



Asamblea General

Distr. GENERAL
A/AC.105/680/Add.1
2 de febrero de 1998
ESPAÑOL
Original: INGLÉS

COMISIÓN SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL ESPACIO
ULTRATERRESTRE CON FINES PACÍFICOS

INVESTIGACIONES NACIONALES SOBRE LA CUESTIÓN DE LOS DESECHOS ESPACIALES
SEGURIDAD DE LOS SATÉLITES ALIMENTADOS POR ENERGÍA NUCLEAR
PROBLEMAS DE LA COLISIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA NUCLEAR
CON LOS DESECHOS ESPACIALES

Nota de la Secretaría

Adición

1. El Secretario General dirigió a todos los Estados Miembros una nota verbal de fecha 7 de agosto de 1997 en la que les invitó a facilitar información sobre las investigaciones nacionales acerca de los desechos espaciales, la seguridad de los satélites alimentados por energía nuclear y los problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con desechos espaciales.
2. En el presente documento figura la información facilitada en las respuestas recibidas de los Estados Miembros entre el 1º de diciembre de 1997 y el 30 de enero de 1998.

ÍNDICE

| | <i>Página</i> |
|--|---------------|
| RESPUESTAS RECIBIDAS DE LOS ESTADOS MIEMBROS | 2 |
| Alemania | 2 |

RESPUESTAS RECIBIDAS DE LOS ESTADOS MIEMBROS

Alemania

[Original: inglés]

Alemania ha seguido contribuyendo a la labor relativa a los desechos espaciales en la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos mediante la preparación de su informe sobre las actividades emprendidas en 1996, que figura en el documento A/AC.105/659/Add.1 de 6 de febrero de 1997, así como una exposición sobre observaciones de desechos presentada a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su período de sesiones de 1997.

En el curso de su período de sesiones celebrado en Darmstadt en marzo de 1997, la Agencia Espacial Alemana (DARA) pasó a ser miembro pleno del Comité Interinstitucional de Coordinación en Materia de Desechos Orbitales. Su condición de miembro ha sido asumida recientemente por el Centro Aeroespacial Alemán (DLR), creado el 1º de octubre de 1997 como consecuencia de la fusión de la DARA y del Organismo Alemán de Investigaciones Aeroespaciales. La 14ª Reunión del Comité Interinstitucional de Coordinación en Materia de Desechos Orbitales se celebró los días 20 y 21 de marzo de 1997 paralelamente a la Segunda Conferencia Europea sobre Desechos Espaciales, organizada por el Centro Europeo de Operaciones Espaciales (ESOC) y copatrocinada, entre otros, por la Agencia Espacial Alemana¹. En esa conferencia participaron numerosos expertos científicos y jurídicos alemanes. La 15ª Reunión del Comité Interinstitucional se celebró del 9 al 12 de diciembre de 1997 en Houston, Texas (Estados Unidos de América). Una delegación alemana asistió a ambas reuniones del Comité Interinstitucional e hizo aportes a los cuatro grupos de trabajo, sobre mediciones, medio ambiente y base de datos, protección y mitigación.

Como se indicó en los informes anteriores, las actividades alemanas en la esfera de las investigaciones sobre desechos se realizan sobre una base nacional o se financian con arreglo a contratos firmados con el Centro Europeo de Investigaciones y Tecnología Espaciales (ESTEC) y con el Centro Europeo de Operaciones Espaciales (ESOC) de la Agencia Espacial Europea (ESA). Las actividades de investigación se concentran mayormente en a) el Instituto de Tecnología de Mecánica de Vuelo y Vuelos Espaciales de la Universidad Técnica de Braunschweig (IFR/TUBS) y b) el Instituto de Investigación en Ciencias Aplicadas de Wachtberg-Werthhoven (FGAN). En las secciones A y B que figuran a continuación se indican los principales resultados de las investigaciones llevadas a cabo respectivamente por estas instituciones en 1997; en la sección C se reseñan otras actividades de investigación realizadas por institutos e industrias alemanas.

A. Elaboración de modelos y mitigación de los desechos espaciales

Como en años anteriores, en 1997 las investigaciones sobre la elaboración de modelos de los desechos espaciales constituyeron uno de los aspectos centrales de la labor del IFR/TUBS.

La DARA/DLR está a punto de finalizar un estudio relacionado con los aspectos actuales de las deliberaciones en materia de desechos espaciales incluidos, por ejemplo, nuevas fuentes de desechos espaciales (gotas procedentes de los satélites RORSAT, partículas de degradación de superficie, polvo/escoria de Al_2O_3 procedentes de igniciones de motores de cohetes de propulsante sólido) o la separación mínima necesaria entre la órbita de eliminación y la órbita geoestacionaria GEO.

El IFR/TUBS también elaboró la versión para la difusión del Modelo de Referencia Terrestre de Meteoroides y Desechos Espaciales (MASTER) de la ESA, que actualmente incluye una opción para la evaluación del flujo de meteoroides naturales. Esta edición del modelo MASTER puede obtenerse por conducto

de la ESA/ESOC en su versión de mayo de 1997. Desde agosto de 1997, el IFR viene realizando investigaciones sobre varios dispositivos de actualización que se integrarán en el MASTER antes de que salga su próxima edición, prevista en 1999.

Además de esta labor, el IFR está preparando un manual europeo sobre desechos espaciales para la ESA, que abarca los aspectos científicos y técnicos de la evaluación y mitigación de los desechos orbitales.

1. Otras fuentes de liberación de desechos en el contexto de la elaboración de modelos de los desechos orbitales

En vista de los claros indicios de que además de las explosiones y colisiones otras fuentes contribuyen considerablemente a aumentar el flujo de desechos que pueden impactar a un objeto en una órbita terrestre, se han examinado diversos factores que pueden causar la liberación de desechos en órbita. Actualmente las fuentes más probables se consideran las siguientes:

- a) Gotas de refrigerante de metal líquido (NaK) procedentes de los núcleos de reactores nucleares desechados en una órbita de almacenamiento de 950 kilómetros;
- b) Escoria y micropartículas de óxido de aluminio resultantes de las igniciones de motores de cohetes de propulsante sólido en órbita;
- c) Partículas de degradación de superficie por influencia del oxígeno atómico en combinación con la fragilización y el ciclo térmico relacionados con las radiaciones EUV.

De estas fuentes, sólo las gotas de refrigerante y la fracción en gran escala de los objetos de óxido de aluminio, denominada escoria, tienen algún interés en términos de las colisiones en cascada. Las partículas de polvo de Al_2O_3 , de un micrón, así como las partículas de degradación de superficie, no hacen sino contribuir al flujo de microdesechos que causan esos efectos de degradación.

Actualmente el IFR está formulando criterios de elaboración de modelos para la generación de esas dos fuentes a fin de evaluar su impacto en el entorno global de los desechos espaciales y en su evolución.

a) Gotas de sodio-potasio

La primera de estas dos fuentes (aparentemente la más severa), las llamadas gotas RORSAT, se descubrió al efectuar muestras de mediciones con el radar Haystack. Se detectó un gran flujo de objetos en órbitas casi circulares e inclinadas de 65° a una altura de unos 900 km. Tras examinar más detalladamente esos objetos utilizando las instalaciones de radar de Millstone Hill y Goldstone, así como observaciones ópticas, se observó que medían hasta 5,6 cm de diámetro, eran esféricos y tenían algunas características de los metales especulares. Podía derivarse una consistencia de aproximadamente 900 kg/m^3 a partir de las mediciones de la degradación. Todos estos hechos apuntan a las gotas líquidas de sodio-potasio (NaK) liberadas por los reactores nucleares de los satélites rusos RORSAT que utilizaban NaK como refrigerante.

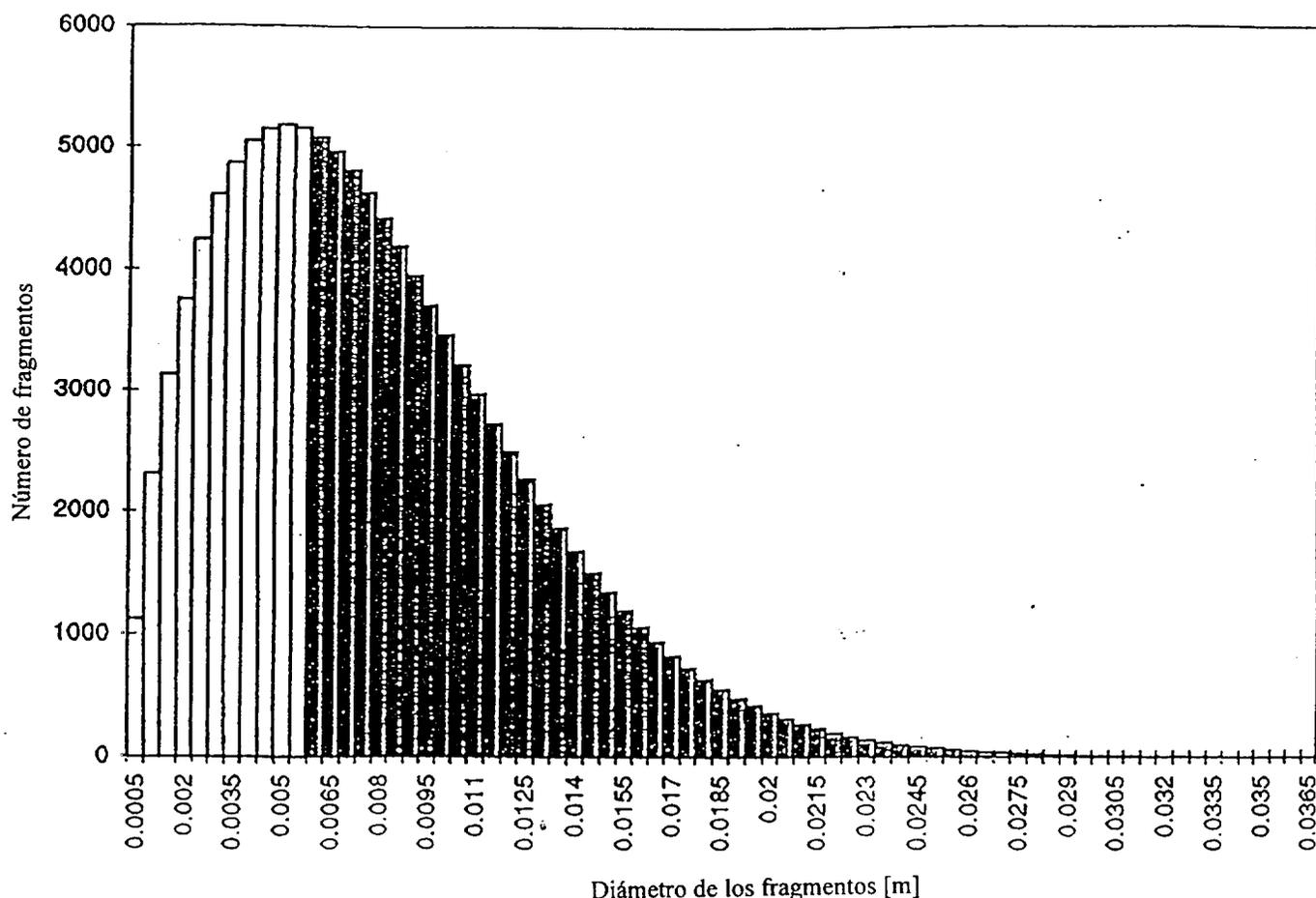
Esos satélites, que están en desuso, se eliminan en una órbita de almacenamiento de 950 kilómetros, donde los satélites RORSAT de última generación liberan sus barras de combustible del núcleo del reactor a fin de garantizar una desintegración completa durante el reingreso ulterior. Probablemente, en el curso de este procedimiento se libera en el espacio gran parte del refrigerante de NaK. Efectos como el estallido de la cavidad

dentro de la corriente del flujo saliente pueden producir la emisión de un número apreciable de gotas aun más pequeñas². Debido a tasas de evaporación muy bajas, las gotas así generadas forman esferas metálicas que mantienen un tamaño prácticamente invariable durante su vida orbital.

El problema en este caso es similar al que plantea la elaboración de modelos de las fragmentaciones orbitales: sólo puede verificarse mediante medición directa el extremo superior del espectro de diámetro. Por tanto, toda masa o distribución del diámetro derivada de la elaboración de un modelo teórico del proceso de emisión del flujo adolece de un considerable margen de incertidumbre, especialmente en un caso como este, en que casi no se dispone de datos sobre el extremo inferior del espectro de tamaño.

Por lo general, los datos materiales relativos al NaK sólo se proporcionan respecto de intervalos de parámetros que puedan tener algún interés para los procesos termodinámicos y hasta la fecha los experimentos para examinar el efecto de la vaporización de líquidos en un vacío se han realizado solamente en relación con el agua. Sin embargo, ciertas similitudes entre el agua y el NaK, especialmente en términos de su consistencia, junto con la falta general de datos, parecen justificar la utilización al menos de las características básicas de los datos disponibles sobre la distribución del diámetro de las gotas de agua para abordar el problema del NaK. Otro hecho que corrobora este supuesto es que la presión del vapor del NaK caliente (753K) es equivalente a la del agua a temperatura ambiente (293K).

Figura 1: Distribución del diámetro total de las gotas de NaK según el modelo elaborado para el grupo de satélites RORSAT a una altura superior a 800 km



En este sentido, se ha elegido una distribución Weibull, adaptada a los puntos indicados por los datos medidos mediante observaciones de radar y examen óptico, por una parte, y a la masa integral, por otra. La ventaja de este enfoque respecto de los modelos que aplican una ley de distribución basada en la potencia consiste en su evaluación más conservadora del número de micropartículas generadas por tales fenómenos. Este parece ser un enfoque razonable si se tiene en cuenta sobre todo que la vaporización orbital es más eficaz en el caso de las microgotas que de gotas más grandes, de modo que las microgotas desaparecerán con el tiempo.

Pese a estos supuestos bastante conservadores, el número total de objetos relacionados con el refrigerante asciende a 115.000 en el contexto de los 15 fenómenos relacionados con los satélites RORSAT dentro de una órbita de almacenamiento de 950 km, excluido el C1900, que sólo alcanzó una órbita de almacenamiento de 750 km. La masa total es de 54 kg.

b) Escoria de aluminio procedente de motores de cohetes de propulsante sólido

La segunda fuente generadora de objetos que inciden considerablemente en el entorno de los desechos son las igniciones de motores de cohetes de propulsante sólido en órbita que se utilizan para las maniobras de inserción en la órbita geoestacionaria de transferencia GTO o en la órbita geoestacionaria (GEO).

Mientras que la eyección de partículas de Al_2O_3 de un micrón en el curso de igniciones de motores de cohetes de propulsante sólido es un hecho bien conocido que puede derivarse fácilmente del gran número de aditivos de aluminio en la carga, la eyección de objetos de escoria relativamente grandes en la fase de extinción por agotamiento se descubrió sólo recientemente. Por tanto, el problema principal para la elaboración del modelo del proceso de generación de esa escoria de óxido de aluminio es la falta de datos fiables. Hasta ahora existían sólo unas pocas mediciones procedentes de ensayos terrestres de motores de cohetes de propulsante sólido y observaciones con radar de las estelas que los motores de despegue de propulsante sólido dejaban en su ascensión. Además, los datos procedentes de estas mediciones son bastante incoherentes y dependen del dimensionamiento del tamaño del motor y la extrapolación en función de las condiciones orbitales.

Una validación de los supuestos derivados de modelos se limita sobre todo a la pequeña fracción de objetos generados por encima del umbral de observación por radar de unos 6 mm de diámetro en órbita terrestre baja (LEO). Por consiguiente, los modelos actuales sólo reflejan una impresión aproximada de los mecanismos de generación y liberación de la escoria de aluminio, especialmente en términos de la distribución de la masa o el diámetro.

No obstante, independientemente de los supuestos derivados de modelos aplicables al espectro de diámetro más pequeño, los datos resultantes de las mediciones prueban que cada combustión de motores de cohetes de propulsante sólido libera un número muy importante de objetos de gran tamaño. Estos objetos, en contraste con las partículas de polvo, pueden contribuir al flujo de fondo dentro de un diámetro que puede causar graves daños a un objetivo, así como a un proceso ulterior de colisiones en cascada. En cualquier caso, por tanto, la escoria de aluminio procedente de igniciones orbitales de motores de cohetes de propulsante sólido debe considerarse una fuente pertinente de desechos espaciales. Los análisis futuros deberán mostrar hasta qué punto puede acumularse la población de escoria, teniendo en cuenta la influencia de los factores de hundimiento como la resistencia atmosférica o la presión de la radiación solar.

2. La separación entre la órbita geoestacionaria y la órbita de eliminación

Actualmente los vehículos espaciales en la órbita geosincrónica no abandonan la órbita al final de su ciclo de vida útil principalmente debido a la gran cantidad de combustible adicional que requiere tal maniobra. Por el contrario, ascienden a una órbita de eliminación ligeramente superior a la órbita geoestacionaria en la que por lo menos hay una menor densidad de objetos y se reduce el riesgo de colisiones dentro del propio anillo geoestacionario, ya de por sí densamente poblado.

En el contexto de la creciente necesidad de lograr un consenso internacional con respecto a este procedimiento, también llamado re inserción en órbita, se planteó la cuestión relativa a la separación mínima que debía existir entre esta órbita de eliminación y la órbita geoestacionaria a fin de evitar que los vehículos espaciales en desuso derivasen nuevamente hacia la delicada región geoestacionaria en una etapa posterior. Recientemente parece haberse llegado a cierto consenso en torno a un valor de 300 km, el cual ya había sido aceptado por algunas instituciones internacionales como la ESA o la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y recomendado asimismo por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) en su manual sobre mitigación de los desechos espaciales.

Las simulaciones de la evolución de la órbita a largo plazo realizadas en el IFR han mostrado que la variación de la altura de perigeo debida a la influencia de perturbaciones sigue siendo por lo general limitada para los objetos de tamaño superior a 1 cm (véase la figura 2, diagrama superior). Sólo en lo que respecta a las partículas del espectro de diámetro submilimétrico la presión de la radiación solar produce una variación considerable de la altura de perigeo, si bien tales partículas sólo pueden derivarse de una colisión en la propia órbita de eliminación. Sin embargo, en este caso la energía cinética liberada impulsaría los fragmentos hacia toda una gama de órbitas diferentes que, especialmente cuando se trata de partículas muy pequeñas, pueden ser sumamente excéntricas (véase la figura 2, diagrama inferior). Dado que no existe margen alguno capaz de proteger la órbita geoestacionaria contra interferencias producidas por esos desechos tan pequeños procedentes de fragmentaciones, la solución del problema no depende en absoluto de la separación de la órbita de eliminación.

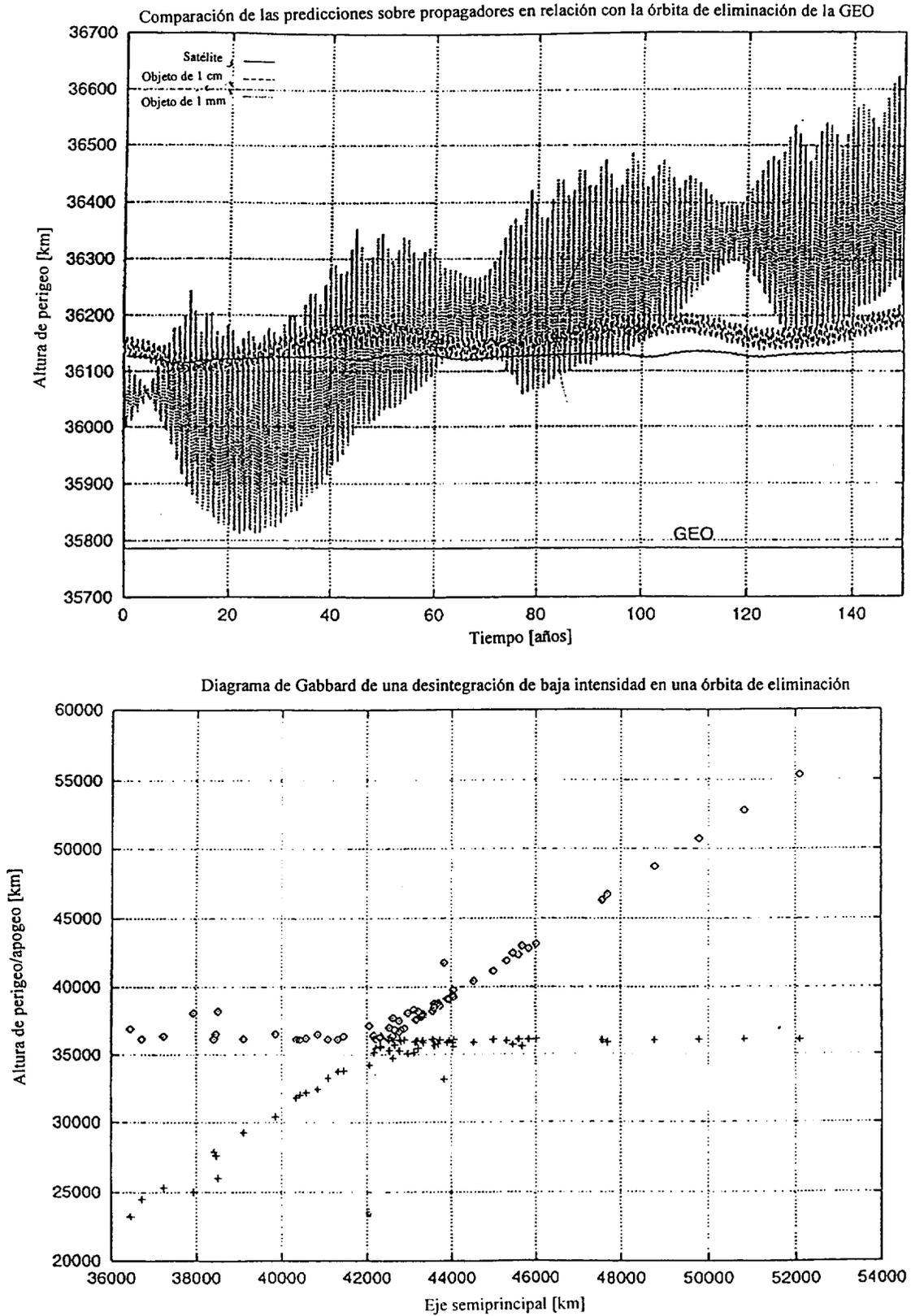
Si bien la órbita de eliminación propiamente tal parece ser relativamente estable, no pueden tenerse en cuenta solamente las perturbaciones de la órbita. Además de la propia órbita geoestacionaria, es necesario mantener un espacio operacional exento de desechos por encima de ella para las maniobras de cambio de dirección durante la fase de puesta en órbita de los satélites. Por otra parte, como en toda consideración técnica, debe aplicarse un margen de seguridad razonable con respecto a la separación mínima derivada de las citadas condiciones básicas.

En este contexto, la separación propuesta de 30 km, al menos para los satélites intactos, parece ser una buena solución de avenencia entre las necesidades de seguridad y de economía.

3. Grandes constelaciones y su impacto en el riesgo de colisión

En relación con la introducción de grandes constelaciones de satélites comerciales en la órbita terrestre baja, se han examinado las consecuencias que puede tener un número tan elevado de satélites para espacio y el entorno de los desechos espaciales. Se ha centrado principalmente la atención en el riesgo de colisión interna en caso de una fragmentación al interior de la constelación, por una parte, y en su contribución a la evolución global de los desechos, por otra.

Figura 2: Variaciones de la órbita debidas a perturbaciones (diagrama superior) y órbitas de los fragmentos resultantes de una colisión de baja intensidad en la órbita de eliminación de la GEO (diagrama inferior)



Los estudios realizados en el IFR indican que el primero de estos dos problemas parece ser insignificante. Desde luego, los miembros de una constelación funcionan en la misma banda de altura, a menudo en planos múltiples de órbitas casi polares en fases de ascensión recta y con intersección en declinaciones elevadas. No obstante, una colisión de los miembros de una constelación entre sí se considera extremadamente improbable gracias a la vigilancia activa de los satélites por las estaciones terrestres durante su vida útil, así como a las estrategias de abandono de órbita previstas una vez agotado su ciclo operacional. Incluso en caso de fragmentación de uno de los miembros como resultado de una colisión con un objeto de la población ambiente de desechos, el flujo adicional impuesto por esta nube de fragmentación a los demás satélites de la constelación se sitúa a varios niveles de magnitud por debajo del flujo de fondo³.

El segundo problema, a saber, el efecto de las constelaciones en la evolución general de los desechos, es mucho más grave. Las futuras constelaciones previstas comprenden hasta varios cientos de satélites, por lo que contribuirán a aumentar considerablemente a la población existente en órbita dentro de su régimen de altitud. Además, la mayoría de estas constelaciones funcionarán a una altura de 700 a 1.400 km, que ya es la zona de mayor densidad de objetos. Por consiguiente, el riesgo de una colisión seguida de la total desintegración del objeto impactado aumenta comparativamente.

Un medio de minimizar el número de colisiones efectivas en un entorno en que existe un riesgo considerable de tales ocurrencias consiste en reducir el producto global área-tiempo. En el caso de nuevos lanzamientos de satélites, como los relacionados con las constelaciones previstas en la órbita terrestre baja, se aumenta el área y se deja únicamente el tiempo de permanencia en órbita como parámetro ajustable. La mayoría de las empresas que tienen prevista la explotación de tales constelaciones han acordado incluir en su concepto sistémico un procedimiento de abandono de órbita al final del ciclo operacional de los satélites. Pero incluso en el caso ideal de que cada satélite lanzado pueda abandonar la órbita una vez agotada su vida útil, el riesgo de colisión se ve aumentado apreciablemente por el número cada vez mayor de satélites operacionales que se suman a la población ambiente. Las simulaciones realizadas utilizando programas informáticos de proyección a largo plazo confirman estos resultados y predicen un aumento más rápido de la densidad de objetos pequeños en el contexto de las constelaciones.

4. Nuevas características del MASTER 1997 (Modelo de Referencia Terrestre de Meteoroides y Desechos Espaciales)

La diferencia más evidente en comparación con la versión preliminar es la incorporación de uno de los modelos de meteoroides más sofisticados actualmente disponibles en el conjunto de programas informáticos del MASTER aplicando la teoría de Divine y Staubach. Actualmente la gama de aplicaciones que ofrece el conjunto MASTER permite no sólo evaluar los flujos de desechos artificiales consistentes en objetos de hasta 0,1 mm respecto de un determinado satélite, como hasta la fecha, sino además determinar el flujo ambiente de los meteoroides naturales⁴.

Debido a las masas generalmente inferiores de meteoroides naturales, el umbral de masa interna para esta fuente se redujo a 10^{-13} kg ($d = 4.243$ a 10^{-6} m). De las cinco clases de meteoroides según Staubach, el MASTER sólo se ha aplicado a las poblaciones de núcleo, asteroidal y A, pues las contribuciones de las poblaciones B y C son insignificantes dentro de un régimen de masa superior a 10^{-13} kg.

Además, la población de referencia del componente de desechos del MASTER se ha actualizado al 31 de marzo de 1996.

5. El Manual sobre mitigación de los desechos espaciales de la ESA

El Manual tiene por objeto proporcionar información técnica acerca de la situación de los desechos espaciales, así como orientación sobre formas de evitar los desechos espaciales al diseñar los vehículos espaciales y planificar las misiones en el futuro. Cabe esperar que el Manual sea de utilidad para la ESA y la industria europea en estas esferas, así como para la planificación de las investigaciones espaciales⁵.

Figura 3: Principales capítulos del Manual

Esbozo del Manual sobre mitigación de los desechos -Revisado al 18 de septiembre de 1997

1. Definición de términos, abreviaturas
2. Definición el ámbito de las directrices de la ESA sobre mitigación de los desechos
3. El actual entorno de los desechos espaciales y los meteoroides
4. Evaluación del riesgo de impacto y flujos de colisiones
5. El futuro entorno de los desechos espaciales
6. Medidas de mitigación
7. Transición a estado pasivo de vehículos espaciales y lanzadores al final de su ciclo de vida operacional
8. Abandono de órbita y reingreso de vehículos espaciales y etapas superiores
9. Prevención de colisiones en órbita (respecto de la órbita terrestre baja)
10. Tecnología de protección en órbita
11. Conclusión

El Manual no es de carácter reglamentario propiamente tal. Sin embargo, si se introdujesen reglamentaciones en Europa con arreglo a otros instrumentos, podría hacerse referencia a los párrafos pertinentes del Manual. Un enfoque de esta índole, que ya se ha comenzado a aplicar, es la formulación del documento de Cooperación Europea para la Normalización Espacial (ECSS), que contiene algunos párrafos iniciales sobre los desechos espaciales y más adelante podría incluir una referencia al Manual.

El Manual puede imprimirse utilizando el programa informático correspondiente. El programa informático contiene el texto, así como todo el material gráfico como diagramas, esbozos y cuadros. El Manual puede actualizarse fácilmente modificando los parámetros del programa informático en función de los cambios en la tecnología y el entorno. El soporte lógico utiliza un conjunto de códigos informatizados, como MASTER, CHAINEE, etc., para producir los gráficos del Manual (o sus actualizaciones) mediante una función de edición automática. Está prevista una edición en forma de carpeta con hojas sueltas para que todos los usuarios puedan actualizar sus ejemplares.

B. Observaciones por radar de los desechos espaciales y meteoroides

El Radar de Seguimiento y Elaboración de Imágenes (TIRA) del FGAN-FHP se utiliza principalmente para investigar métodos y técnicas de clasificación e identificación de vehículos espaciales y aeronaves. Hasta cierto punto, el TIRA se utiliza también para obtener datos de radar sobre los desechos espaciales y los meteoroides^{6,7,8}. A tal fin se han concebido tres funciones principales: una función de seguimiento o rastreo para

medir determinados objetos en órbitas terrestres bajas, órbitas geosincrónicas y órbitas geoestacionarias de transferencia; en segundo lugar, una modalidad de haz fijo, cuya finalidad es reunir datos sobre la densidad de la población de objetos espaciales de origen humano en volúmenes espaciales definidos; y en tercer lugar, una modalidad de haz fijo con compensación por la rotación de la Tierra, que sirve para obtener información sobre el influjo de meteoroides cuando se produzcan corrientes importantes de meteoros.

El TIRA consiste en un radar rastreador de banda estrecha y en un radar de elaboración de imágenes de alta resolución. Ambos se apoyan en una antena parabólica de 34 m. Se han elaborado métodos y algoritmos para analizar las firmas de radar de banda estrecha, calcular las imágenes de radar a partir de los datos de radar de alta resolución y estimar las propiedades físicas de los desechos espaciales, como su tamaño, forma, dimensiones, movimiento intrínseco, masa, órbita y duración en órbita. Estos métodos y técnicas se mejoran y refinan continuamente para que puedan aplicarse a los desechos espaciales de tamaño mediano (de 1 a 50 cm) y a los meteoroides.

En 1997, las actividades relacionadas con los desechos espaciales y los meteoroides en el FGAN-FHP se realizaron principalmente en el contexto de tres contratos de estudio de la ESA/ESOC:

- a) Técnicas de radar avanzadas para la observación de los desechos espaciales (febrero de 1995 a septiembre de 1998)
- b) Rastreo de desechos en régimen de cooperación (abril de 1997 a julio de 1998)
- c) Elaboración de algoritmos para la detección de desechos de tamaño mediano por radar (abril de 1997 a julio de 1999).

Los principales objetivos de estas actividades son los siguientes:

- a) Investigación de técnicas mejoradas de observación de los desechos y de reunión de datos;
- b) Elaboración y aplicación de técnicas y algoritmos eficientes y altamente automatizados para la elaboración de datos y la detección y el análisis de los desechos y meteoroides;
- c) Prestación de apoyo al establecimiento de una interfaz única y claramente definida entre los resultados de las mediciones y las predicciones basadas en los modelos.

1. Observaciones por radar y análisis de datos

Una cuidadosa evaluación de la sensibilidad revela que la banda L del radar TIRA actualmente es capaz de detectar esferas de 2 cm a una distancia de 1.000 km utilizando estrategias de detección óptimas y teniendo en cuenta todas las modificaciones y mejoras del equipo y de la elaboración de señales propuestas y aplicadas en el marco de los contratos de estudio de la ESA. En 1996 pudo lograrse un mejoramiento considerable de la capacidad de detección en un experimento con radar biestático en el que se utilizó el radiotelescopio dirigible más grande del mundo (con un diámetro de apertura de 100 m), ubicado en Bad Münstereifel-Effelsberg y administrado por el Max-Planck-Institut de Radioastronomía (MPIfR), como receptor secundario de muy alta sensibilidad⁹.

Los días 25 y 26 de noviembre de 1996 se realizó con éxito el experimento COBEAM-1/96, que arrojó unos 150 gigaoctetos de datos brutos de radar durante 24 horas de observación continua. El umbral del telescopio se fijó en 9 mm a una distancia de 1.000 km. El análisis de los datos resultantes del experimento

COBEAM finalizó en septiembre de 1997¹⁰. En la mayoría de los aspectos, los resultados concuerdan razonablemente con los obtenidos con otros sensores (por ejemplo, el radar Haystack) y con las predicciones basadas en modelos. Se asignó especial atención a las subpoblaciones del entorno de desechos que hasta la fecha no se habían tomado debidamente en cuenta en los modelos del entorno: las gotas de NaK (supuestamente gotas de refrigerante procedentes de reactores de satélites RORSAT alimentados por energía nuclear) y la familia de desechos derivada de la desintegración de PEGASUS/HAPS en junio de 1996.

Una importante corriente de meteoros del grupo Leónidas prevista en noviembre de 1999, cuyo flujo de fondo se verá multiplicado, según predicciones de la NASA, por un factor de 10.000 a 30.000, puede causar daños a los satélites operacionales. Sobre la base de la experiencia adquirida en las observaciones del grupo Leónidas realizadas en 1996, se planificó y llevó a cabo una serie de observaciones por radar de cuatro días de duración para la máxima anual proyectada alrededor del 17 de noviembre de 1997. Los datos reunidos se utilizarán para mejorar el montaje de los experimentos y apoyar la formulación de algoritmos a fin de estimar el influjo de meteoroides.

2. Comparación de las mediciones de radar con las predicciones basadas en los modelos

A fin de que los datos relativos a las mediciones de los desechos sean útiles para la validación del modelo MASTER de la ESA, se han entablado deliberaciones con miras a definir y aplicar una interfaz única entre los modelos y las mediciones. Durante una reunión de trabajo conjunta entre la ESA/ESOC, la Universidad Técnica de Braunschweig, eta _ max space GmbH y el FGAN se llegó a la conclusión de que era necesario elaborar una extensión apropiada del MASTER para abordar este problema, en cooperación con expertos en modelos y sensores.

3. Observaciones de radar y análisis de satélites averiados

En casos de fenómenos inesperados, por ejemplo colisiones de desechos de un satélite operacional u otras averías, se ha utilizado el TIRA para apoyar el análisis del problema. En el marco de los contratos de estudio se realizaron observaciones con el radar de elaboración de imágenes de la banda L y la banda Ku y los resultados de esos análisis se utilizaron para ayudar a determinar las causas y el grado de daño. Por ejemplo, en 1997 se apoyaron observaciones y análisis del CERISE (dañado a raíz de una colisión con un desecho de una etapa superior del Ariane), del ADEOS (panel solar destruido por fatiga mecánica), y del SPOT-3 (pérdida de potencia debida a una rotación incontrolable).

4. Predicciones relativas al reingreso de objetos espaciales de alto riesgo

El objetivo de esta actividad es facilitar al Ministro Federal del Interior predicciones fidedignas de las probabilidades de reingreso en la atmósfera de objetos espaciales de alto riesgo (momento y trazo en el suelo), estimaciones del comportamiento del objeto y evaluaciones de los riesgos durante el reingreso. En el marco de diversos acuerdos de cooperación, el FGAN-FHP proporciona a la ESA/ESOC datos de radar rastreador de objetos espaciales de alto riesgo a fin de apoyar las predicciones europeas de reingreso de tales objetos en la atmósfera. A fin de ensayar los procedimientos y algoritmos existentes, en septiembre de 1997 se vigiló el reingreso del satélite LEWIS (Estados Unidos de América) mediante el radar TIRA.

C. Otras actividades de investigación

Se han realizado otras actividades en la esfera de la protección contra los meteoroides y desechos. Prosiguen las investigaciones iniciadas en años anteriores en el Ernst-Mach-Institut (EMI). Con arreglo a un contrato de la ESA, el EMI investiga además los efectos de impactos a hipervelocidad en vehículos

presionizados, especialmente para su aplicación a satélites. Otras investigaciones del EMI se llevan a cabo con arreglo a subcontratos de programas de la ESA: para la misión Cassini/Huygens se han realizado ensayos a fin de simular los efectos de los impactos de desechos en el sistema de protección térmica; y para el elemento europeo COF de la Estación Espacial Internacional se han realizado ensayos de impacto a hipervelocidad en las muestras del material de blindaje para la protección de las partes altamente expuestas contra posibles impactos.

En meses recientes se ha iniciado un estudio con financiación nacional en el EMI a fin de simular los efectos de degradación en las superficies ópticas de las terminales ópticas de satélites de comunicaciones.

Notas

- ¹ K.U. Schrogl, “Segunda Conferencia Europea sobre Desechos Espaciales”, en **Space Policy**, Nº 3 (1997), pág. 265.
- ² C. Wiedmann y P. Wegener, “*Internal report on new space debris sources; RORSAT droplet generation*” (IFR/TUBS, 1997) inédito.
- ³ S. Theil, “*Vergleich der Ausfallwahrscheinlichkeit unterschiedlicher Satellitenkonstellationen zu Navigationszwecken durch deterministische Untersuchung des Kollisionsrisikos*”, tesis de diploma, (IFR/TUBS, 1996) inédito, en alemán únicamente.
- ⁴ “*MASTER Software User Manual*”, documentación postinscrite distribuida junto con el programa informático MASTER, disponible por conducto de la ESOC, Darmstadt (Alemania).
- ⁵ D. Rex, H. Klinkrad y J. Bendisch, “*The ESA Space Debris Mitigation Handbook*”, en “**Proceedings of the Second European Conference on Space Debris**”, Darmstadt (Alemania), 17 a 19 de marzo de 1997 (ESA SP-393).
- ⁶ K. Magura y D. Mehrholz, “*Measurement and analysis techniques for satellite observations used at FGAN-FHP*”. FGAN-FHP, **Informe técnico 8-93** (WachtbergWerthoven, diciembre de 1993).
- ⁷ L. Leushacke *et al.*, “*Radar detection of mid-size space debris*”. Informe final Nº 6-94, contrato ESA/ESOC Nº 10182/92/D/IM (Wachtberg-Werthoven, FGAN-FHP, noviembre de 1994).
- ⁸ L. Leushacke y D. Mehrholz, “*Determination of physical characteristics of space debris*”. Informe final Nº 6-95, contrato DARA Nº 50 ST 9003 (Wachtberg-Werthoven, FGAN-FHP, julio de 1995).
- ⁹ L. Leushacke, “*First FGAN/MPIfR Cooperative Debris Observation Campaign: Experiment outline and first results*”, “**Proceedings of the Second European Conference on Space Debris**”, Darmstadt (Alemania) 17 a 19 de marzo de 1997 (ESA SP-393).
- ¹⁰ L. Leushacke, “*Mid-size space debris measurement with the TIRA system*”. “**Proceedings of the Forty-eighth International Congress**” Turín, 1997.