturas se deban a colisiones, pues siguen ignorándose las causas de muchos fenómenos de rotura. Entre las medidas eficaces para mitigar las consecuencias de las roturas causadas por colisión figuran las adoptadas al diseñar los vehículos espaciales, la selección de una órbita en que la probabilidad de colisión sea baja y las maniobras para evitar colisiones (véanse los párrafos 112 a 118 *infra*)

3.1.3 Salida de órbita y reinsertión en órbita de objetos espaciales

3.1.3.1 Terminación de la misión de sistemas espaciales

101. En el caso de los objetos espaciales en órbita terrestre baja que lleguen al fin de su misión, cada vehículo debe hacerse salir de la órbita o situarse en una órbita de poco tiempo de vida para reducir la posibilidad de colisión accidental. Los estudios han demostrado que el crecimiento de los desechos orbitales puede reducirse

limitando el tiempo de vida en órbita. Ello puede hacerse con una maniobra de reentrada controlada o llevando el vehículo a una altitud inferior.

102. En el caso de los objetos espaciales en altitudes superiores, el traslado de los vehículos a órbitas de eliminación también puede ser eficaz en un futuro previsible. Por ejemplo, el traslado de naves en órbita geoestacionaria a órbitas superiores no sólo es una protección para las naves espaciales en funcionamiento, sino que también reduce la probabilidad de que objetos errantes colisionen unos con otros generando desechos que pudieran ser una amenaza para el régimen geoestacionario. Debe determinarse un valor de distancia estándar para la re inserción en otra órbita teniendo en cuenta factores como los efectos perturbadores debidos a la fuerza gravitatoria del Sol y la Luna así como a la presión de la radiación solar. Las etapas superiores o los componentes de vehículos de lanzamiento dejados en órbita de transferencia geoestacionaria pueden maniobrarse de forma que impida interferencias con los sistemas en órbita geoestacionaria. La altura de perigeo de la etapa superior puede seleccionarse de modo que garantice una duración de vida orbital limitada.

3.1.3.2 En caso de fallo

103. Los sistemas espaciales en órbita deben vigilarse continuamente sobre todo para detectar defectos de funcionamiento decisivos que pudieran causar la generación de grandes cantidades de fragmentos o la pérdida de la capacidad de ejecutar medidas de mitigación. En tal contexto deben vigilarse el sistema de propulsión, las baterías y la actitud así como el subsistema de control de órbita. Si se produce un defecto de funcionamiento y es imposible proseguir la misión, deben ponerse en práctica procedimientos para impedir explosiones accidentales y evitar, en la medida de lo posible, interferencias con órbitas útiles.

3.2 Estrategias de protección

104. Dada la actual población de desechos en el espacio circunsterrestre, los diseñadores de vehículos espaciales deben considerar la conveniencia de incorporar en ellos formas de protección implícitas y explícitas. Los impactos a hipervelocidad con meteoritos y desechos espaciales consistentes en partículas de 1 a 2 mm o mayores constituyen un peligro para los objetos espaciales y las estaciones orbitales. Los impactos a alta velocidad

causados por partículas pequeñas, incluso de 1 mm de diámetro, pueden originar pérdida de funciones y eventualmente el fallo de la misión. Incluso pequeños impactos en vasijas de presión pueden producir roturas en los contenedores. Tales daños pueden también impedir las medidas de pasivización o las opciones de eliminación tras la misión previstas. En muchos casos, la reubicación de los componentes vulnerables puede aumentar considerablemente la capacidad de supervivencia de las naves espaciales. La prudente selección del régimen orbital y la evitación de colisiones son otras posibles estrategias de protección.

3.2.1 Blindaje

105. El blindaje de las naves espaciales tanto tripuladas como no tripuladas puede ser muy eficaz contra las partículas pequeñas. La protección contra las partículas de 0,1 a 1 cm de tamaño puede lograrse blindando la estructura de dichas naves. Todos los objetos de 1 a 10 cm de tamaño no pueden actualmente neutralizarse mediante una tecnología de blindaje para el espacio circunsterrestre, ni pueden ser rastreados por las redes de vigilancia de las operaciones. Sin embargo, la protección contra las partículas de 1 a 10 cm puede conseguirse introduciendo características especiales en el diseño de los sistemas espaciales (subsistemas duplicados, estructuras frangibles, capacidad de aislamiento de la vasija de presión, máxima separación física de los componentes duplicados y los recorridos de los circuitos eléctricos y de fluidos, etc.). La protección física contra partículas mayores de 10 cm aún no es técnicamente viable.

106. Los diseños de blindaje pueden variar desde el simple parameteoritos monolaminar tipo Whipple, colocado delante de la pared de la nave espacial, hasta complejas capas de metal y tejido a base de materiales cerámicos y polímeros concebidas de forma que primero fragmenten la partícula impactante y luego absorban la energía de los fragmentos eyectados. Los blindajes parameteoritos se deben colocar a suficiente distancia del objeto protegido, para asegurar una dispersión amplia de la nube de fragmentos creada como resultado del impacto de las partículas o desechos en el blindaje. De esta forma, las cargas resultantes del impacto debieran distribuirse sobre una superficie considerable del cuerpo del objeto protegido. Algunos diseños de blindaje satisfactorios aprovechan la estructura del vehículo y la direccionalidad de los desechos en el espacio circunsterrestre para proteger los componentes críticos. Además, es posible diseñar la

nave espacial de forma que los componentes críticos se ubiquen en la sombra geométrica de la dirección predominante del flujo de desechos. La utilización de un aislamiento ligero en capas múltiples puede ofrecer protección contra los desechos pequeños, y la colocación del equipo sensible tras las estructuras existentes en el vehículo puede aumentar también la posibilidad de supervivencia.

107. La profundidad de penetración, o el potencial de daño, de un objeto impactante depende de su masa, densidad, velocidad y forma así como de las propiedades del material de blindaje. Existen diferentes instrumentos de modelización y simulación para predecir los daños resultantes de impactos en varios tipos de blindaje (p. ej., en el modelo NASA BUMPER, el modelo ESA ESABASE, el modelo ruso BUFFER, y varios códigos de programación (hidro) para realizar simulaciones en condiciones que no son posibles utilizando instalaciones de ensayo basadas en tierra). Los ensayos basados en tierra de blindajes para naves espaciales tienen un alcance limitado, pues no se pueden realizar en toda la gama de velocidades de impactación posibles. Los aceleradores basados en tierra se limitan actualmente a velocidades del orden de 13 km/s (p. ej., usando dispositivos con cargas conformadas), pero la mayoría de los datos existentes son para velocidades de 7 km/s. Se están desarrollando y perfeccionando nuevos métodos para calcular los procesos que tienen lugar en las colisiones a hipervelocidad entre desechos espaciales en forma de partículas y blindajes para velocidades de impactación de 5 a 15 km/s.

3.2.1.1 Vuelos espaciales tripulados

108. Los vehículos tripulados, en particular las estaciones espaciales, son normalmente de mayores dimensiones que la mayoría de los vehículos no tripulados y tienen que presentar niveles más elevados de seguridad. Las estrategias de protección para las misiones con tripulación han de comprender medidas de blindaje así como de reparación en órbita de los daños causados por las penetraciones. Los diseños de blindaje actuales ofrecen protección contra los objetos de menos de 1 cm de tamaño. El criterio principal de diseño de un blindaje es la probabilidad de no penetración (PNP). El cálculo de la PNP se basa en los modelos de entornos de meteoritos y desechos, así como en las curvas límite balísticas obtenidas en simulaciones con código de programación (hidro) y en experimentos sobre impactos a hipervelocidad. La fiabilidad del cálculo de la PNP está

fuertemente ligada a la exactitud del modelo de entorno de desechos y meteoritos. El grado de blindaje requerido depende en gran medida de la naturaleza (material, espesor, etc.), ubicación y orientación de la superficie a proteger. En consecuencia, en la Estación Espacial Internacional se utilizarán más de 200 tipos diferentes de blindaje contra desechos y micrometeoritos en el espacio circunferrestre.

109. En las naves espaciales tripuladas es posible instalar sistemas automáticos de detección para localizar los daños. En caso de perforación de un módulo presurizado, el tiempo de aislamiento del módulo o de reacción para sellar la perforación es de importancia capital. El lapso de tiempo disponible depende del tamaño de la perforación, y el tiempo necesario para repararla es función de los medios empleados y la estrategia adoptada.

110. Es necesario proteger a los tripulantes que realicen actividades fuera del vehículo contra los desechos naturales y antropógenos. Las actuales escafandras espaciales presentan muchas características con capacidad de blindaje intrínseca para ofrecer protección contra los objetos de hasta 0,1 mm de tamaño. Orientando adecuadamente sus naves, los astronautas pueden conseguir utilizarlas como blindaje contra la mayoría de los desechos existentes en el espacio circunferrestre o las corrientes directas de meteoritos.

3.2.1.2 Naves espaciales no tripuladas

111. En el caso de las naves espaciales no tripuladas, son admisibles valores de PNP más bajos. Es posible alcanzar un grado aceptable de protección contra los desechos y meteoritos pequeños (menos de 1 mm de tamaño) utilizando materiales reforzados de aislamiento en capas múltiples e introduciendo modificaciones en el diseño, tales como la instalación interna de tuberías de combustibles, cables y otros componentes sensibles en el interior (por ejemplo, como se ha hecho en el satélite RADARSAT del Canadá). El diseño de los generadores solares puede disminuir los efectos de los daños causados por colisiones con partículas pequeñas si se utilizan diseños que tengan trazados eléctricos múltiples y que permitan reducir al mínimo la masa estructural, es decir, las configuraciones frangibles.

3.2.2 Evitación de colisiones

112. Los actuales sistemas de vigilancia del espacio no permiten rastrear de manera fiable objetos en órbita terrestre baja que tengan una sección transversal radárica menor de 10 cm en diámetro equivalente. Además, es difícil mantener los parámetros orbitales de los pequeños objetos catalogados a causa de factores tales como la elevada relación entre superficie y masa y, en consecuencia, una sensibilidad más acentuada a las variaciones de la densidad atmosférica. En el caso de los objetos espaciales de tamaño suficientemente grande para ser rastreados por sistemas de vigilancia espacial basados en tierra es técnicamente posible evitar las colisiones durante la inserción en la órbita y las operaciones en ella.

113. Las maniobras de evitación de colisiones repercuten de diversas formas en las operaciones realizadas con satélites (p. ej. consumo de propulsante, interrupción de los datos de la carga útil y de servicios y disminución temporal de la exactitud de rastreo y de determinación de la órbita), y deben reducirse al mínimo compatible con la seguridad de las naves espaciales y los objetivos de las misiones. Las estrategias de evitación de colisiones tienen máxima eficacia cuando es baja, preferiblemente menor que 1 km, la incertidumbre en cuanto a la distancia de acercamiento próximo. La evitación de colisiones es siempre de carácter probabilista. La NASA aplica un criterio aceptable de riesgo de 1 por 100.000 para considerar la conveniencia de una maniobra de evitación de colisiones, en el caso de las misiones del Transbordador Espacial de los Estados Unidos.

3.2.2.1 En órbita

114. La Red de Vigilancia Espacial de los Estados Unidos (SSN) y el Sistema de Vigilancia Espacial de Rusia observan el entorno de órbitas terrestres bajas para alertar a las naves espaciales tripuladas en caso de que se prevea el acercamiento de un objeto hasta unos pocos kilómetros. Si se pronostica que un objeto va a atravesar un paralelepípedo de 5 km x 25 km x 5 km orientado a largo de la trayectoria de vuelo del transbordador espacial, la red de sensores SSN intensifica su rastreo del objeto potencialmente peligroso. Si el pronóstico perfeccionado del acercamiento en vuelo indica una conjunción dentro de un paralelepípedo que mida 2 km x 5 km x 2 km, puede ejecutarse una maniobra de evitación. Durante el período 1986-1997 el Transbordador Espacial de los Estados Unidos ejecutó cuatro de esas maniobras evasivas. El Sistema de Vigilancia Espacial de Rusia realiza evaluaciones similares para la evitación de colisiones por lo que respecta a la estación espacial Mir.

115. Los especialistas rusos han compilado un catálogo de acercamientos peligrosos a objetos espaciales (varios millones de acercamientos) y un algoritmo para decidir si

procede realizar una maniobra de evitación. Se propone determinar situaciones peligrosas que incluyan el acercamiento pronosticado de desechos espaciales e intensificar la obtención de datos sobre esos eventos y el control de vuelo de las naves espaciales que requieran protección. Se están realizando trabajos para establecer un sistema especial de telecomunicaciones que enlace la dirección de la Agencia Espacial Rusa con el centro de control de la misión de Korolev.

116. La ESA y el CNES utilizan las determinaciones orbitales de sus naves espaciales para pronosticar los casos de conjunción e iniciar maniobras de evasión si se transgreden ciertos límites de acercamiento en vuelo o ciertos niveles estimados de riesgo de colisión. Para un riesgo de colisión aceptado de 1 por 10.000, los vehículos ERS-1 y ERS-2 de la ESA tendrían que realizar una o dos maniobras por año. El satélite ERS-1 de la ESA y el satélite SPOT-2 del CNES ejecutaron maniobras de evitación de colisiones en junio y julio de 1998, respectivamente.

117. Conforme crece el número de los vehículos espaciales lanzados a la región de la órbita geoestacionaria, coordinación en el mantenimiento de las posiciones resulta cada vez más beneficiosa. Es posible aplicar eficazmente estrategias basadas en la inclinación y en la separación de los vectores de excentricidad para mantener las naves espaciales cúbicadas en la órbita geoestacionaria separadas por distancias que no entrañen riesgos. El control de los vectores de excentricidad puede también aplicarse para reducir el riesgo de colisión entre los componentes de una determinada constelación de satélites en órbita terrestre baja.

3.2.2.2 Lanzamiento

118. Antes de lanzar los vehículos espaciales de los Estados Unidos, se efectúan cálculos que permiten determinar ventanas de lanzamiento exentas de riesgos, que dan la seguridad de que las naves no pasan cerca de otras naves tripuladas en misión duradera (es decir, el Transbordador Espacial, la estación Mir o la Estación Espacial Internacional). Para el Transbordador Espacial se aplican procedimientos de alerta similares a los de análisis de conjunciones en órbita. En caso de que se pronostique una conjunción, se demora el lanzamiento; hasta la fecha, se han demorado dos lanzamientos del Transbordador Espacial para evitar posibles colisiones.

3.3 Eficacia de las medidas de mitigación de desechos

119. Probablemente una de las medidas de mitigación más importantes ha sido la conciencia cada vez más clara de la

amenaza que supone el entorno de desechos en el espacio circunferente así como de las múltiples fuentes de esos desechos. La introducción de medidas de mitigación de desechos en fase temprana del diseño de los vehículos podría ser eficaz en función de los costos. La labor de formación desarrollada por las industrias aeroespaciales y los organismos nacionales del espacio han cosechado los frutos de una acción voluntaria, guiada por los principios de una buena gestión en el espacio circunferente.

120. Desde principios del decenio de 1980, la adopción de medidas de mitigación ha mostrado su efecto sobre el crecimiento del entorno de desechos en el espacio circunferente. Ha disminuido la frecuencia de las fragmentaciones importantes de satélites, tanto accidentales como intencionales, moderando el ritmo de crecimiento de esos desechos. Por lo que respecta a los desechos relacionados con misiones de larga duración, puede apreciarse incluso una disminución. Los nuevos diseños y tecnologías en materia de blindaje contra desechos han permitido reducir considerablemente el peso de los dispositivos protectores y, al mismo tiempo, aumentar su eficacia.

121. La comunidad aeroespacial está trabajando en ilustrar la eficacia y el costo de escenarios típicos de mitigación. Los modelos de simulación del entorno a largo plazo son útiles en ese trabajo. Los modelos no pueden proporcionar predicciones exactas del entorno espacial para varios decenios, pero permiten evaluar la influencia relativa de diferentes prácticas operacionales.

3.3.1 Escenarios de medidas de mitigación

122. Los objetos relacionados con misiones, las fragmentaciones de satélites y las prácticas de eliminación al final de la misión son factores importantes del crecimiento potencial de la población de desechos orbitales. Los cinco escenarios típicos de mitigación para todas las misiones espaciales que se presentan a continuación muestran la posible eficacia de las medidas de mitigación; no se pretende que tengan carácter preceptivo y sólo deberían utilizarse con fines de simulación. Los escenarios son los siguientes:

a) Escenario de referencia con las medidas de mitigación actuales;

b) Eliminación de los objetos relacionados con misiones;

c) Pasivación universal al final de la misión;

d) Eliminación universal al final de la misión en casos de órbita geoestacionaria;

e) Abandono de la órbita al final de misiones en órbita terrestre baja y en órbita de transferencia geoestacionaria: esto comprende la disminución de la altitud de la órbita para reducir el tiempo de vida del satélite (p.ej.: a menos de 25 años) y la reentrada inmediata.

123. Los estudios iniciales han revelado que el mayor beneficio a corto plazo puede obtenerse mediante la eliminación de las explosiones accidentales de vehículos espaciales y etapas superiores. La mejor manera de controlar esas roturas es por medio de la pasivación de los vehículos al final de la misión, como lo han demostrado muchos operadores de naves espaciales y vehículos de lanzamiento.

124. A largo plazo, la acumulación de objetos en órbita puede constituir una amenaza mucho mayor para las operaciones espaciales en regímenes de baja y de elevada altitud. Si no se toman medidas correctivas respecto del entorno de los desechos o no se realizan cambios operacionales, el número y la sección transversal total crecientes de los objetos espaciales residentes harían aumentar las probabilidades de colisión, lo que, a su vez, podría generar nuevos desechos. Trasladar los vehículos espaciales en órbita terrestre baja y en órbita de transferencia geoestacionaria a órbitas de eliminación con un tiempo de vida orbital limitado (p. ej. 25 años o menos) tiene un pronunciado efecto en la limitación del crecimiento de la población de desechos. La figura IX ilustra la población total de

Figura IX

Población total de partículas de desechos mayores de 1 centímetro en órbita terrestre baja correspondiente a diferentes escenarios, 2000-2200

partículas de desechos de más de 1 cm en órbita terrestre baja correspondiente a distintos escenarios.

3.3.2 Costo u otras repercusiones de las medidas de mitigación

125. Las medidas de mitigación en materia de desechos pueden afectar al diseño y el costo de las naves espaciales y los vehículos de lanzamiento así como a sus operaciones.

3.3.2.1 Costo de desarrollo de los sistemas

126. La modificación del diseño de las naves espaciales y los vehículos de lanzamiento para poner en práctica medidas de mitigación hace aumentar generalmente el costo de desarrollo de los sistemas. Sin embargo, prever medidas de mitigación en las primeras fases del proceso de diseño es más económico que modificarlo ulteriormente. Las medidas de mitigación pueden aumentar la complejidad de un vehículo, pero es posible que algunas de ellas contribuyan a simplificar los diseños y aligerar el peso.

3.3.2.2 Comportamiento de lanzamiento y desventajas en cuanto a la masa

127. Prever que las etapas superiores de los vehículos de lanzamiento reentren en la atmósfera directamente o que tengan un período de vida orbital corto puede influir en la trayectoria y el comportamiento de lanzamiento. Del mismo modo, todo peso añadido al vehículo de lanzamiento o a la nave espacial para cumplir los objetivos de mitigación disminuye la capacidad de carga útil. Pueden ser necesarios más recursos de energía eléctrica o de propulsión. La magnitud de estas consecuencias variará según las medidas de mitigación escogidas y el tipo de vehículo.

3.3.2.3 Tiempo de vida de la misión

128. Es posible que la aplicación de estrategias de eliminación o de salida de órbita respecto de un diseño determinado reduzca el tiempo de vida activa de la misión. Muchos operadores de vehículos espaciales en órbita geoestacionaria han aceptado esta desventaja para preservar sus regímenes orbitales. Si el inconveniente se tiene en cuenta en el proceso de diseño, aún será posible cumplir las exigencias que supone el tiempo de vida completo de la misión, aunque ello se consiga tal vez a expensas de un aumento del peso o del costo.

3.3.2.4 Fiabilidad

129. Incorporar medidas de mitigación en materia de desechos a los vehículos espaciales y las etapas superiores puede incrementar o disminuir la fiabilidad general. Por ejemplo, las medidas de blindaje ofrecen protección contra los desechos de pequeño tamaño y la radiación y pueden aumentar la fiabilidad del vehículo espacial. Añadir válvulas de escape para la evacuación de los propulsores residuales puede disminuir la fiabilidad del sistema, pero estos efectos suelen ser de poca monta.

4. Resumen

130. A lo largo de muchos años de investigación sobre el tema de los desechos espaciales, la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos ha examinado: a) el estado de los conocimientos acerca de la población de desechos cercanos a la Tierra adquiridos con sensores *in situ* e instalados en tierra; b) la capacidad de los modelos informáticos para evaluar los riesgos que

entrañan los desechos y predecir el crecimiento de los desechos espaciales; y c) diversas medidas de mitigación en materia de desechos espaciales.

131. Los sistemas terrestres de vigilancia óptica y mediante radar instalados en el mundo entero permiten observar y rastrear objetos espaciales de diámetro superior a 10 cm en órbita terrestre baja y de más de 1 m en órbita geoestacionaria. Más de 8.500 objetos catalogados están en órbita alrededor de la Tierra. El número de objetos en órbita catalogados ha ido en aumento a un ritmo relativamente lineal en los últimos decenios.

132. Algunos países han elaborado modelos informáticos de desechos orbitales sobre la base de la gran población catalogada y de observaciones estadísticas realizadas con una gran variedad de sensores. Pese a las diferentes técnicas utilizadas en los modelos, las tendencias pronosticadas para el futuro entorno de desechos en órbita son cualitativamente concordantes.

133. Entre las medidas de mitigación señaladas, la limitación de los desechos relacionados con misiones y la prevención de explosiones accidentales se han considerado eficaces y en parte ya han comenzado a aplicarse. Asimismo, el traslado de vehículos espaciales en órbita geoestacionaria a órbitas de eliminación al final de su vida activa es ya una práctica habitual, que se sigue como medida intermedia para evitar futuros problemas en la órbita geoestacionaria. El Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales ha propuesto un algoritmo para determinar la altitud mínima de la órbita de eliminación por encima de la órbita geoestacionaria. Se ha previsto el traslado de algunos satélites en órbita terrestre baja de larga a órbitas de duración más breve al final de su vida activa. Estos procedimientos, en general, deberían ser muy eficaces para limitar la densidad de objetos en las bandas de altitud que actualmente están más densamente pobladas. Como la mayoría de las medidas de mitigación entrañan cierto costo adicional para las misiones, es indispensable que se apliquen los mismos principios de evitación de desechos a nivel mundial.

134. Muchas organizaciones que participan en actividades espaciales se han dado cuenta de las posibles amenazas que suponen los desechos espaciales, y algunas de ellas han comenzado a tomar medidas para reducir la generación de desechos y compartir los resultados obtenidos con la comunidad internacional. Las actividades

de organizaciones internacionales como el Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales y la AIA han redundado en positivas contribuciones para la investigación y la educación en relación con los desechos espaciales. Los miembros del Comité Interinstitucional representan prácticamente a todos los países con capacidad de lanzamiento y a los que diseñan y construyen la mayoría de los sistemas espaciales.

135. En la mayor parte de los casos, los desechos espaciales artificiales suponen hoy poco riesgo para el éxito de las operaciones de aproximadamente 600 vehículos espaciales activos actualmente en la órbita

de la Tierra. Sin embargo, la población conocida y evaluada de desechos va en aumento, y, en consecuencia, aumentarán también las probabilidades de colisiones potencialmente peligrosas. Teniendo en cuenta la dificultad de mejorar el medio espacial con las tecnologías existentes, la aplicación de algunas medidas de mitigación en materia de desechos es hoy un paso prudente hacia la preservación del espacio para las generaciones futuras. En algunos casos, queda por hacer un trabajo técnico para determinar las soluciones más eficaces y económicas.

Notas

¹ En su 36º período de sesiones, la Subcomisión tendrá a la vista el documento más reciente que contiene esa información (A/AC.105/708).

Anexo

Lista de documentos relacionados con el tema de los “desechos espaciales”

Informes sobre los períodos de sesiones de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos

Informe de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos sobre la labor realizada en su 31º período de sesiones (A/AC.105/571, 10 de marzo de 1994)

Informe de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos sobre la labor realizada en su 32º período de sesiones (A/AC.105/605, 24 de febrero de 1995)

Informe de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos sobre la labor realizada en su 33º período de sesiones (A/AC.105/637 y Corr.1, 4 de marzo de 1996)

Informe de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos sobre la labor realizada en su 34º período de sesiones (A/AC.105/672, 10 de marzo de 1997)

Informe de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos sobre la labor realizada en su 35º período de sesiones (A/AC.105/697 y Corr.1, 25 de febrero de 1998)

Informes sobre investigaciones nacionales sobre desechos espaciales

Utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre (A/AC.105/C.1/WG.5/L.24, 15 de enero de 1990)

Utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre (A/AC.105/C.1/WG.5/L.24/Add.1, 14 de febrero de 1990)

Utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre (A/AC.105/C.1/WG.5/L.24/Add.2, 26 de febrero de 1990)

Utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre (A/AC.105/C.1/WG.5/L.24/Add.3, 28 de febrero de 1990)

Desechos espaciales: estado de la labor en Alemania; documento de trabajo presentado por Alemania (A/AC.105/C.1/L.170, 12 de febrero de 1991)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales (A/AC.105/510, 20 de febrero de 1992)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales (A/AC.105/510/Add.1, 21 de febrero de 1992)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales (A/AC.105/510/Add.2, 26 de febrero de 1992)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales (A/AC.105/510/Add.3, 26 de febrero de 1992)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/542, 8 de febrero de 1993)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/542/Add.1, 17 de febrero de 1993)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/542/Add.2, 19 de febrero de 1993)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/565 y Corr.1, 16 de diciembre de 1993)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/565/Add.1, 21 de febrero de 1994)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/565/Add.2, 23 de febrero de 1994)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/593, 1º de diciembre de 1994)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/593/Add.1, 24 de enero de 1995)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/593/Add.2, 6 de febrero de 1995)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/593/Add.3, 7 de febrero de 1995)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/593/Add.4, 24 de febrero de 1995)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/619, 21 de noviembre de 1995)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/619/Add.1, 1º de febrero de 1996)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares;

y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/659, 13 de diciembre de 1996)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/659/Add.1, 6 de febrero de 1997)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/659/Add.2, 14 de febrero de 1997)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/680, 1º de diciembre de 1997)

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales; seguridad de los satélites nucleares; y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales (A/AC.105/680/Add.1, 2 de febrero de 1998)

Documentos sobre medidas de mitigación adoptadas por los organismos espaciales

Medidas adoptadas por los organismos espaciales para reducir el crecimiento de los desechos espaciales o los daños que puedan causar (A/AC.105/620, 21 de noviembre de 1995)

Medidas adoptadas por los organismos espaciales para reducir el crecimiento de los desechos espaciales o los daños que puedan causar (A/AC.105/663, 13 de diciembre de 1996)

Medidas adoptadas por los organismos espaciales para reducir el crecimiento de los desechos espaciales; o los daños que puedan causar (A/AC.105/681, 17 de diciembre de 1997)

Exposiciones científicas y técnicas

Exposiciones científicas y técnicas presentadas a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos (signatura A/AC.105/487, 9 de mayo de 1991)

Exposiciones científicas y técnicas presentadas a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos (signatura A/AC.105/516, 29 de mayo de 1992)

Exposiciones científicas y técnicas presentadas a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos (signatura A/AC.105/546, 18 de mayo de 1993)

Disertaciones científicas y técnicas presentadas a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su 31º período de sesiones (A/AC.105/574, 12 de mayo de 1994)

Disertaciones científicas y técnicas presentadas a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su 32º período de sesiones (A/AC.105/606, 27 de abril de 1995)

Disertaciones científicas y técnicas presentadas a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su 33º período de sesiones (A/AC.105/638, 7 de mayo de 1996)

Disertaciones científicas y técnicas presentadas a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su 34º período de sesiones (A/AC.105/673, 7 de mayo de 1997)

Presentaciones científicas y técnicas realizadas ante la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su 35º período de sesiones (A/AC.105/699, 20 de abril de 1998)

Documentos de trabajo e informes

Space debris: a status report submitted by the Committee on Space Research (signatura A/AC.105/403, 6 de enero de 1998)

Efectos de las actividades espaciales sobre el medio ambiente: informe presentado por el Comité de Investigaciones Espaciales (COSPAR) y la Federación Internacional de Astronáutica (FIA) (A/AC.105/420, 15 de diciembre de 1988)

El problema de los desechos espaciales: documento de trabajo presentado por Australia, Bélgica, Canadá,

Nigeria, Países Bajos, República Federal de Alemania y Suecia (A/AC.105/L.179, 1º de junio de 1989)

Utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre; desechos espaciales: documento de trabajo presentado por la Federación de Rusia (A/AC.105/C.1/L.193, 21 de febrero de 1994)

Desechos espaciales: informe de la Federación Astronáutica Internacional (A/AC.105/570, 25 de febrero de 1994)

Colisiones de fuentes de energía nuclear con desechos espaciales: documento de trabajo presentado por la Federación de Rusia (A/AC.105/C.1/L.204, 13 de febrero de 1996)

Breve examen de la labor realizada por los científicos rusos en materia de contaminación tecnológica del espacio circunferrestre: documento de trabajo presentado por la Federación de Rusia (A/AC.105/C.1/L.205, 13 de febrero de 1996)

Desechos espaciales: documento de trabajo presentado por la Academia Internacional de Astronáutica (A/AC.105/C.1/L.217, 12 de enero de 1998)

Desechos espaciales: documento de trabajo presentado por la Federación de Rusia (A/AC.105/C.1/L.219, 10 de febrero de 1998)

Revisiones del informe técnico

Revisión del informe técnico relativo a los desechos espaciales de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos (A/AC.105/C.1/L.214, 26 de febrero de 1997)

Revisiones del informe técnico sobre desechos espaciales de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos (A/AC.105/C.1/L.224, 19 de febrero de 1998)