NACIONES
UNIDAS

A

Asamblea General

Distr. GENERAL

A/AC.105/593/Add.1
24 de enero de 1995

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 NUCLEARES

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

Nota de la Secretaría

Adición

El Secretario General dirigió una nota verbal, de fecha 13 de julio de 1994, a todos los Estados Miembros, en la que les invitó a facilitar informaciones sobre las investigaciones nacionales acerca de los desechos espaciales, la seguridad de los satélites nucleares y los problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales.

En el presente documento figuran las informaciones facilitadas en las respuestas recibidas de los Estados Miembros entre el 1º de diciembre de 1994 y el 12 de enero de 1995.

ÍNDICE

Página

RESPUESTAS RECIBIDAS DE LOS ESTADOS MIEMBROS 2

Alemania 2

V.95-50499 5RL78.USP

RESPUESTAS RECIBIDAS DE LOS ESTADOS MIEMBROS

Alemania

Original: [Inglés]

Consciente de que los desechos espaciales son un problema que cada vez preocupa más a todos los países en los que existen programas de investigación espacial, la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con fines Pacíficos inició sus deliberaciones sobre esta cuestión, como tema separado de su programa, en 1994. Alemania se congratuló expresamente de esa decisión, pues la delegación alemana ante las Naciones Unidas (Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con fines Pacíficos) ha contribuido, durante los debates sobre los satélites nucleares, a preparar esta importante medida.

Alemania está dispuesta a participar en toda la medida de sus posibilidades en los debates en torno al tema del programa referente a los desechos espaciales. Al respecto, presentó una ponencia sobre "Los desechos espaciales: análisis de sus aspectos científicos y técnicos" en el período de sesiones de 1994 de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos y seguirá presentando informes anuales sobre sus actividades de investigación en este terreno; el más reciente figura en el documento A/AC.105/565/Add.2, de 23 de febrero de 1994. El presente documento informa sobre la labor realizada desde entonces.

A fin de abarcar el amplio abanico de actividades de investigación de Alemania en el campo de los desechos espaciales, la Agencia Espacial Alemana (DARA) celebra cursos prácticos anuales [1], en los que se intercambian las conclusiones de las investigaciones más recientes y se formula la estrategia de la DARA sobre los desechos espaciales. En la parte I del presente informe se expone, a grandes rasgos, esa estrategia.

Las actividades de investigación alemanas se financian exclusivamente con fondos nacionales o 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 financiadas con cargo a fondos nacionales se concentran en gran medida en a) el Instituto de Tecnología de Vuelos Espaciales y Reactores Nucleares de la Universidad Tecnológica de Braunschweig (IfRR/TUBS); y b) el Instituto de Investigación en Ciencias Aplicadas de Wachtberg-Werthhoven (FGAN), cuando se trata de investigaciones realizadas en virtud de contratos entre la DARA y la ESA.

La siguiente es una panorámica breve de la labor que llevan a cabo ambas instituciones:

a) En el IfRR/TUBS han proseguido, aunque con menor intensidad, a causa de las limitaciones financieras generales de la DARA, las actividades de elaboración y validación de un modelo matemático general y estudios para aplicarlo a la evaluación de las medidas de mitigación. Dentro del modelo general funcionan modelos de tráfico más detallados con miras a misiones futuras y varias fases temporales de las medidas de mitigación, con objeto de respaldar la posición de Alemania en los debates internacionales sobre esta cuestión. Finalizó con éxito la labor que el IfRR/TUBS efectuó para elaborar, para la ESA, el Modelo de Referencia Terrestre de Meteoroides y Desechos Espaciales (MASTER). Este nuevo modelo tridimensional estará a disposición de los usuarios a principios de 1995;[2, 3, 4, 5]

b) Los estudios en torno a los desechos espaciales que se llevan a cabo en el FGAN tienen por objeto fundamental investigar y elaborar técnicas de radar y métodos de análisis que permitan detectar, clasificar e identificar los objetos espaciales situados en órbita terrestre baja, órbitas geoestacionarias y órbitas de transferencia geoestacionaria.[6, 7, 8] Las mediciones por radar de determinados objetos espaciales se obtienen utilizando la función "seguimiento" del Radar de Seguimiento y Elaboración de Imágenes (TIRA) del FGAN. A partir de esos datos, se deducen las características físicas (es decir, el tamaño, la forma, las dimensiones, el movimiento intrínseco, la masa, la órbita y la duración en órbita de los objetos). Las observaciones por radar

de volúmenes espaciales definidos utilizando la función «beam park» proporcionan datos sobre el número de objetos en el espacio. Para validar este modelo, cabe comparar estas informaciones con los resultados obtenidos con modelos de entornos de desechos espaciales. Las actividades correspondientes son financiadas fundamentalmente por la DARA y el ESOC.

Esta información se completa con descripciones más detalladas que figuran en las secciones A y B infra.

A. La estrategia de la Agencia Espacial Alemana sobre los desechos espaciales

Hasta ahora, Alemania ha intervenido prácticamente en todos los aspectos de las actividades relacionadas con los desechos espaciales, aunque sólo sea por el prominente papel que desempeña en el programa Columbus. Así pues, se han acumulado conocimientos teóricos y prácticos que se tiene el propósito de mantener. La disminución de los presupuestos financieros de las futuras actividades espaciales exige además una nueva estrategia de las actividades de Alemania sobre los desechos espaciales. Esta estrategia distingue entre las actividades nacionales y la contribución a las actividades de la ESA y la cooperación internacional.

Las actividades de financiación nacional siguen el siguiente orden de prioridades:

a) Elaboración de métodos de verificación:

i) investigaciones de los fenómenos a que dan lugar los impactos de los desechos; y

ii) creación de bases de datos para catalogar los resultados de las pruebas;

b) Elaboración de medidas de protección (sistemas de protección y evitación de colisiones);

c) Concepción de estrategias de evitación de desechos.

Se estudiará la validez de las ideas y nociones que ya se aplican a propósito de la remoción de desechos y se aportarán otras ideas o propuestas, de surgir alguna nueva.

Dentro de este planteamiento figura además el apoyo a la vigilancia y el inventario de desechos y a la elaboración de modelos sobre ellos, aunque se considera que estas actividades forman parte de la cooperación internacional, en particular en forma de participación de los programas de la ESA. Se ha iniciado una cooperación más estrecha con la ESA, que es uno de los objetivos de la Agencia Espacial Alemana, con las Reuniones de coordinación de actividades en torno a los desechos espaciales, que organiza la ESA, celebradas los días 9 de marzo y 28 de septiembre de 1994.

Proseguirá la cooperación entre la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los EE.UU. (NASA) y la DARA y se buscará promover lo más posible otras posibilidades de colaboración bilateral y multilateral.

B. La elaboración de modelos matemáticos y prevención de los desechos espaciales

Elaboración de modelos matemáticos de los desechos espaciales

Evaluar el riesgo de colisión entre un objeto abandonado en el espacio y un satélite en órbita se ha convertido en uno de los criterios pertinentes en materia de seguridad de la concepción, no sólo de las misiones espaciales tripuladas, sino también de algunos satélites. La única base de datos fidedigna sobre desechos espaciales que existe sólo comprende una parte reducida de los mismos -aproximadamente 7.300 objetos de cierta

dimensión-, y, en cambio, para caracterizar el riesgo mayor que suponen los objetos no rastreables hay que recurrir a modelos matemáticos. Esos modelos se basan en simular todas las fragmentaciones que tienen lugar en órbita y están respaldados por diversas mediciones reales. El MASTER de la ESA está siendo elaborado en la actualidad en el IfRR, de la Universidad Técnica de Braunschweig, mediante un contrato del ESOC (10453/93/D/CS). Está previsto realzar sus últimas fases, completarlo y distribuirlo a comienzos de 1995. Este modelo facilitará un número considerable de informaciones de referencia a los usuarios, ya sean éstos ingenieros, científicos o políticos.

El modelo MASTER de la ESA tiene por finalidad caracterizar el entorno de partículas de la Tierra, así naturales como de origen humano y la amenaza que representa para las misiones espaciales. Se basa en técnicas de elaboración de modelos semideterministas y abarca todos los tamaños a partir de 100 u (0,1 mm), es decir, los objetos que, si chocan con un vehículo espacial, pueden dañarlo. El modelo MASTER ofrece una descripción plenamente tridimensional de la zona que rodea a la Tierra hasta la región de órbita de los satélites geoestacionarios (GEO) y puede determinar las características (procedencia, órbita, masa y tamaño) de todos los objetos. Un modelo de rupturas, apoyado en experimentos de fragmentación de maquetas a escala del piso superior de cohetes se ha utilizado para generar el número de desechos no rastreables que han producido todas las fragmentaciones en órbita (116 hasta julio de 1993). Se considera el número observable de esos objetos realizando mediciones en tierra. La distribución de las excentricidades e inclinaciones de los objetos mayores de 1 cm que MASTER modeliza prueba el predominio de los objetos situados en las bandas de inclinación situadas entre 60° y 65°, a 82° y a aproximadamente 100°, lo que corresponde al hecho de que la mayor parte de los episodios de fragmentación suceden en esas bandas. Se puede observar un número considerable de objetos -en su mayoría, en la banda de inclinación situada entre 60° y 65°, en órbitas muy excéntricas ($\varepsilon > 0,1$).

Finalidades del modelo MASTER

Atendiendo a la necesidad de una interfaz modelo/usuario más eficiente se ha elaborado este modelo,que combina una cantidad ingente de informaciones con su almacenamiento y aplicación temporal a una unidad central de procesamiento (CPU) muy eficientes, tanto en un ordenador personal como en una terminal de trabajo. El modelo está formado por una aplicación de análisis, con informaciones exhaustivas sobre órbitas y flujos, y una aplicación de ingeniería, más rápida y algo simplificada. Ambas se distribuirán en un mismo CD ROM. Este instrumento pone todas las posibilidades que ofrece un modelo semideterminista muy complejo de desechos a disposición de usuarios que dispongan de tiempo de CPU y de posibilidades de almacenamiento reducidos. Se ha concebido para:

a) Proporcionar datos de elevada resolución sobre el flujo de desechos y meteoroides. La aplicación de análisis proporciona una gran cantidad de informaciones pormenorizadas sobre episodios de colisión de desechos con un único objetivo, comprendidas la situación y la geometría del encuentro y la procedencia del desecho impactante en cualquier órbita definida por el usuario. A diferencia de lo que sucede con la aplicación de análisis, la aplicación de ingeniería se limita a las órbitas objetivo casi circulares. Ambas aplicaciones pueden considerar órbitas elípticas de desechos;

b) Facilitar una interfaz modelo/usuario sencilla. Todo el modelo, comprendido un módulo de gráficos sencillo para visualizar los resultados del modelo estándar, se distribuirá en un mismo CD ROM. Puede funcionar en cualquier ordenador personal que tenga un sistema MS-DOS, un ordenador personal MacIntosh (Sistema 7), las terminales de trabajo IBM RS 6000 (IBM AIX)y las estaciones de trabajo Sun con SUN OS 4.1.3 (de preferencia, SUN SPARC 10). Se explicará adecuadamente cómo servirse del modelo, que irá acompañado de instrucciones impresas y de ficheros postinscritos en el CD. Está previsto actualizarlo periódicamente para ajustarlo a la evolución de la situación de los desechos;

c) Permitir una recuperación eficiente de informaciones en la CPU. En las pruebas de referencia para calcular el flujo hacia una órbita de tipo ERS-1 (órbita heliosincrónica a 780 km) efectuadas por la aplicación de análisis se obtuvieron resultados de unos 15 segundos en una terminal de trabajo IBM RS 6000 (comparable

a una SUN SPARC 10) y algo más prolongados cuando se utilizó un ordenador personal dotado de un chip PENTIUM 66 MHz;

d) Permitir la actualización y el mantenimiento simplificados del modelo. A los modelos anteriores difícilmente se les podían aplicar mejoras, tanto a sus modelos de ruptura como a la base de datos determinista acumulada a partir de las observaciones en tierra o de los ordenadores regresados del espacio. La estructura semideterminista del modelo MASTER permite aplicar rápida y sencillamente esas mejoras cuando son necesarias.

Características de las aplicaciones del modelo MASTER

La aplicación de análisis permitirá utilizar tres distintas opciones:

a) La opción de la órbita kepleriana: permite calcular el flujo de desechos (en aplicación de ingeniería, también el de meteoroides) hacia a cualquier objetivo situado en una órbita kepleriana definida por el usuario. Para ello, el usuario tiene que definir una órbita (que puede ser excéntrica) y la opción arroja los siguientes resultados: el flujo de los desechos (F_{De}), que está en función del $\log_{10}$ de la masa del impactor ($m_{imp}a$), la velocidad del impacto (v_{imp}), el ángulo azimutal del impacto, el ángulo de elevación del impacto, el ángulo de revolución del objetivo (u) y todas las primeras derivadas: $d(F_{De})/d(\log_{10}(m_{imp}a))$, $d(F_{De}/d(v_{imp}))$, $d(F_{De})/d(\alpha_{imp})$ y $d(F_{De}/d(\delta_{imp})$. Los ángulos α_{im} y δ_{imp} se definen con respecto al plano horizontal del vehículo espacial.

b) La opción volumen inercial: permite calcular el flujo de desechos hacia una esfera unitaria fija inercial. Para ello, es necesario determinar la posición fija inercial de una esfera unitaria y arroja los mismos resultados que la órbita kepleriana (salvo $F_{De}(u)$ y $d(F_{De})/d(u)$);

c) La opción observatorio: permite calcular el flujo de desechos dentro de un cono de visión fijo en la Tierra (p. ej., una estación de observación terrestre). Para ello, es necesario conocer la localización del observatorio determinado por el usuario, la dirección y el ángulo de apertura del cono de visión y la banda de amplitud que se desea. Esta opción arroja normalmente el F_{De} de los desechos, en función del $\log_{10}$ de la masa del objeto (m_{obj}), la velocidad de paso del objeto (v_{obj}), la magnitud, la velocidad radial ($v_{p,obj}$) (el elemento de velocidad en dirección de la línea de visión), la perpendicular ($v_{\perp p,obj}$) (el elemento de velocidad perpendicular a $v_{p,obj}$), el ángulo azimutal del paso (α_{obj}), el ángulo de elevación del paso (δ_{obj}) y las derivadas conexas del flujo de desechos (F_{De}). Los ángulos α_{obj} y δ_{obj} se definen en el plano perpendicular a la línea de visión.

Existe la posibilidad de generar ficheros que contengan informaciones sobre el objeto, por ejemplo, su órbita, procedencia y un identificador, lo que permite generar numerosas estadísticas más. El modelo indica que el flujo de desechos a que está expuesto un vehículo espacial en una órbita dada depende en medida considerable de su altitud e inclinación. El flujo resultante de los objetos rastreables muestra las máximas, ya contrastadas, correspondientes a los objetos situados a altitudes entre 800 y 1.000 km y en torno a 1.500 km. La probabilidad de sufrir un impacto aumenta al aumentar las inclinaciones orbitales del objetivo y alcanza su máximo, de unos 7×10^{-6} impactos por metro cuadrado al año, aproximadamente a una inclinación de 100°. El flujo de objetos mayores de 1 cm es aproximadamente 20 veces mayor. La dependencia del eje semiprincipal orbital del objetivo es, por lo general, la misma que se observa para los objetos de 10 cm, aunque es más moderada la extinción ordenada a 7.350 km y 7.800 km. El flujo máximo, de unos 14×10^{-4} impactos por metro cuadrado al año, se alcanza aproximadamente a una inclinación de 110°.

El aumento en el futuro de los desechos en órbita y cómo evitar que se generen más

Al haber ido aumentando nuestros conocimientos sobre la cuestión de los desechos en órbita, en particular por lo que se refiere a la dinámica de su distribución espacial y temporal y a su propagación en el futuro, la atención de los investigadores se ha centrado en qué medidas se pueden adoptar económicamente para evitar el efecto de colisiones en cascada en la órbita terráquea.

Para evaluar la necesidad y la eficacia de las medidas de mitigación de los desechos, en los últimos años se han efectuado varios estudios (véase el doc. A/AC.105/565/Add.2). Actualmente, se está efectuando un estudio, que se basa en los análisis mencionados y en el que se abordan los siguientes problemas:

a) Las medidas prácticas de mitigación de desechos previstas o en curso de análisis y su prudente introducción escalonada;

b) Elaboración de un nuevo modelo de tráfico, que sea una hipótesis más realista sobre los tipos de misiones, lanzamientos, procedimientos de lanzamiento, etc. en un futuro próximo y que además describa de forma práctica la disponibilidad y la aplicación en común de medidas de mitigación de los desechos.

c) Estudio de las órbitas "cementerio" en la altitud situada entre la órbita terrestre baja y la órbita de satélites geoestacionarios.

Para esto, se tendrán en cuenta todos los datos nuevos (p. ej., los datos sobre los impactos en superficie, las mediciones de desechos remotos, las fragmentaciones en órbita observadas desde la Tierra). Además de los métodos y simulaciones por ordenador ya existentes, que evalúan el efecto de colisiones en cascada a largo plazo aplicando métodos estadísticos, se utiliza un método semideterminista para el análisis a breve y medio plazo, el cual permite efectuar un análisis a fondo de algunos regímenes de altitud de uso frecuente en la órbita terrestre (p. ej., 700 a 900 km e inclinaciones heliosincrónicas) en lo que respecta a su susceptibilidad a las colisiones y la eficacia concreta de las medidas de mitigación de desechos en esos regímenes.

C. Detección por radares y la medición de los desechos espaciales en órbita

El Radar de Seguimiento y Elaboración de Imágenes (TIRA) del FGAN se utiliza fundamentalmente para investigar métodos y técnicas de clasificación e identificación de vehículos espaciales y satélites. Hasta cierto punto, se utiliza además para obtener datos de radar de desechos en órbita, para lo cual se han concebido dos funciones: una función de rastreo, que sirve para medir determinados objetos en órbita terrestre baja, órbita geoestacionaria y órbita de transferencia geoestacionaria, y una función «beam-park», que sirve para obtener datos sobre el número de objetos que se encuentran en determinados volúmenes espaciales.

El TIRA consiste en un radar rastreador de banda estrecha y en un radar elaborador de imágenes de alta resolución. Ambos se apoyan en una antena parabólica de 34 m. Se han elaborado métodos y logaritmos para analizar las signaturas de los radares de banda estrecha, calcular imágenes de radar a partir de datos de radar de alta resolución y estimar las características físicas de los objetos en el espacio, como su tamaño, forma, dimensiones, movimiento intrínseco, masa, órbita y duración en órbita. Es menester mejorar y refinar todo lo posible esos métodos y técnicas para adaptarlos a los desechos espaciales de tamaño medio[6,7,8].

Determinación de las características físicas de los desechos espaciales

El objetivo de una investigación realizada conjuntamente por la NASA y el FGAN (Contrato DARA, 1/90-6/95) es caracterizar y comparar los parámetros mencionados con respecto a distintos tipos de rupturas, es decir, de colisiones y explosiones. En la actualidad, se analizan las mediciones por TIRA de varios de un conjunto de 30 desechos (de más de 50 cm) y de seis pequeñas esferas metálicas del experimento ODERACS de la NASA (esferas de calibración de desechos orbitales, con diámetros de 5, 10 y 15 cm). Forman parte de este estudio un análisis estadístico del corte vertical medido por radar y una comparación con los resultados obtenidos por la NASA a partir de áreas efectivas de mediciones mediante rayos infrarrojos, ópticas y por radar[9,10].

Detección mediante radares de los desechos espaciales de tamaño mediano

El objetivo principal de un estudio de la ESA (Contrato ESA/ESOC 2/93-12/94) consiste en investigar las modificaciones que cabría hacer al radar rastreador de banda-L del sistema TIRA para detectar y rastrear desechos espaciales de tamaño mediano (entre 1 y 50 cm) en la órbita terrestre baja, a fin de mejorar y verificar los actuales modelos de entornos de desechos espaciales.

Se analizaron varios métodos de búsqueda de pequeños objetivos en franjas elevadas y volúmenes espaciales definidos y diversas mejoras de la situación en lo que respecta a la relación señales/ruidos del radar rastreador. Basándose en las conclusiones de esos análisis, se elaboraron diversas modificaciones del equipo y de las condiciones de los logaritmos de procesamiento de señales y datos, a fin de detectar desechos espaciales aplicando la función «beam park»[11].

Predicciones sobre reentrada en la atmósfera de objetos espaciales de elevado riesgo

El objetivo es facilitar al Ministerio Federal del Interior predicciones fidedignas de las probabilidades de reentrada en la atmósfera (momento y trazo en el suelo), estimaciones del comportamiento del objeto y evaluaciones de riesgos durante la reentrada en la atmósfera de objetos espaciales de alto riesgo. En aplicación de diversos acuerdos de cooperación, el FGAN facilitó a la ESA/ESOC mediciones de radar rastreador de objetos espaciales de alto riesgo para respaldar las predicciones europeas de reentrada en la atmósfera[12].

D. Protección y análisis de los impactos

Como todavía no se ha resuelto la contribución de Europa al programa internacional de estaciones espaciales, han disminuido las actividades de Alemania en el terreno de la protección y los análisis de los impactos.

El ESTEC financia varios estudios, dos de los cuales están a cargo del Instituto Ernst Mach. En uno, se investigan las condiciones de ruptura catastrófica de vehículos presurizados por impactos de desechos. El otro consiste en una simulación experimental de impactos de desechos en EURECA y el telescopio espacial Hubble. Otro estudio del ESTEC, realizado con el Instituto de Investigaciones Battelle, consiste en mejorar las técnicas de la carga explosiva hueca para simulaciones de impactos a hipervelocidad. Se utilizan estas técnicas para simular impactos con formas de partículas de desechos más realistas, p. ej., partículas cilíndricas con una masa de cerca de 1 gramo a velocidades superiores a 11 km^{-1}. Además de utilizar las técnicas de la carga explosiva hueca, los cañones de gas de pequeño calibre, etc., se emplearon instalaciones de interferencia electromagnética para determinadas pruebas de simulación reproductibles. En algunas investigaciones de la DARA financiadas por la industria se estudia la protección de los vehículos presurizados frente a los desechos espaciales.

Conforme a la estrategia de la DARA, están previstas más investigaciones detalladas en el terreno del análisis de los fenómenos de los impactos y la protección frente a los riesgos.

Notas

1. Véanse los informes de los dos cursos prácticos más recientes; Alwes, D. y Schrogl, K.U., Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht, 1/1993, págs. 83 a 88 y 1/1994, págs. 74 a 79.

2. Klinkrad H., Collision Risk Analysis of Low Earth Orbits. World Space Congress 20, COSPAR Meeting Paper Nº B.8-M.2.07, Washington D.C., septiembre de 1992.

3. Sdunnus H. y Klinkrad H., An Introduction to the ESA Reference Model, Proceedings of the First European Conference on Space Debris, Darmstadt. ESA SD-01, abril de 1994.

4. Klinkrad H., Sdunnus H., Bendisch J., Development status of the ESA Space Debris Reference Modele, 30. COSPAR Meeting, Hamburgo, julio de 1994.

5. Sdunnus H., Klinkrad H., Rex D. y Bendisch J., Application Features of the MASTER Debris Model developed for ESA, IAA-94-IAA.6.4.690, 45. IAF Congress, Jerusalén, octubre de 1994.

6. Mehrholz D., Space Object Observation with Radar, en Advances in Space Research, Space Debris, Vol. 13, Nº 8, COSPAR 29 Plenary Meeting, Washington D.C., agosto de 1992.

7. Mehrholz D., Potentials and limits of space object observation and data analyses using radar techniques, en Proc. First European Conference on Space Debris, ESA SD-01, págs. 59 a 64, 1993.

8. Magura K. y Mehrholz D., Measurement and analysis techniques for satellite observations used at FGAN-FHP, FGAN-FHP Technical Report 8-93, Wachtberg-Werthhoven, diciembre de 1993.

9. Leushacke L. y Mehrholz D., Determination of physical characteristics of space debris, Intermediate Reports 1-4, DARA Contract Nº 50 ST 9003, FGAN-FHP, Wachtberg-Werthoven 1991-1993.

10. Leushacke L. y Mehrholz D., ODERACS, Intermediate summary of Experiments and Analyses at FGAN-FHP, en The ODERACS News Roundup, Nº 8, 20 de abril de 1994.

11. Leushacke L., Mehrholz D., Perkuhn D. y Peters H.G., Radar detection of mid-zised space debris, FGAN-FHP Technical Reports 7-93, 6-94, Wachtberg-Werthhoven, octubre de 1994.

12. Mehrholz D. y Magura K., Radar Tracking and observation of moncooperative space objects by reentry of SALYUT-7/KOSMOS-1686, en The reentry of Salyut-7/Kosmos-1686, Proc. International Workshop, ESOC, Darmstadt, Alemania, ESA SP-345, Agostro de 1991.