



## **Asamblea General**

Distr. LIMITADA

A/AC.105/C.1/L.217

12 de enero de 1998

ESPAÑOL

Original: INGLÉS

---

**COMISIÓN SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL ESPACIO  
ULTRATERRESTRE CON FINES PACÍFICOS**

Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos

35º período de sesiones

Viena, 9 a 20 de febrero de 1998

Tema 9 del programa

### **DESECHOS ESPACIALES**

**Documento de trabajo presentado por la Academia Internacional de Astronáutica**

#### **INTRODUCCIÓN**

1. En el breve lapso de algunos decenios el espacio se ha convertido en recurso indispensable para la ciencia, así como para las actividades públicas y comerciales. Sin embargo, las operaciones espaciales corren riesgos cada vez mayores que se derivan de la producción descontrolada de desechos espaciales artificiales. Actualmente orbitan la tierra más de 8.600 objetos catalogados, de los que apenas unos 500 pueden considerarse vehículos espaciales activos. Otros mil, aproximadamente, están sometidos a seguimiento, pero no se han catalogado. Mediante una muestra estadística del entorno se determinó que, además, se encuentra en órbita una cantidad mucho mayor de objetos de un centímetro de tamaño o mayores. La colisión de uno de estos objetos con un vehículo espacial activo podrá causarle desperfectos o incluso inutilizarlo, dadas las altas energías cinéticas que entran en juego. La población catalogada es un parámetro observable importante para predecir la situación futura del entorno orbital. La Figura I traza gráficamente el aumento de la población de desechos orbitales detectables desde 1960 hasta la actualidad. El origen de los objetos catalogados corresponde en medida importante (el 42%) a la fragmentación de satélites y etapas superiores de cohetes (debida a explosiones). En consecuencia, una técnica importante que puede utilizarse para reducir los desechos es disminuir al mínimo la frecuencia de las explosiones futuras.

Figura I. *Aumento de la población de objetos catalogados.* El aumento de la población de objetos en órbita terrestre catalogados ha sido prácticamente lineal, con importantes variaciones causadas por desintegraciones y por los ciclos de la actividad solar; a) total de objetos, incluidos los que no figuran en el catálogo oficial; b) total de objetos, basado en el catálogo oficial; c) desechos producidos por fragmentación; d) vehículos espaciales; e) etapas superiores de cohetes; f) desechos operacionales.

2. Una posible fuente a largo plazo del aumento de la población de objetos catalogados es la fragmentación por colisiones entre dichos objetos. Si la cantidad de objetos catalogados sigue aumentando, la tasa de fragmentación por colisiones podría superar la de fragmentación por explosiones. Se han efectuado varios estudios en los que se analiza la posibilidad de que se produzca un efecto en cascada en la órbita terrestre baja en que la tasa de generación de desechos por colisiones es mayor que la de su eliminación por la resistencia aerodinámica. Este fenómeno podría, pues, intensificar el ritmo de aumento de los desechos orbitales, pese a los esfuerzos por reducirlos mediante la limitación de la frecuencia de las explosiones futuras. El posible aumento futuro de los desechos puede observarse en la figura II, en que se muestra el eventual aumento a largo plazo en la cantidad de objetos de tamaño superior a un centímetro.

Figura II. *Evolución a largo plazo de la situación en materia de desechos de tamaño superior a 1 cm* (condiciones habituales). Diversas fuentes contribuirán al aumento futuro de la cantidad de desechos, a saber: a) satélites, etapas superiores de cohetes y objetos relacionados con misiones; b) fragmentos producidos por explosiones; y c) fragmentos producidos por colisiones.

3. La curva correspondiente a las condiciones habituales revela que el entorno de los desechos orbitales continuará poblándose. A corto plazo este aumento sostenido se deberá principalmente a las explosiones. A largo plazo habrá un gran incremento en la población de desechos por efecto de desintegraciones debidas a colisiones fortuitas entre objetos de mayor tamaño (colisiones en cascada). Ello perjudicará gravemente las actividades espaciales en algunas altitudes. Por ello, se debe evitar la acumulación de objetos voluminosos en regiones con grandes concentraciones, a fin de eliminar la posibilidad de que las colisiones se convierta en fuente importante de desechos.

4. En estudios anteriores se daba por sentado que los satélites estaban distribuidos de manera bastante uniforme en un espacio de cientos de kilómetros, pero la aparición de arquitecturas en constelación, como Iridium o Teledesic, agregarán tal vez otra dimensión a este análisis. Las constelaciones de múltiples satélites agrupadas en bandas de altitud estrechas son quizá mucho más vulnerables en situaciones de concentración densa, con lo que podrán producirse desintegraciones por colisión. Los planificadores y explotadores de sistemas de satélites debieran prestar gran atención no sólo a la forma en que despliegan sus sistemas, los explotan y eliminan al final de la misión, sino también a las actividades de otros usuarios en regiones espaciales cercanas.

5. No es posible predecir con exactitud la evolución del entorno de los desechos orbitales debido a la posibilidad de que aumenten los lanzamientos, efectuados por un número cada vez mayor de usuarios del espacio, especialmente en vista de la nueva tecnología de satélites pequeños y del advenimiento de las constelaciones de satélites de comunicaciones. La incertidumbre con respecto al entorno futuro es tanto mayor cuanto que resulta igualmente incierta la frecuencia de las explosiones y colisiones futuras. De una colisión entre dos objetos pueden desprenderse

muchos fragmentos, cuyo número y tamaño dependerán de varios factores, como la masa de los cuerpos que chocan y la velocidad de la colisión.

6. La mitigación comprende dos aspectos: en primer lugar, la protección contra el impacto de los desechos espaciales (evitación de colisiones), y, luego, las medidas para evitar la creación de desechos espaciales. En la presente disertación nos centraremos en los asuntos relativos al control de los desechos. Como en la actualidad no existen métodos económicamente viables para la limpieza del espacio, las medidas de control de los desechos deben orientarse hacia las que sirven para evitar su creación.

### OPCIONES PARA EL CONTROL DE LOS DESECHOS Y PROBLEMAS CONEXOS

7. Se ha debatido extensamente la necesidad de modificar la forma en que se efectúan las misiones espaciales, desde el lanzamiento, el despliegue y las operaciones hasta su terminación. Todas las investigaciones relativas a la evolución a largo plazo de los desechos orbitales llegan a la conclusión de que, de no haber cambios en el *modus operandi* de las misiones espaciales, algunas regiones del espacio circunferrestre estarán tan atestadas de desechos que las operaciones habituales resultarán más caras en el futuro. Las posibilidades existentes para contener el aumento de los desechos orbitales dependen en gran medida de la altitud de la misión, el diseño del equipo y de la voluntad de cooperación de los países que impulsan programas espaciales.

#### Posibilidades de control de los desechos

8. La cantidad de desechos puede controlarse de dos formas: mediante su prevención o su eliminación. Esta última significa retirarlos de la órbita inmediatamente o dentro de un cierto plazo. Comprende su transferencia a una órbita intermedia cuya vida orbital no supere un máximo establecido. En el cuadro 1 se enumeran técnicas concretas correspondientes a ambas categorías.

**Cuadro 1. Métodos para reducir o eliminar los desechos**

<i>Prevención</i>	<i>Eliminación</i>
Diseño y operaciones	Recuperación
Pasivación	Maniobras de propulsión
Retención de las cubiertas y los dispositivos de separación	Desorbitar con cable de amarre, aumento de la resistencia aerodinámica, vela solar
Transferencia a una órbita "cementerio"	Láser

9. En la actualidad los usuarios ya aplican voluntariamente varias de estas técnicas. Sin embargo, se requiere continuar investigando en esta esfera. Lo más importante es determinar métodos realistas y eficaces. Entre los métodos de prevención que ya se utilizan en escala limitada figuran:

- La pasivación de las etapas superiores;
- La utilización de sistemas de captura de desechos para los pasadores explosivos;
- La utilización de menos partes desechables;
- La transferencia a órbitas de "cementerio" (órbitas geoestacionarias);
- La multiplicación de las cargas útiles por cada lanzamiento.

10. En algunas ocasiones se han empleado métodos de eliminación de desechos, por ejemplo su recuperación por el transbordador espacial de los Estados Unidos o su retiro de la órbita, por ejemplo en el caso de los vehículos de aprovisionamiento Progress.

### **Pasivación**

11. Una categoría importante de los métodos de prevención de los desechos es la pasivación del material a fin de evitar su desintegración por explosión. Pasivación significa la eliminación de toda la energía almacenada del vehículo espacial o la etapa superior agotando o evacuando los propulsores y presionizantes y dejando las baterías en circuito abierto para que el objeto quede inerte. La recuperación de objetos abandonados de gran tamaño puede resultar costosa y difícil, pero más caro y difícil resulta, desde luego, recuperar los desechos creados por la fragmentación de dichos objetos. En el caso de los cuerpos de cohetes en órbita terrestre baja, la expulsión de los propulsores y presionizantes se ha utilizado con éxito anteriormente y brinda un grado considerable de seguridad futura. En varios vehículos propulsados por cohetes se aplican ya habitualmente estos procedimientos de expulsión para reducir la posibilidad de fragmentaciones futuras. A partir del vuelo V59 todas las etapas superiores del Ariane han llevado medios de evacuación, con independencia del tipo de órbita. Las etapas superiores del Delta y el Long March se queman hasta consumirse tras el despliegue de la carga útil y la ejecución de una maniobra para evitar la colisión. La segunda etapa del vehículo japonés H-1 (LE-5) ha evacuado los propulsores residuales del motor principal y el propulsor de chorro de gas tras finalizar la separación de la carga útil. En el caso del vehículo de lanzamiento H-2, se aplica un procedimiento análogo. La cuarta etapa del Proton y la etapa superior del Centaur agotan el propulsor al final de la misión. Es de lamentar que la evacuación del combustible se haya aplicado a no más de 30 etapas superiores impulsadas por combustible líquido cercanas a la órbita geoestacionaria. Dicho procedimiento debiera comenzar a utilizarse apenas resulte práctico y comprender los sistemas de control de actitud y compensación activados por combustible líquido de las etapas propulsoras de los cohetes impulsados por combustible sólido. En varias ocasiones anteriores la sobrecarga de la batería de un satélite ha causado pequeñas fragmentaciones, por lo que debieran adoptarse precauciones para impedir que este fenómeno se repita en el futuro.

### **Órbitas de eliminación**

12. Otra categoría importante de medidas preventivas es el traslado a una órbita de eliminación. Por ejemplo, los satélites geoestacionarios podrían, al final de su vida útil, propulsarse a varios cientos de kilómetros por encima de su órbita geoestacionaria para evitar su interacción continua con otros vehículos activos. El cambio de órbita es actualmente la única manera práctica de reducir el riesgo de colisiones en la órbita geoestacionaria. Este procedimiento se ha aplicado más de 90 veces. Se recomienda una altitud de elevación mínima de la órbita de 300 km. Convendría adoptar una estrategia de combustión múltiple que tenga presentes las incertidumbres en cuanto al cálculo del propulsor. En su momento deberá estudiarse un método de eliminación más permanente. La aplicación de tecnologías avanzadas, como la propulsión eléctrica solar, brindará tal vez nuevas posibilidades.

### **Recuperación**

13. Recuperación significa devolver a la Tierra el vehículo espacial y otros equipos espaciales sin dañar, utilizando otro vehículo espacial capaz de ingresar en la atmósfera, por ejemplo, el transbordador espacial de los Estados Unidos o cápsulas Soyuz. Entre los equipos espaciales recuperados se cuentan el Palapa-A, el Westar-B, el LDEF, el EURECA, el SFU y un generador solar del telescopio espacial Hubble. Sin embargo, estos objetos se recuperaron por razones ajenas al objetivo de reducir los desechos. Además, las capacidades de recuperación del transbordador espacial se limitan a altitudes inferiores a 600 km, aproximadamente.

### **Abandono de la órbita**

14. Un método eficaz para eliminar objetos del espacio es retirarlos de la órbita. Esto comprende maniobras de propulsión para causar el ingreso destructivo inmediato en la atmósfera, el traslado a una órbita intermedia de vida orbital limitada (por ejemplo, 25 años), la utilización de cables de amarre para el retiro inmediato de la órbita o la reducción de la vida orbital, o la utilización de otros métodos (basados en el aumento de la resistencia aerodinámica, o la presión de la radiación solar) para reducir el período de vida orbital.

15. Las maniobras de propulsión para provocar el abandono de la órbita, o al menos reducir el período de vida orbital, podrán ser posibles de inmediato en el caso de algunas etapas de cohetes, pero no para la mayoría de los equipos abandonados de gran tamaño. En la medida en que se mantengan los medios de regulación de la actitud y los sistemas de control en la etapa del cohete, la modificación correcta de los elementos orbitales podrá lograrse mediante una pequeña maniobra (a distancia del vehículo espacial puesto en órbita para evitar la contaminación por el encendido del cohete), seguida de una combustión.

16. En el programa tripulado ruso y antiguamente soviético, los vehículos de suministro Progress y las estaciones espaciales se retiraron de su órbita para trasladarlas a zonas oceánicas remotas, salvo en el caso del Cosmos 557, el Salyut 2, y el Salyut 7/Cosmos 1686.

17. El recurso al aumento de la resistencia aerodinámica, el movimiento causado por la presión solar o la eliminación por medio de un cable de amarre requieren fabricar equipos que no existen en la actualidad y entrañan una pérdida de eficiencia. El equipo para aumentar la resistencia aerodinámica podría incluir dispositivos inflables que se hicieran rígidos en el momento del despliegue y que presentasen una superficie de sección transversal mucho mayor hacia la atmósfera, a fin de aumentar la resistencia aerodinámica sobre el objeto. El aumento de la resistencia será óptimo en el caso de las misiones a baja altitud, por debajo de 600 a 700 km, aunque también podría significar algún movimiento en altitudes de hasta 1.200 km. Sin embargo, cabe señalar que la utilización de dispositivos para el aumento de la resistencia aerodinámica y de presión solar aumentará la superficie física, y con ello la sección transversal de colisión del objeto que se ha de eliminar.

### **Riesgos en tierra**

18. Desde el lanzamiento del Sputnik 1 se han catalogado alrededor de 25.000 objetos que orbitan la Tierra. Alrededor de 16.000 han entrado en la atmósfera y en su mayoría se han desintegrado o evaporado dejando muy pocos residuos que impactaran el planeta. En algunos casos han llegado a la superficie terrestre fragmentos macizos de vehículos espaciales o etapas de cohetes (Cosmos 954, Skylab, Salyut7/Cosmos 1686) que se han observado. Tal vez han caído en mayor número, pero sin ser observados. Si se ha previsto la supervivencia de componentes de vehículos espaciales o etapas de cohetes, el método preferido de eliminación es el reingreso destructivo controlado en una zona oceánica remota.

### **Limpieza de objetos espaciales abandonados**

19. Desplazar, años después de haberlos utilizados, objetos que no tenían medios de propulsión plantea un problema difícil. La inclusión de un sistema que ejecute una maniobra tras haber formado parte del objeto (vehículo espacial o cuerpo de cohete) tal vez durante muchos años puede plantear un obstáculo operacional y un problema de seguridad. La instalación oportuna de algún sistema de propulsión teledirigido requeriría considerables esfuerzos por lo que atañe al encuentro espacial, la fijación (a una pieza del equipo peligrosa en potencia y la coordinación de la maniobra. Un "remolcador espacial" teledirigido y enviado al encuentro de grandes objetos abandonados a fin de desorbitarlos sería un medio eficaz de eliminar los desechos. Sin embargo, los planos conceptuales de este tipo de vehículos revelan que los costos son muy elevados con la tecnología existente. Otro método para desplazar los objetos abandonados es la vela solar, que utilizaría la presión de la radiación solar para modificar los elementos orbitales de dichos objetos. Esta técnica entrañaría un aumento de los costos por concepto de equipo y modificaría con mucha lentitud los elementos orbitales, pero resultaría eficaz en un amplio rango de altitudes. La utilización de

un cable de amarre puede servir de diversas maneras para eliminar objetos: mediante el intercambio de inercia en el despliegue o la recuperación y la resistencia electromagnética. En cualquier caso, la utilización del cable de amarre requeriría el diseño y la fabricación de cierta cantidad de equipo, lo que se sumaría a los problemas inherentes de fiabilidad operacional que supondría la adición de otros tipos de aparatos a sistemas ya complejos. Otra posibilidad es eliminar los desechos de la órbita utilizando láseres potentes (basados en tierra). Mediante la deposición y la evaporación de la energía podría impartirse movimiento lineal a un objeto en el espacio, lo que causaría su abandono inmediato de la órbita o reduciría su período de vida orbital. Esta es, quizás, una técnica interesante para el futuro, en caso de que puedan salvarse algunas de las dificultades (evitar causar daños a vehículos espaciales operacionales y no generar más desechos pequeños).

20. Una conclusión inmediata que puede extraerse de las consideraciones anteriores es que toda eliminación de desechos rentable supone que hay que incluir los requisitos correspondientes desde el comienzo del ciclo vital de un proyecto. La introducción de algunos cambios de diseño secundarios podrá crear nuevas posibilidades para la eliminación de desechos a un costo relativamente bajo.

### **MEDIDAS QUE SE RECOMIENDAN PARA EL CONTROL DE LOS DESECHOS**

21. Es necesario definir medidas internacionalmente aceptadas de control de los desechos a fin de conservar las altitudes útiles para los vehículos espaciales en funcionamiento, pero el momento oportuno de hacerlo y la cantidad de posibilidades son materia de debate. Una manera adecuada de determinar las técnicas y los conceptos que se han de escoger es efectuar una serie de estudios exhaustivos sobre la compensación de costos y beneficios. Si bien estos análisis son indispensables para determinar el mérito relativo de las opciones propuestas, la Academia Internacional de Astronáutica apoya la postura de que deben adoptarse inmediatamente ciertas medidas, que se enumerarán al final del presente documento, para garantizar la viabilidad futura de las actividades espaciales. La participación de los países con capacidad espacial y de sus industrias aeroespaciales pondrán sobre el tapete la cuestión del equilibrio de costos y beneficios. Basta perder unos pocos vehículos espaciales activos por colisiones con desechos orbitales o por el abandono de algunas bandas de altitud para que se exceda el monto de los gastos previsto con arreglo a las opciones establecidas en el presente documento. Las medidas de control que se ha de examinar se dividen en dos categorías: las que repercuten en grado mínimo en el diseño y las operaciones y las que requieren modificaciones considerables del equipo o las operaciones. Ninguna de ellas requiere desarrollar nuevas tecnologías. Las medidas de la categoría I debieran aplicarse inmediatamente, en tanto que las de la categoría II deberían ser aplicadas a contar de una fecha convenida por todos quienes realizan actividades espaciales.

#### **Medidas de la categoría I**

22. La categoría I comprende las medidas que requieren cambios nulos o limitados en el diseño y cuya repercusión sobre los costos son por lo general mínimas. Podrán suponer modificaciones del equipo y las operaciones. No obstante, ello podrá afectar negativamente los resultados. Estas medidas tienen carácter prioritario y deberían aplicarlas de inmediato todos quienes se dedican a actividades espaciales. Las medidas de la categoría I comprenden las siguientes:

a) Cesación de la desintegración intencionada de vehículos espaciales que produzcan desechos en órbitas de larga duración;

b) Máxima reducción posible de los desechos relacionados con misiones. En muchos casos existen soluciones técnicas eficaces y de bajo costo. Sin embargo, en otros el costo ya no será tan bajo, al requerirse cambios considerables en el diseño del equipo (por ejemplo, los dispositivos yo-yo y los motores de apogeo separados);

c) Pasivación (evacuación del propulsante y su agotamiento por combustión y aseguramiento de las baterías) de las etapas superiores y los vehículos espaciales en todas las órbitas terrestres al final de la misión;

d) En el caso de los vehículos espaciales y las etapas superiores de cohetes que se hallen a menos de 2.000 km de altitud y que tengan excedente de combustible al final de sus operaciones, disminución de la altitud del perigeo para minimizar el período de vida orbital;

e) Traslado de los satélites geoestacionarios a una órbita de eliminación al final de su vida útil. El aumento mínimo de la altitud deberá ser de 300 km sobre la órbita geoestacionaria (ubicación del perigeo por encima de dicha órbita);

f) Las etapas superiores y los motores de apogeo gastados que se hayan utilizado para desplazar satélites geoestacionarios de la órbita de transferencia geoestacionaria a la órbita de satélites geoestacionarios deben colocarse en una órbita de eliminación a una altitud mínima de 300 km sobre la órbita geoestacionaria y vaciados de propulsante residual.

### **Medidas de la categoría II**

23. La categoría II comprende opciones que suponen modificaciones considerables del equipo o los procedimientos operacionales. Sin embargo, no requieren ninguna nueva tecnología. Estas opciones tienen por objeto eliminar las etapas superiores utilizadas y las aeronaves espaciales extintas dentro de un plazo máximo -años Tmax-, a fin de eliminar una fuente importante de desechos. Las medidas que figuran a continuación dan posibles valores cuantitativos. Mediante debates y deliberaciones en foros internacionales apropiados, como el Comité Interinstitucional en materia de Coordinación de Desechos Orbitales y la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, se deberá llegar a acuerdos sobre los plazos Tmax y el momento en que se deberán aplicar dichas medidas. Es relativamente urgente aplicar las medidas de la categoría II en algunas regiones orbitales. Toda demora indebida en su puesta en práctica causará un mayor deterioro del entorno espacial. La eliminación de los objetos grandes o compactos que pudieran sobrevivir parcialmente al calor de la reentrada en la atmósfera se efectúa mediante una maniobra de desorbitación que garantiza el ingreso a la atmósfera en zonas oceánicas durante el paso por el siguiente perigeo. Los objetos que se quemarán por completo durante la reentrada en la atmósfera deben colocarse en órbitas con tiempos de vida limitados de 25 años por ejemplo (Tmax). Por ello, en esos casos se aprovecharán las perturbaciones naturales. Las medidas de la categoría II son las siguientes:

a) Eliminación al final de la misión dentro del plazo convenido (años Tmax) de todas las etapas superiores de cohetes y vehículos espaciales extintos que se hallen en órbitas cuyo apogeo se encuentre a menos de 2.000 km de altitud;

b) Eliminación al final de la misión y dentro del plazo establecido (Tmax) de todas las etapas superiores de cohetes y vehículos espaciales que se hallen en órbitas de transferencia geoestacionaria, órbitas de transferencia a órbitas de 12-h u otras órbitas excéntricas con altitud de perigeo inferior a 2.000 km;

c) Traslado de las etapas superiores y los satélites al final de su período de vida hacia una órbita de eliminación (como medida temporal) en el caso de órbitas circulares de más de 2.000 km de altitud.

24. Las medidas de control de desechos de las categorías I y II se pueden poner en práctica con tecnologías existentes.

### **Perspectivas futuras**

25. Se deben continuar buscando nuevos métodos de reducción de los desechos, así como de aumentar la viabilidad técnica y la eficacia en función de los costos. Sería muy ventajoso para el entorno espacial contar con capacidades avanzadas de propulsión y sistemas de lanzamiento, en particular etapas superiores, reutilizables. Las



técnicas avanzadas de propulsión reducirían los costos del cambio de órbita y permitirían efectuarlo desde órbitas de alta energía.

### CONCLUSIONES

26. Pese a la aplicación de varias medidas de prevención de los desechos, la cantidad y la masa de los objetos artificiales en el espacio aumentan constantemente.

27. Las predicciones sobre la futura población de desechos ponen de manifiesto la necesidad de aplicar medidas más energéticas de control de los desechos en algunas regiones orbitales. Toda desintegración (por colisión o explosión) que genere desechos en las órbitas con período de vida prolongado aumenta la densidad espacial de los desechos y constituye un problema para el futuro.

28. El objetivo de las medidas de control de los desechos es mantener dentro de límites tolerables la densidad espacial de los objetos artificiales en órbitas importantes y garantizar la seguridad de los vuelos espaciales. De no controlarse el aumento de la población de desechos, algunas regiones orbitales quedarán inutilizadas para las operaciones espaciales.

29. En vista del deterioro irreparable de algunas de las regiones orbitales más útiles, la Academia Internacional de Astronáutica insta a los países que realizan actividades espaciales a adoptar medidas adecuadas para garantizar la seguridad de las futuras actividades espaciales.