



Asamblea General

Distr. GENERAL

A/AC.105/619
21 de noviembre de 1995

ESPAÑOL
Original: ESPAÑOL/INGLÉS

COMISIÓN SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL ESPACIO
ULTRATERRESTRE CON FINES PACÍFICOS

INVESTIGACIONES NACIONALES SOBRE LA CUESTIÓN DE LOS DESECHOS ESPACIALES

SEGURIDAD DE LOS SATÉLITES NUCLEARES

PROBLEMAS DE LA COLISIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA NUCLEAR CON LOS DESECHOS ESPACIALES

Nota de la Secretaría

ÍNDICE

	<i>Párrafos</i>	<i>Página</i>
INTRODUCCIÓN	1 - 4	2
RESPUESTAS RECIBIDAS DE LOS ESTADOS MIEMBROS		3
Canadá		3
Chile		4
Japón		4
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte		12

Traducción de un texto que no ha sido revisado a fondo por los servicios de edición.

INTRODUCCIÓN

1. En el párrafo 32 de su resolución 49/34 de 9 de diciembre de 1994, la Asamblea General consideró que era indispensable que los Estados Miembros prestaran más atención al problema de las colisiones de objetos espaciales, incluidas las fuentes de energía nuclear, con desechos espaciales, así como a otros aspectos de la cuestión de esos desechos, y pidió que continuaran las investigaciones nacionales sobre la cuestión, se mejorase la tecnología para la vigilancia de los desechos espaciales y se recopilara y difundiera información sobre desechos espaciales. La Asamblea observó que, en la medida de lo posible, se informara al respecto a la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos.
2. En el párrafo 17 de esa resolución, la Asamblea General invitó a los Estados Miembros a que informaran periódicamente al Secretario General acerca de las investigaciones realizadas en los planos nacional e internacional sobre la seguridad de los satélites propulsados por energía nuclear.
3. El Secretario General dirigió a todos los Estados Miembros una nota verbal de fecha 4 de agosto de 1995 en la que les invitó a presentar a la Secretaría, a más tardar el 31 de octubre de 1995, la información solicitada para que la Secretaría pudiera preparar un informe con esta información a fin de transmitirlo a la Subcomisión en su 33º período de sesiones.
4. La Secretaría preparó el presente documento sobre la base de la información recibida de los Estados Miembros al 31 de octubre de 1995. La información recibida con posterioridad a esa fecha se incluirá en adiciones al presente documento.

RESPUESTAS RECIBIDAS DE LOS ESTADOS MIEMBROS

Canadá

[Original: inglés]

El Organismo Espacial del Canadá se complace en presentar la siguiente información acerca de la adquisición e interpretación de datos relativos a las características del entorno de los desechos espaciales y a las técnicas de mitigación:

- MELEO: Esta prueba de exposición de materiales en órbita terrestre baja fue un experimento activo realizado a bordo del transbordador espacial "Shuttle" en la misión STS-52, en octubre de 1992. El experimento tuvo principalmente por objeto medir el efecto del entorno en muestras de materiales (313 en total) colocadas en el CANADARM (brazo robótico canadiense del transbordador espacial de los Estados Unidos) y expuestas en la dirección de la presión dinámica por un total de aproximadamente 30 horas durante la misión. El experimento también incluyó dos microbalanzas de cristal de cuarzo activo habilitadas para funcionar en sentido inverso a fin de medir la fluencia del oxígeno atómico durante la exposición. El experimento fue preparado conjuntamente por una serie de investigadores, varios de los cuales incluyeron en él materiales destinados a captar pequeñas partículas de desechos orbitales y micrometeoritos. Durante la misión se utilizó un motor de cohete de combustible sólido para poner en órbita alta un satélite lanzado desde el transbordador espacial. Tal circunstancia fue la que proporcionó la mayoría de los datos sobre desechos orbitales obtenidos durante la misión. Aunque las muestras de materiales estaban protegidas en el momento del lanzamiento, muchas de esas muestras devueltas a la Tierra para su evaluación habían sido impactadas por un gran número de partículas pequeñas. El tamaño estimado de las partículas estuvo en concordancia con el efluente previsto del cohete de combustible sólido aunque no se esperaba que la nube de desechos fuera tan persistente. Gracias a este experimento se obtuvieron datos sobre los desechos orbitales causados por la combustión de un motor de cohete de combustible sólido.
- ACOMEX: Este experimento avanzado de exposición de materiales compuestos se realizó también a bordo del transbordador espacial "Shuttle", en la misión STS-41G efectuada en octubre de 1994. Su finalidad fue reunir datos sobre la degradación de los materiales compuestos en una órbita terrestre baja. Consistió en una serie de muestras de materiales colocadas en el CANADARM, el cual se situó en la dirección de la presión dinámica durante aproximadamente 40 horas en el curso de la misión. Si bien este experimento no tenía por objeto medir los desechos orbitales, al examinar las muestras devueltas a la Tierra una vez terminada la misión, se observaron algunos fenómenos que se consideraron causados probablemente por impactos espaciales. Aunque no se obtuvieron datos detallados, este experimento contribuyó al diseño del experimento MELEO antes mencionado.
- LDEF: Uno de los experimentos realizados a bordo de este laboratorio para exposiciones de larga duración fue preparado por investigadores canadienses de la Universidad de Toronto. Existen muchas publicaciones sobre los resultados aportados por la nave espacial LDEF, entre ellos los obtenidos gracias a este experimento canadiense. Tras su regreso a la Tierra, el experimento se examinó a fondo para detectar los puntos de impacto. Se reconocieron claramente más de 70 puntos de impacto. Además, los datos proporcionados por la nave espacial en su conjunto, de los cuales se informó por conducto del Grupo especial de investigaciones sobre los desechos orbitales, se analizaron y presentaron en forma de un monograma de ingeniería que podía utilizarse para el diseño de naves espaciales. Por otra parte, se han llevado a cabo ensayos en tierra para establecer correlaciones entre la amplitud y el tipo de los daños sufridos por las muestras y el tamaño y la velocidad probables de las partículas.

- El Instituto de Ciencias Espaciales y Terrestres (ISTS) y la Universidad de Ontario occidental están estudiando el potencial de observación de desechos espaciales, que ofrecen telescopios de gran diámetro, no dirigibles, instalados en tierra y basados en el sistema de espejo líquido desarrollado en la Universidad de Laval.
- La entidad MBT Technologies de Pointe-Claire (Quebec) está realizando un estudio sobre posibles sensores electroópticos y de rayos infrarrojos para la vigilancia del espacio, en particular sobre sensores y sistemas situados en el espacio; el interés se centra en la aplicación de tecnología basada en el radar de ondas milimétricas para la observación, seguimiento e identificación de desechos.
- Basándose en los datos sobre impactos registrados por el LDEF, el Instituto de Estudios Aeroespaciales de la Universidad de Toronto (UTIAS) elabora monogramas de diseño para predecir el número de impactos en una nave espacial en función de la altura, inclinación, tiempo en órbita y orientación.
- El Instituto de Estudios Aeroespaciales de la Universidad de Toronto (UTIAS) está desarrollando tecnologías protectoras para mitigar los daños causados por desechos orbitales. Asimismo trabaja en la preparación de experimentos en vuelo que se realizarán en el exterior de las estaciones espaciales.
- El Departamento de Física de la Universidad de Columbia Británica realiza investigaciones sobre el comportamiento fundamental de la materia a densidad energética elevada; las investigaciones han contribuido a la comprensión de los fenómenos de impacto que ocurren a hipervelocidades; el cañón de gas ligero, de dos fases, ha funcionado a 4 km/s, podría funcionar a un máximo de 6 km/s y, con modificaciones, su velocidad potencial es de 8 km/s; a causa de restricciones presupuestarias, no se prevén más ensayos en gran escala en un futuro próximo.

Chile

[Original: español]

Chile informa que no realiza investigaciones en materia de desechos espaciales ni cuenta con satélites que funcionen con energía nuclear. En tal sentido no se estudian tampoco las eventuales colisiones entre desechos espaciales y satélites que operan con energía nuclear.

Japón

[Original: inglés]

ACTIVIDADES RECIENTES SOBRE DESECHOS ESPACIALES REALIZADAS EN EL JAPÓN

Los desechos espaciales son por su naturaleza un problema mundial que han de resolver en cooperación todas las naciones activas en la navegación del espacio, a fin de preservar la seguridad del entorno para las actividades futuras. Una de las primeras advertencias mundiales en este sentido fue la lanzada en el Japón, en 1971, por M. Nagatomo y sus colegas del Instituto de Ciencias Espaciales y Astronáuticas (ISAS). Desde entonces diversas organizaciones han realizado investigaciones independientes sobre este tema en el Japón. Sin embargo no se realizaron actividades sistemáticas u organizadas hasta 1990, año en que la Sociedad de Ciencias Aeronáuticas y Espaciales del Japón (JSASS) fundó el Grupo de estudio sobre los desechos espaciales. Este Grupo, formado por más de 30 miembros procedentes de organizaciones e industrias relacionadas con el espacio, publicó un informe provisional en enero de 1992 y un informe final en marzo de 1993². Los dos grupos de estudio creados recientemente por la JRASS han seguido algunas de las recomendaciones formuladas en el informe. Como resultado de la constante labor de estos grupos de estudio, las organizaciones y organismos japoneses relacionados con el espacio han

reconocido que los peligros derivados de los desechos espaciales ya no son un problema abstracto, sino una amenaza real y grave para las actividades en el espacio, tanto con tripulantes como sin ellos. La Comisión de Actividades Espaciales (SAC) del Gobierno japonés ha formulado la política nacional en cuestión de desechos espaciales en el informe sobre el panorama espacial del Japón a largo plazo que publicó en julio de 1994³, en el que se dice que el Japón procurará desarrollar sistemas que dejen la menor cantidad posible de desechos espaciales, y que en cuanto a los desechos ya existentes, cooperará con otros países para estudiar formas de reducirlos. El Organismo Nacional de Aprovechamiento del Espacio del Japón (NASDA), que es el encargado de dar aplicación práctica en el país a las innovaciones en el ámbito espacial, creó en agosto de 1993 un grupo de trabajo propio cuyo cometido es estudiar los problemas relativos a los desechos espaciales y establecer la política del NASDA así como normas de mitigación y protección contra los desechos.

En el presente artículo se exponen brevemente las actividades realizadas recientemente en el Japón, así como las programadas, en materia de desechos espaciales.

I. MEDICIÓN DE DESECHOS ESPACIALES

A. Observación óptica

El Laboratorio de Investigación sobre Comunicaciones (CRL) realiza observaciones ópticas de objetos geoestacionarios con un sistema ubicado en Koganei, Tokio (35,42°N, 139,29°E). Este consta de un telescopio de 1,5 m de apertura, una cámara CCD refrigerada por efecto Peltier con un chip de 1242 x 1152 pixeles, una computadora para el procesamiento de imágenes y otros equipos científicos y de comunicaciones. El sistema se construyó inicialmente como estación terrestre fija para experimentos de comunicación espacial utilizando un satélite geoestacionario. Con este sistema de observación óptica es teóricamente posible observar objetos de incluso 20 cm a una altura geoestacionaria. Por consiguiente se prevé que contribuya a un proyecto internacional de cooperación para medir la población de desechos en órbita geoestacionaria y en torno a ella.

Como estudio en colaboración con el NASDA, el Observatorio Astronómico Nacional del Japón (NAO) realiza desde 1992 observaciones de los satélites geoestacionarios, usando los telescopios Schmit del Centro Espacial Kagoshima (KSC) del ISAS (31,13°N, 131,04°E) y el Observatorio Kiso de la Universidad de Tokio (35,48°N, 137,38°E). Se ha comprobado también que es prometedor el empleo de otros telescopios en el Japón. Sin embargo, para observaciones más detalladas y duraderas, será preciso un sistema de observación de desechos concebido expresamente para tal función. En julio de 1995 la JSASS y el NASDA iniciarán estudios preliminares conjuntos sobre un satélite geoestacionario destinado a detectar desechos espaciales en órbita geoestacionaria.

B. Observación por radar

En el ISAS, T. Takano y su grupo estudian un sistema de radar biestático para la observación de desechos espaciales. Han logrado demostrar la validez de este sistema en el experimento de observación de "Yokoh", satélite científico de 420 kg en órbita circular a 600 km de altura y con una inclinación de 31,3°. En el experimento utilizaron como estación transmisora la antena de 20 m de diámetro del KSC y, como estación receptora, la antena de 64 m de diámetro del Centro Usuda de Investigaciones sobre el Espacio Interestelar (UDSC) del ISAS (36,13°N, 138,37°E). La distancia entre las dos estaciones es de alrededor de 1 000 km. Gracias a la moderna tecnología de comunicaciones se detectan objetos de hasta 2 cm a 500 km de altitud.

Un grupo del ISAS, dirigido por T. Yokota, realiza investigaciones sobre un sistema a base de láser y radar para detectar desechos espaciales. El sistema consta de un láser de Nd:Yag, un extensor del haz luminoso, un telescopio, una cámara CCD, un fotomultiplicador y una computadora. Se estima que es capaz de detectar una partícula de 1 mm de diámetro a una distancia de 1 km. Por lo tanto puede utilizarse como sistema de abordaje para la observación y detección de desechos pequeños y la realización de maniobras para evitar colisiones. Dicho grupo de investigadores ha construido un modelo para el desarrollo tecnológico del sistema y está haciendo pruebas de su

funcionamiento básico.

El radar es el medio más eficaz para observar desechos, en órbita terrestre baja, de "tamaño amenazante", que son los fragmentos de dimensiones mayores que 1 cm, aproximadamente. Todas las bases de datos y estadísticas existentes sobre este tipo de desechos, incluso el famoso catálogo USSPACECOM, se fundan en gran medida en observaciones hechas con diversos radares. Suelen contener un elemento importante, el tamaño, que se determina en función de la intensidad del eco recibido. Al evaluar los efectos de una colisión de desechos con una capa de blindaje, por ejemplo, es corriente interpretarlo como el diámetro de una esfera.

Sin embargo ello supone una sobrevaloración, como han demostrado estudios estadísticos de comparación del tamaño estimado por medio de radares con el calculado a partir del área física proyectada, determinada en función de la degradación de la órbita debida a la resistencia atmosférica.

El tamaño del objetivo se computa a partir del área de eco (RCS), que se define como el área de un dispersor isótropo cuya potencia de eco es la misma que la del objetivo dado. Desde luego coincide con la sección transversal física cuando se trata de esferas metálicas grandes, pero suele ser muy diferente en el caso de objetos de forma irregular, especialmente cuando se observan en una banda de alta frecuencia. Por ejemplo, un trozo de alambre delgado puede ser erróneamente interpretado como una bala de cañón.

En el caso de los objetos menores que la longitud de onda del radar, RCS es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda (o a la cuarta potencia de la frecuencia). Por ello, la mayoría de los radares utilizados para observar desechos espaciales funcionan con una frecuencia de 5 a 10 GHz, o incluso mayor, a fin de conseguir una gran sensibilidad a los desechos de pequeño tamaño. A una frecuencia tan alta, el valor de RCS varía radicalmente al cambiar la orientación del objetivo con respecto al radar. Entonces es difícil estimar el área de eco real a partir del valor RCS observado.

En cambio, a frecuencias bajas, la relación entre la sección transversal física y RCS se hace mucho más simple, aunque hay que pagar un alto precio por la reducción de la sensibilidad en el caso de los objetivos pequeños.

El radar MU (para la atmósfera media y superior) de la Universidad de Kyoto es un poderoso sistema VHF que funciona a 46,5 MHz; su potencia de salida de 1 MW y antena de 100 m compensan la reducción de la sensibilidad a esa frecuencia. Su sensibilidad es aproximadamente igual a la de los radares utilizados para el mantenimiento del catálogo USSPACECOM³.

El principal objetivo de este radar es la atmósfera terrestre, o dicho con más precisión, la retrodispersión débil resultante de las irregularidades del índice de refracción del aire causadas por la turbulencia atmosférica. Dada la debilidad de este eco, los científicos tropezaron con la molestia de la contaminación por ecos fuertes "indeseables" procedentes de objetos diversos tales como desechos espaciales. Decidieron hacer uso de estos ecos, que antes se descartaban, y emprender un estudio estadístico de los desechos espaciales en 1988.

La antena del radar MU se compone de 475 antenas Yagi que forman un sistema múltiple activo con mando de fase. La ventaja de este tipo de antena es que puede observar direcciones diferentes casi de manera simultánea conmutando electrónicamente los haces de las antenas múltiples. La figura 1 muestra un ejemplo de observación de desechos con ocho haces de antena conmutados secuencialmente de un impulso a otro en torno al cenit⁴. El objetivo, que resultó ser el cohete propulsor de Cosmos 1023, atravesó estos haces y la variación de RCS se siguió durante unos 20 s. También es posible determinar *grosso modo* la órbita del objetivo a partir de una sola observación. Los radares convencionales de gran antena parabólica no pueden observar continuamente un objeto orbital durante más de una fracción de segundo a menos que la órbita se conozca por anticipado.

La amplia y uniforme variación de RCS con respecto al tiempo (mostrada en la parte inferior derecha de la figura 1) indica la rotación del propulsor. El valor máximo concuerda aproximadamente con su sección transversal física máxima.

La manera más directa de "ver" la forma de un objetivo por medio del radar es hacer que el haz de antena tenga una definición tal que le permita resolver el objetivo. Pero no es factible obtener una resolución de 1 m a una distancia de 100 km porque el diámetro de antena necesario es del orden de 10 km. Una técnica más racional es aprovechar la rotación del objetivo. La idea estriba en resolver una parte diferente de un objetivo que se mueve a velocidad diferente con respecto al radar midiendo los espectros de velocidades basados en el efecto Doppler. Este método se denomina ISAR (Radar con apertura sintética inversa) o RDI (telemetría-interferometría por efecto Doppler) y se utiliza ampliamente en los radares para usos militares así como en los destinados a fines astronómicos. Se ha aplicado ya a los desechos espaciales utilizando el radar alemán FGAN, que reveló una imagen clara de un complejo Saliut-Cosmos. Por ahora la resolución se limita a aproximadamente 1 m por lo que no puede usarse para determinar la forma de pequeños objetivos de 1 a 10 cm de tamaño, que es lo que más interesa.

Figura 1. Movimiento angular (parte izquierda), variación de la altura (parte superior derecha) y variación de RCS (parte inferior derecha) del propulsor de Cosmos-0123 observado por el radar MU. Los círculos de la parte izquierda indican el campo abarcado por los haces de antena.

***** FIGURA *****

Como muestra la figura, se obtiene cierta información estadística sobre la forma de los desechos espaciales comparando la sección transversal física, estimada en función de la resistencia atmosférica, con el área de eco. La principal limitación de esta técnica es que hay que observar el mismo objeto durante mucho tiempo para detectar la degradación de la órbita.

Los resultados de las observaciones con radar MU efectuadas en el Japón ofrecen una información análoga. Simulaciones numéricas muestran que la magnitud de la variación de RCS puede interpretarse en función del alargamiento del objeto. Puesto que una sola observación da la variación vista desde una dirección determinada, es necesario interpretar gran número de observaciones con un planteamiento estadístico. El resultado de ese análisis indica que el volumen de los desechos relativamente pequeños observados con el radar MU es menor que la mitad de la esfera que tiene la misma RCS.

Para evaluar el tamaño real de los desechos espaciales hay que obtener información sobre su forma. Aunque la máxima prioridad en el diseño de un futuro radar para desechos es que tenga una sensibilidad adecuada para detectar objetos de 1 a 10 cm, también debiera ser capaz de seguir continuamente un objeto desconocido durante al menos 10 s, lo cual es necesario para realizar el análisis ISAR (RDI) y/o el análisis estadístico ilustrados más arriba. El sistema de antenas múltiples con mando de fase es el elemento esencial para conseguir esa capacidad.

C. Medición de impactos

Basándose en los intensivos trabajos que ha realizado a lo largo de un año, el Grupo de estudios sobre la detección de impactos de desechos espaciales y micrometeoritos, dependiente de la JSASS, ha propuesto el análisis post-vuelo del vehículo espacial de vuelo libre (SFU) al Instituto del Experimento de Vuelo Libre Espacial no Tripulado (USEF).

SFU es una plataforma no tripulada, estabilizada sobre los tres ejes y orientada al Sol. Fue puesta en órbita el 15 de marzo de 1995 por el cohete H-II, en su tercer lanzamiento, y está prevista su recuperación por el transbordador "Shuttle" STS-72 en enero de 1996. Permanecerá en órbita circular a una altura de 300-500 km, con una inclinación de 28,5°, y será la primera estructura espacial japonesa que se devolverá a la Tierra. El área total de las superficies expuestas de SFU mide aproximadamente 150 m² y se ha previsto que el análisis post-vuelo tenga por objeto las cuatro grandes superficies principales:

- El aislamiento en capas múltiples del compartimiento de carga útil, una estructura octogonal de 4,46 m de diámetro y 1,40 m de altura;
- La instalación expuesta al espacio (EFFU), una estructura en forma de caja cuya superficie superior mide 1,48 m x 1,48 m y lleva una cubierta de teflón revestido de plata para un radiador, así como cuatro placas laterales de 1,05 m de altura cubiertas de kaptón aluminizado MLI;
- Un panel de generadores solares, de 24,4 m de longitud y 2,36 m de anchura; y
- Un sistema bidimensional desplegable de generadores solares de alto voltaje, que cuando está completamente desplegado forma una vela triangular de 3,84 m de altura y 3,62 m de base.

Se espera obtener abundante información por comparación con los datos resultantes del análisis post-vuelo de los generadores solares de LDEF, EURECA y HST.

Se proyecta realizar a bordo del transbordador "Shuttle" una demostración de vuelo del módulo experimental japonés (JFD) como prueba para verificar el sistema manipulador previsto para el módulo experimental japonés (JEM) de la Estación Espacial Internacional Alpha (ISSA). Aprovechando esta oportunidad, el Laboratorio de piezas y materiales del NASDA tiene previsto llevar a cabo el experimento sobre el entorno espacial con materiales (ESEM). Este sistema consta de recolectores de polvo o de desechos espaciales y portamuestras de materiales para

la evaluación del efecto del oxígeno atómico en el espacio. Estos dispositivos se colocarán encima del aparato del experimento JFD en el compartimiento de carga útil del "Shuttle" y se expondrán en la dirección de vuelo del transbordador durante 40 horas. Este programa está previsto para abril de 1997.

II. MITIGACIÓN DE DESECHOS ESPACIALES

Entre los diferentes tipos de objetos orbitales, los más abundantes son los de desechos o fragmentos causados por explosiones. Éstas se originan por estallidos en la etapa superior del cohete, distracciones fortuitas y otros factores desconocidos. La naturaleza de éstos últimos no está muy clara, pero se cree que incluyen las explosiones causadas por los impactos a hipervelocidad. Para evitar una generación accidental apreciable de desechos, el NASDA ha puesto en práctica el vaciado de los propulsores residuales (LOX, LH₂, N₂H₄) y del helio residual de la segunda etapa de los cohetes H-I/H-II. Se evita el desprendimiento de dispositivos mecánicos al efectuarse la separación del satélite y el despliegue del panel solar, salvo en algunas misiones especiales, por ejemplo al separarse el motor de apogeo agotado del satélite meteorológico geostacionario. Para evitar la destrucción involuntaria de la segunda etapa del cohete H-II en el espacio, el sistema de mando del mecanismo destructor se inutiliza inmediatamente después de la entrada en órbita y sus dispositivos pirotécnicos llevan un aislamiento térmico para impedir la iniciación espontánea.

Los objetos presentes en las órbitas de transferencia geostacionaria (GTO) van en aumento y se consideran peligrosos para las actividades espaciales futuras por su prolongada vida en órbita. Se está trabajando para reducir la vida orbital de la segunda etapa del cohete H-II⁸. Por ejemplo, la segunda etapa (1994-056B) del H-II, en su segundo lanzamiento, el 28 de agosto de 1994, fue cambiada de la órbita GTO ETS-VI, con un apogeo de 36.346 km y un perigeo de 251 km a una GTO, con un apogeo de 32.298 km y un perigeo de 150 km, procediendo a una combustión "inactiva" hasta agotar los propulsores residuales. Se observó que, hasta el 31 de marzo de 1995, la segunda etapa se había fragmentado al menos en 6 nuevos objetos los cuales ya han decaído⁹. El NASDA también ha procedido a cambiar de órbita satélites geostacionarios tras el fin de su vida y los ha situado por lo menos 150 km más arriba, siendo la meta 300 km desde 1985.

La JSASS formó en septiembre de 1993, a petición del NASDA, el comité de normas de diseño para la prevención de desechos espaciales. Su principal objetivo es analizar los antecedentes técnicos y preparar un proyecto de "Normas de diseño NASDA para la mitigación de desechos orbitales", que quedará ultimado hacia 1997. El comité está integrado por miembros del Laboratorio Nacional Aeroespacial (NAL), ISAS, NASDA, universidades y principales empresas activas en el ámbito espacial. Se ha realizado un extenso estudio sobre la viabilidad técnica y económica de medidas de mitigación de los desechos espaciales atendiendo en especial:

- A la pasivización de la nave espacial y la etapa superior del cohete;
- Al cambio de órbita GTO de la etapa superior;
- Al cambio de órbita de satélites geostacionarios una vez finalizada su vida;
- A otras medidas viables e importantes como la prevención de desechos de funcionamiento.

El informe correspondiente al año fiscal de 1994 se publicó en marzo de 1995¹⁰.

III. PROTECCIÓN CONTRA DESECHOS ESPACIALES

El NASDA ha estudiado sistemas de protección contra desechos espaciales para el JEM. Se han obtenido datos sobre más de un centenar de impactos experimentales, en la gama de velocidad de hasta 5 km/s utilizando un cañón bifásico de hidrógeno ligero. Los experimentos sobre impactos a hipervelocidad son importantes no sólo para el diseño de los sistemas protectores de estaciones espaciales, sino también para el desarrollo de los conocimientos básicos sobre ese tipo de impactos y la comprensión de los fenómenos de generación y dispersión de desechos. Se ha realizado en el NAL, en colaboración con varias organizaciones, un estudio básico sobre impactos a

hipervelocidad. Se han llevado a cabo experimentos sobre impactos en diversos intervalos de velocidad, a saber, a 2 km/s, aproximadamente, con un cañón monofásico de pólvora en la Universidad de Kyoto, a 4 km/s de velocidad con un cañón bifásico de helio en la Universidad de Tohoku y a 7 km/s, aproximadamente, con un cañón sobre raíles en el ISAS. La muestra objetivo estaba formada por tres placas de aleación de aluminio de 3,5 mm de grosor, que se colocaron con un espaciamiento de unos 60 mm entre ellas. Tras el experimento se observó que las tres placas tenían perforaciones en forma de pétalo y que la perforación de la placa posterior era mayor que la de la placa delantera. Esto pone de manifiesto que las dos placas amortiguadoras colocadas delante de la principal no ofrecieron ninguna protección contra el impacto de desechos de 14 g de masa a una velocidad de 2 km/s. Con el fin de investigar los fenómenos de impacto a una hipervelocidad de hasta 15 km/s, el NAL realiza un estudio en colaboración con Mitsubishi Heavy Industries Limited sobre un sistema de lanzamiento de cargas explosivas modeladas, capaz de acelerar proyectiles de aluminio con una masa del orden de gramos hasta velocidades de más de 10 km/s. También se proyecta una serie de experimentos de explosión para modelizar la rotura de la etapa superior de un cohete.

IV. CONCLUSIONES

La preservación del entorno espacial es indispensable para asegurar actividades espaciales prolongadas y crecientes. Se han formulado hasta ahora diversas propuestas científicas y técnicas, que exigirían, en mayor o menor medida, gastos adicionales y la reducción de la capacidad de los sistemas espaciales. Lo que se necesita es concretar medidas aceptables por su efectividad técnica y su eficacia en relación con el costo. En los problemas relativos a los desechos espaciales las incógnitas más importantes se deben a nuestra ignorancia del entorno exacto de esos desechos. Son precisos los esfuerzos del Japón, en cooperación con otras naciones y organizaciones dedicadas a la navegación espacial, para estudiar la población de desechos, acumular datos firmes para verificar las diversas teorías y propuestas, y evaluar las diferentes medidas y los inconvenientes que conllevan.

Notas

¹ M. Nagatomo, H. Matsuo y K. Uesugi, "Some considerations on utilization control of the near Earth space in future", Proc. 9th ISTS, Tokio, págs. 257 a 263 (1971).

² S. Toda y T. Yasakka, "Space debris studies in Japan", *Adv. Space Res.*, 13, 8, págs. 289 a 298 (1993).

³ *Toward Creation of Space Age in the New Century* (Informe sobre el panorama espacial del Japón a largo plazo) preparado por el Comité Especial encargado del panorama a largo plazo, Comisión de Actividades Espaciales (julio de 1994).

⁴ G.D. Badhwar y P.D. Anz-Meador, "Determination of the area and mass distribution of orbital debris fragments", *Earth, Moon and Planets*, 45, 29-51 (1989).

⁵ T. Sato, H. Kayama, A. Furusawa e I. Kimura, "MU radar measurements of orbital debris", *J. Spacecraft*, 28, 677-682 (1991).

⁶ T. Sato, T. Wakayama, T. Tanaka, K. Ikeda e I. Kimura, "Shape of space debris as estimated from RCS variations", *J. Spacecraft*, 31 665-670 (1994).

⁷ D. Mehrholz, "Radar tracking and observation of noncooperative space objects by reentry of Salyut-7/Kosmos-1686", *Proc. Internat. Workshop on Salyut-7/Kosmos-1686 Reentry*, No. ESA SP-345, págs. 1 a 8 (1991).

⁸ T. Ujino, I. Yamazaki, T. Nakagawa y K. Mori, "Debris prevention plans of the H-II rocket", Proc. 44th IAF, IAF-93-V.5.633, Graz, Austria (octubre de 1993).

⁹ N. Johnson, comunicación particular (abril de 1995).

¹⁰ Report on the Study for Establishment of the Orbital Debris Mitigation Design Standards, Japan Society for Aeronautical and Space Sciences (mayo de 1995).

Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte

[Original: inglés]

En marzo y noviembre de 1995, el Centro Nacional Británico del Espacio (BNSC) continuó sus conversaciones con las agencias espaciales nacionales de Alemania (DARA), Francia (CNES) e Italia (ASI) así como con la Agencia Espacial Europea (ESA) acerca de la armonización de las actividades en cuestión de desechos espaciales. Los temas tratados fueron los objetivos técnicos, las exigencias en el plano operativo, los resultados de los estudios terminados y en curso, la especificación de los estudios futuros, la coordinación de las actividades y la búsqueda de una política común para la mitigación de los desechos espaciales. El BNSC coordinó el acopio y procesamiento de los datos relativos a las actividades y capacidades (herramientas informáticas e instalaciones) de la industria, las instituciones académicas y los centros nacionales de investigación del Reino Unido. Esta información se transmitió a la ESA para unirla a las descripciones de los demás Estados Miembros. La ESA publicará un informe en el que resumirá esta información y lo pondrá a disposición de los Estados Miembros y también de los no Miembros. Estas reuniones de coordinación internacionales brindan también ocasión a la ESA, que actualmente representa a los Estados Miembros en el Grupo Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Orbitales (IADC), de difundir la información intercambiada en las reuniones de este Grupo, el cual celebró en Houston (Texas), en marzo de 1995, su reunión correspondiente a este último año.

La tercera reunión del Grupo de coordinación del Reino Unido en materia de desechos orbitales se celebró en la Universidad de Southampton, en Hampshire (Inglaterra), el viernes 7 de abril de 1995. Ello brindó oportunidad de encontrarse a representantes del BNSC, la Universidad de Southampton, la Universidad de Londres, la Universidad de Kent, SIRA, el Organismo de Investigaciones de Defensa y Arquitecturas de Sistemas Avanzados. Entre los temas analizados cabe señalar la modelización de los riesgos derivados de los desechos a corto y a largo plazo, la detección de desechos óptica y por radar con base en tierra, la medición de microdesechos por análisis de superficies recuperadas, y las iniciativas internacionales en materia de desechos espaciales. La reunión contó una vez más con una nutrida asistencia lo que brindó la oportunidad de difundir más ampliamente información sobre los programas internacionales a nivel de la ESA y el IADC.

En 1995 los grupos investigadores del Reino Unido han preparado una serie de artículos técnicos. En la sección de referencias se indican algunos de estos documentos publicados.

UNISPACE, la Dependencia de Ciencias Espaciales de la Universidad de Kent, continúa a la cabeza de la comunidad europea en el análisis de las superficies de naves espaciales recuperadas de la órbita. El retorno del vehículo de transporte recuperable europeo (EURECA) y de uno de los generadores solares del telescopio espacial Hubble (HST)¹ permitió disponer de una gran área de superficie expuesta para el análisis de los puntos de impacto. Aplicando fórmulas empíricas que relacionan las características materiales de los objetos impactores y las superficies de las naves espaciales, así como la velocidad y la incidencia de dichos objetos en esas superficies con las características de impacto, fue posible, mediante el recuento, medición y análisis químico de los residuos observados en los puntos de impacto, deducir conclusiones sobre el entorno de microdesechos que habían tenido esas naves². Ello permitirá a los técnicos evaluar los modelos actuales de las poblaciones de meteoritos y desechos espaciales y verificar las predicciones de daños a los elementos de los diferentes subsistemas. Estos análisis exigen también algunos ensayos de calibración de impactos para estudiar la reacción de materiales especiales de los generadores a los impactos a hipervelocidad. La mayor área expuesta del satélite EURECA recuperado³ fue la de los generadores solares, que medía 99 m². Se registraron imágenes de alta y baja resolución de los puntos de impacto en dichos generadores, con un total de más de 3.000 puntos de impacto (de tamaño >50 micras). En cada generador había más de 1.000 impactos apreciables a simple vista. El análisis del HST se centró en los puntos de impacto con características morfológicas de más de 1,2 mm, en los 20 m² de área de los generadores. Se registraron en total las características de 704 grandes impactos. En cada caso se midieron la ubicación, los parámetros dimensionales, las características morfológicas y la dirección del impacto. Todas estas imágenes se digitalizaron y almacenaron en discos compactos que pueden obtenerse por conducto de ESA para su análisis más a fondo. El flujo de microdesechos con que se encontró HST⁴ fue de 2 a 8 veces mayor que el encontrado por EURECA⁵. Se ha razonado

que esto demuestra la gran influencia de la densidad atmosférica, que disminuye exponencialmente con la altura y determina la vida orbital de los desechos en forma de partículas. UNISPACE ha investigado también estos efectos⁶ llegando a la conclusión de que, para explicar los elevados flujos encontrados, tiene que haber cerca de las alturas de HST y EURECA una población de partículas de órbita muy excéntrica mayor que la pronosticada por los modelos. Es interesante señalar que la definición de muchos de estos modelos se funda en la población observable de desechos grandes. UNISPACE ha descubierto también la existencia de diferencias discretas de tamaño y dirección de impacto de las poblaciones de partículas⁷, lo que permite distinguir entre desechos artificiales y meteoritos naturales. El experimento de celdas de captura con banda de tiempos (TICCE)⁸ montado a bordo de la plataforma EURECA ofreció la posibilidad de captar en materiales como aerogel microdesechos intactos en forma de partículas. Ello hizo posible el análisis químico del flujo habido en el experimento⁹ y la dirección del impacto permitió determinar poblaciones discretas de desechos y meteoritos. Continúa la comparación de los flujos hallados con los modelos de entorno utilizados para el diseño, tal como el de ESABASE.

Otros dos institutos universitarios trabajan activamente en investigaciones realizadas en colaboración con la industria para evaluar el riesgo de colisión a corto y a largo plazo que suponen los desechos para las naves espaciales.

El primer grupo, perteneciente a la Universidad de Southampton (Hampshire), acrecienta su reputación como centro de excelencia en estudios astrodinámicos dirigidos a descubrir métodos novedosos y eficaces para caracterizar el riesgo de colisión que pudiera entrañar una rotura para los sistemas de los satélites. Una serie de estudios ha versado sobre la amenaza que para una carga útil supone la rotura de un vehículo de lanzamiento¹¹, la amenaza para una constelación de satélites resultante de la rotura de uno de los satélites integrantes¹², y la comparación de las técnicas de modelización empleadas en Europa y en los Estados Unidos de América¹³.

El segundo grupo, el Queen Mary and Westfield College, pertenece a la Universidad de Londres. Sus trabajos se centran en la predicción a largo plazo de la población de desechos por aplicación de técnicas Monte Carlo de simulación directa para representar la evolución del entorno. Aplicando técnicas establecidas para estudiar la dinámica de colisiones en sistemas gaseosos enrarecidos, el grupo ha conseguido modelizar roturas inducidas por colisiones dentro de la población. El modelo se utilizará para investigar a fondo el fenómeno de colisiones en cascada¹⁴.

Dos grupos trabajan en la detección y observación de desechos desde tierra utilizando telescopios ópticos. El primero, SIRA, sigue ampliando la experiencia adquirida gracias a su labor de apoyo a ESA en anteriores estudios de viabilidad para contribuir a la puesta en servicio de un telescopio de dicha Organización, de 1 m. En virtud del contrato 10623/93/D de ESA, el grupo SIRA ha suministrado asesoramiento y orientación al contratista principal, el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna (Suiza), en materia de algoritmos para la detección y análisis de desechos usando sistemas CCD. El segundo grupo, el Observatorio Real de Greenwich, ha contribuido a la redacción de artículos que estudian la viabilidad y la exactitud de la detección de objetos en órbita usando telescopios ópticos¹⁵. Estos estudios demuestran la existencia de importantes efectos de selección por los que es menos probable detectar objetos en órbitas excéntricas que los situados en órbitas circulares.

El Organismo de Investigaciones de Defensa (Farnborough) actúa como coordinador técnico de todos los grupos que trabajan en el Reino Unido y presta apoyo al BNSC en el seno de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos. Fue el primer grupo que puso de relieve los problemas potenciales inherentes a las arquitecturas espaciales esparcidas tales como las constelaciones de satélites a altura discreta. En un artículo¹⁶ preparado conjuntamente con la Universidad de Southampton se señalaba que, en el caso de las constelaciones de gran magnitud previstas para fines de siglo, existían riesgos apreciables, a causa de los impactos de desechos, para los sistemas formados por las constelaciones y las misiones efectuadas en las proximidades inmediatas. Este estudio se va a ampliar para tener en cuenta los efectos de segundo orden (de cascada) en un paquete informático llamado "Seguimiento integrado de la evolución de desechos" (IDES). Dicho paquete puede usarse también para realizar estudios sobre la eficacia de la mitigación.

Estos estudios demuestran que el Reino Unido trabaja, y en muchos casos dispone de una capacidad excepcional, en una amplia gama de actividades dirigidas a definir el entorno orbital, evaluar los riesgos de las misiones espaciales y formular políticas para mitigar el creciente problema de los desechos espaciales.

Objetivo técnico	Actividad	Organización (es)
Definir entorno	Análisis de superficies recuperadas	Universidad de Kent
Definir entorno	Detección óptica	SIRA, Observatorio Real de Greenwich
Definir entorno	Modelización de poblaciones	Organismo de Investigaciones de Defensa, Universidad de Londres
Evaluar riesgo	Modelización a corto plazo	Universidad de Southampton
Evaluar riesgo	Modelización a largo plazo	Organismo de Investigaciones de Defensa
Mitigación/política	Evaluación	Organismo de Investigaciones de Defensa

Notas

¹ G. Drolshagen, J.A.M. McDonnell, T. Stevenson, R. Aceti y L. Gerlach, "Post-light measurements of meteoroid/debris impact features on Eureka and the Hubble Solar Array", *Adv. Space Res.*, Vol. 16, No.11, págs. 85 a 89, 1995.

² W. G. Tanner Jr., J.A.M. McDonnell, H. Yano, H. J. Fitzgerald y D. J. Gardner, "Meteoroids and space debris hypervelocity impact penetrations in LDEF MAP foils compared with hydrocode simulations", presentado a *Adv. Space Res.* 95.

³ J.A.M. McDonnell, G. Drolshagen, D. J. Gardner, R. Aceti e I. Collier, "EuReCa's exposure in the near-Earth space environment: hypervelocity impact cratering at a time of space debris growth", *Adv. Space Res.*, Vol. 16, No. 11, págs. 73 a 83, 1995.

⁴ G. Drolshagen, W. C. Carey, J.A.M. McDonnell, T. Stevenson y J-C. Mandeville, "Impact damage to a solar array caused by debris and meteoroids", *Preparing for the Future*, Vol. 5, No. 2, publicación de la ESA, junio de 1995.

⁵ R. Aceti, G. Drolshagen y J.A.M. McDonnell, "Micrometeoroids and space debris: The EuReCa post-flight analysis", *ESA bulletin*, No. 80, págs. 21 a 26, noviembre de 1994.

⁶ J.A.M. McDonnell, P. R. Ratcliff e I. Collier, "Atmospheric drag modelling for orbital micro-debris at LEO altitudes", *Adv. Space Res.*, Vol. 17, No. 12, págs. 183-188, 1996.

⁷ J.A.M. McDonnell, "Eureka's hypervelocity impact score: microcrater flux decreases but the large crater flux increases in specific directions", Lunar and Planetary Science Conference (Conferencia sobre ciencias de la luna y los planetas), 1994, Abstracts Volume (Volumen de resúmenes), pág. 867.

- ⁸ H. Yano, I. Collier, N. Shrine y J.A.M. McDonnell, "Microscopic and chemical analyses of major impact sites on timeband capture cell experiment of the Eureka spacecraft", presentado a *Adv. Space Res.* 95.
- ⁹ M. J. Burchell y R. Thompson, "Intact hypervelocity particle capture in aerogel in the laboratory", presentado ante la American Physical Society Topical Conference on Shock Compression of Condensed Matter (Conferencia monotemática de la Sociedad Americana de Física sobre compresión por choque de la materia condensada), Seattle, agosto de 1995.
- ¹⁰ D. J. Gardner, I. Collier, N.R.G. Shrine, A. D. Griffiths y J.A.M. McDonnell, "Micro-particle impact flux on the timeband capture cell experiment of the EuReCa spacecraft", *Adv. Space Res.*, Vol. 17, No. 12, págs. 193 a 199, 1996.
- ¹¹ S. P. Barrows, G. G. Swinerd y R. Crowther, "Debris-cloud collision risk analysis: polar platform case study", *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 33, No. 5, 1996.
- ¹² S. P. Barrows, G. G. Swinerd y R. Crowther, "The cascade fragmentation of a satellite constellation". *Adv. Space Res.*, Vol. 16, No. 11, págs. 119 a 122.
- ¹³ S. P. Barrows, G. G. Swinerd y R. Crowther, "Cloud debris collision risk analysis", *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 32, No. 5, 1995.
- ¹⁴ L. Wang, J.P.W. Stark y R. Crowther, "Direct Monte-Carlo simulation of collision frequency of orbital debris", IAA paper, IAA-95-IAA.6.4.02, 46º Congreso de Astronáutica, Oslo.
- ¹⁵ R. Crowther, R. Walker, J.S.B. Dick, S. F. Green y J. Marchant, "Detectability of satellite fragmentations in highly eccentric orbits", *Adv. Space Res.*, Vol. 16, No. 11, págs. 123 a 126.
- ¹⁶ R. Crowther, P. H. Stokes, R. Walker, S. P. Barrows y G. G. Swinerd, "Characterisation of the potential impact of space systems on the orbital debris environment: satellite constellations", documento presentado ante Aerosense, Florida, abril de 1995.