

La basura espacial

La aportación de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona: el telescopio Fabra-ROA Montsec (TFRM)

El telescopio Fabra-ROA Montsec (TFRM) en el Observatorio del Montsec. Al fondo, el telescopio Joan Oró. (Fuente: Telescopio Fabra-ROA Montsec)



Los satélites artificiales hoy en día están presentes en nuestra vida hasta tal punto que dependemos casi totalmente de su buen funcionamiento. Disponemos de satélites de observación de la Tierra de alta resolución; satélites meteorológicos en órbita geoestacionaria (como los Meteosat) y en órbitas bajas (como los MetOp); satélites científicos (para todo tipo de experimentos); satélites astronómicos (como el telescopio espacial Hubble); satélites de navegación (como el GPS americano, el GLONASS ruso o el futuro sistema Galileo europeo) con infinitas aplicaciones; satélites de comunicación para la transmisión de información (emisiones de TV, telefonía, internet, datos, etc.); satélites de defensa y muchos otros. Es evidente que el correcto funcionamiento de los satélites tiene una importancia esencial y deben encontrarse en las mejores condiciones y en un ambiente no hostil.

Es bien conocido que la contaminación afecta muy negativamente a la tierra, los mares y la atmósfera. Es quizás menos conocido que la contaminación afecta también al espacio desde el primer lanzamiento orbital con el Sputnik I el 4 de octubre de 1957. Desde entonces, se han lanzado al espacio unos diez mil objetos artificiales. Algunos satélites, sobre todo los situados en órbitas bajas, decayeron debido al rozamiento con las capas altas de la atmósfera y volvieron a entrar en la atmósfera y se quemaron. Actualmente existen más de tres mil satélites en órbita, pero solo alrededor de seiscientos están activos, mientras que el resto se han convertido en basura espacial. Pero hay también otros objetos, como cohetes lanzadores gastados, que han quedado en

Ideas clave

- Los satélites tienen una importancia esencial en nuestra vida, pero el aumento de la contaminación espacial dificulta su tarea y puede ocasionar graves colisiones.
- La mejor opción, por ahora, es la catalogación y el conocimiento de las órbitas de la mayoría de estos residuos por medio de las observaciones ópticas con telescopios de gran campo de visión.
- Desde Cataluña, el telescopio robótico TFRM del Observatorio Fabra y el ROA colaboran en varios programas internacionales de catalogación y seguimiento de la basura espacial.

órbita. Además, algunos objetos se han ido troceando debido a colisiones, por ejemplo. Se considera que hay más de veinte mil objetos en órbita que tienen diez centímetros o más de diámetro.

¿Qué es la basura espacial?

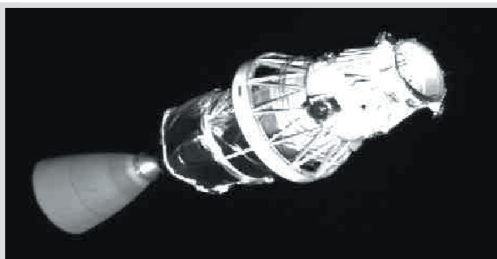
La Academia Internacional de Astronáutica (AIA; IAA, en sus siglas en inglés) ha definido el término basura espacial en artículos de 1993 (*IAA Position Paper on Orbital Debris 1993*) y 2001 (*Position Paper on Orbital Debris 2001*) como cualquier objeto de origen humano no funcional de cualquier tamaño situado en órbita y sin ninguna expectativa razonable de alcanzar o volver a alcanzar su función o cualquier otra función para la que puede esperarse que esté autorizado.

Esta definición incluye, pues, satélites difuntos, etapas finales de cohetes lanzadores, restos de colisiones y explosiones, escamas de pintura, partículas dejadas por los motores de combustible sólido, polvo, etcétera. Por ejemplo, entre los satélites difuntos, el satélite Vanguard 1 continúa en órbita cincuenta años después de su lanzamiento. Las comunicaciones con este satélite se perdieron en 1964, pero continuará en órbita al menos 240 años más.

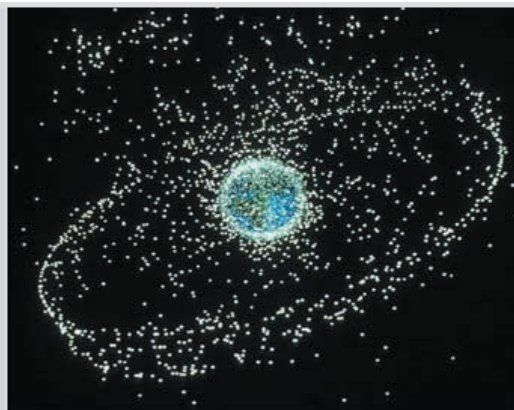
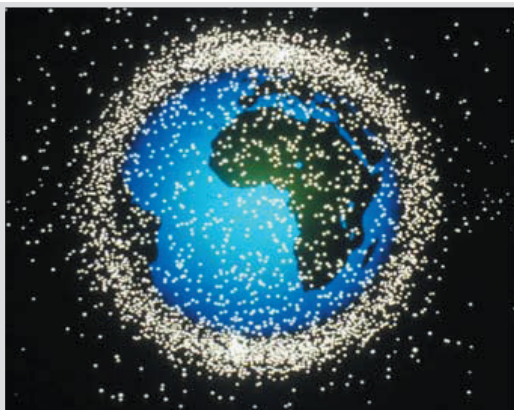
El problema de la basura espacial

Se ha reconocido que la basura espacial es un peligro creciente para las operaciones espaciales, actuales y futuras, porque comparte las mismas órbitas que los satélites activos, tanto los tripulados como los robóticos. Estas órbitas se sitúan principalmente entre los 300 y los 40.000 km de altura. La máxima concentración de esta materia se

Un residuo espacial: la etapa superior de un cohete lanzador Delta II. (Fuente: U.S. Air Force Research Laboratory's. XSS-10 Satellite, www.dtic.mil/ndia/2003science/engle.pdf)



Distribución de la basura espacial catalogada en la órbita baja (LEO) y en la geoestacionaria (GEO). (Fuente: NASA Optical Debris Program Office, <http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/photogallery/beehives.html>)



da en órbitas bajas (Low Earth Orbit o LEO), donde se sitúa la mayor parte de los satélites funcionales, y en el anillo geoestacionario (Geostationary Earth Orbit o GEO, a 36.000 km), reservado a los satélites de comunicaciones, televisión, meteorológicos, etcétera. También tienen mucho interés las órbitas intermedias (Medium Earth Orbit o MEO), situadas entre las anteriores, donde se localizan importantes satélites, como los de navegación (GPS, GLONASS, Galileo, etc.).

En este aspecto, la órbita geoestacionaria es fundamental, ya que los satélites que están situados en ella tienen un período de rotación idéntico al de la Tierra y, por lo tanto, están aparentemente inmóviles en el cielo. Es evidente que cualquier residuo espacial situado cerca de esta órbita presenta un peligro especialmente grave.

El principal problema de la basura espacial es que a las velocidades orbitales (de hasta 20 km/s), cualquier colisión, incluso con un pequeño tornillo, puede ser catastrófica, ya que un pequeño tornillo de un gramo a estas velocidades relativas es portador de más energía cinética que una bala de fusil. La basura que está más baja acaba quemándose por rozamiento con la atmósfera, pero si está a más de 1.000 km de altura puede quedarse permanentemente en órbita. También, si es lo suficientemente grande, puede llegar al suelo.

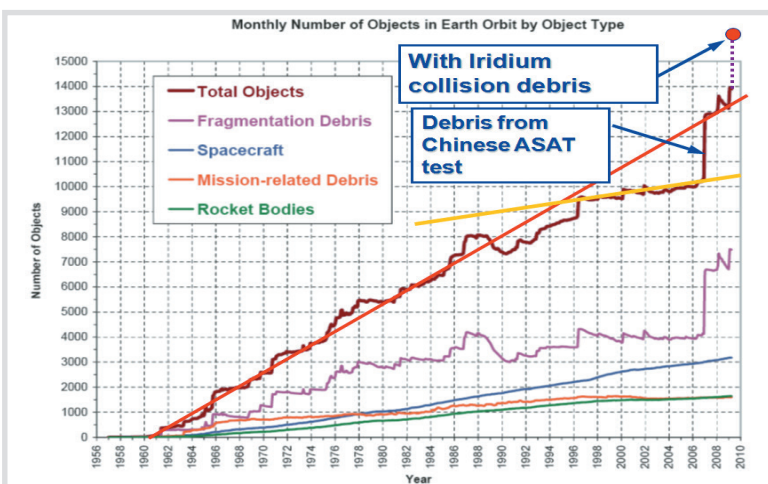
La cantidad de basura espacial no ha parado de aumentar desde el comienzo de la era espacial, como

indica la línea roja de la figura inferior, en la que se representa este crecimiento a lo largo del tiempo. En los años noventa del siglo xx se puso en marcha una iniciativa internacional para tratar seriamente este problema. Parece que esta iniciativa ayudó a paliar un poco el problema, porque a partir de 1996 el aumento de basura espacial se ralentizó, tal como se puede apreciar en la línea amarilla de la figura anterior.

Varios acontecimientos entre los años 2007 y 2009 crearon gran cantidad de nueva basura: el día 11 de enero de 2007, China destruyó un satélite meteorológico difunto en una prueba militar antisatélite (denominada Anti-Satellite Test o ASAT) que produjo más de 2.500 nuevos residuos; esto solo eliminó los logros de los diez años anteriores. Se da la circunstancia de que el 22 de enero de 2013, un nanosatélite ruso dotado de un retrorreflector láser denominado BLITS (Ball Lens in The Space) colisionó con uno de estos residuos y se rompió en varios trozos. La colisión de dos satélites parecía un hecho muy improbable, pero la realidad es que a las 16.56 horas del día 10 de febrero de 2009 los satélites Cosmos 2251 (fuera de servicio) e Iridium 33 (operativo) chocaron a una velocidad relativa de 11,7 km/s. En esta colisión se generó una gran cantidad de nueva basura espacial. Solo con estos dos hechos la cantidad de basura espacial ha aumentado de modo preocupante. Actualmente, como se puede ver en la figura de la derecha, la situación es aún peor que la tendencia de los años ochenta del siglo pasado.

Un ejemplo del peligro que supone este problema es que el 28 de junio de 2011, los astronautas de la Estación Espacial Internacional tuvieron que ser evacuados en las naves Soyuz de escape por riesgo de choque. El fragmento de residuo, descubierto sin el tiempo necesario para efectuar una maniobra para esquivarlo, pasó a solo 250 metros de la estación.

Incluso algunos expertos proponen un escenario en que el volumen de basura espacial llegaría a un límite tal que las colisiones con estos materiales serían tan frecuentes que generarían nueva basura con un efecto en cascada. Esta generación de basura en cascada, que se conoce con el nombre de efecto Kessler, provocaría la imposibilidad de utilizar el espacio, al menos en determinadas órbitas, en las bajas, en concreto, y, tal vez, en la geoestacionaria, que es, como se ha indicado anteriormente, de una importancia fundamental.



Aumento de basura espacial, incluye la prueba militar china y la colisión Iridium 33 - Cosmos 2251. (Fuente: NASA Orbital Debris Quarterly News, <http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/pdfs/ODQNv18i1.pdf>)

El control de la basura espacial: ¿se puede eliminar?

Como se ha comentado, el rozamiento con la atmósfera elimina, con el tiempo, la basura espacial que se encuentra en órbitas bajas, pero no la que está en órbitas más altas. Además de este efecto, los académicos y los organismos gubernamentales, para solucionar la cuestión de la basura espacial, han propuesto planes como:

– **El control de su incremento.** Este control incluye medidas como cambiar el diseño de los lanzadores para evitar explosiones, establecer un tratado internacional para minimizar la basura espacial, publicar directrices voluntarias, establecer «reglas del camino» internacionales para prevenir colisiones entre satélites, establecer prácticas estándar para satélites civiles y militares, elaborar un estándar ISO para la mitigación de la basura espacial y establecer una política que tenga en cuenta el pasado y el futuro (one-up, one-down) de licencias de lanzamiento para las órbitas de la Tierra de forma que para cada lanzamiento se pague un canon sobre la captura y desórbita de un residuo de aproximadamente el mismo plano orbital.

– **La autoeliminación.** Actualmente, los satélites destinados a la órbita geoestacionaria disponen de un sistema para «aparcarlos en una órbita cementerio», pero estas órbitas no protegen suficientemente los objetos. Se ha propuesto que todos los satélites incorporen un sistema que permita que al finalizar su vida útil su órbita decaiga hasta su reentrada en la atmósfera. Este decaimiento se puede hacer de forma activa, con cohetes para bajar la posición del perigeo de la órbita, o de forma pasiva, con correas electromagnéticas, desplegando velas de gran superficie o inflando grandes globos ligeros.

– **La eliminación externa.** Una posible solución es la de lanzar naves robóticas para que busquen basura espacial y la capturen. Una posibilidad es la de adherir un sistema propulsor para conducir el residuo a una órbita cementerio o a una órbita baja con el fin de que se quemen en la atmósfera. Esta opción requiere la difícil, cara y lenta maniobra de ir a encontrar el residuo. Otra posibilidad es usar la escoba láser para dirigir desde el espacio un láser en la parte delantera del residuo, de forma que actuando como un pequeño retrocohetes lo frene y lo acerque a la atmósfera o lo dirija hacia una órbita cementerio. Un inconveniente de esta técnica es la posibilidad de romper partes del objeto, con lo que se producirían nuevos residuos.

Las diferentes propuestas mencionadas presentan problemas tales como: a) la actual falta de tecnología; b) el elevado coste que representaría desarrollar esta tecnología, ya que el coste de cualquiera de estas soluciones es aproximadamente el mismo que el del lanzamiento de una nave espacial y, según expertos de la NASA, no es rentable económicamente, y c) la ausencia de incentivo comercial, ya que el coste de eliminación no está asignado a la entidad que produce el problema. Estos importantes problemas han impedido que actualmente la mayoría de los mencionados enfoques tecnológicos se hayan convertido en proyectos financiados.

Observaciones mediante radar y ópticas. Los programas internacionales de SSA/SST

Vemos, pues, que la tecnología actual no permite la retirada de los residuos espaciales; por eso la mejor opción, por el momento, es la catalogación y el conocimiento de las órbitas de la mayor parte de estos residuos, de modo que sea posible predecir con suficiente antelación el acercamiento de los residuos a los satélites activos y en las estaciones tripuladas para que se pueda efectuar una maniobra de evasión en el caso de que el acercamiento pueda resultar peligroso. Estas maniobras de evasión hoy en día se efectúan sistemáticamente en la operación de los satélites, tanto los no tripulados como los de la Estación Espacial Internacional.

En el caso de órbitas bajas, la observación mediante radares es eficiente y permite efectuar la catalogación de los objetos, pero la eficiencia del radar disminuye con la cuarta potencia de la distancia; por lo tanto, a partir de unos 1.000 km de altura, la eficiencia disminuye y hace que a partir de 2.000 km los radares no sean útiles y que las observaciones ópticas sean las más adecuadas. En concreto, la observación con radar no es útil para la órbita geoestacionaria porque está a demasiada distancia de la Tierra y, por este motivo, las observaciones ópticas con telescopios de gran campo de visión son las más utilizadas.

Conscientes de la necesidad de proteger el espacio de la basura espacial, los Estados Unidos, la Unión Europea, Rusia y Japón y la Agencia Espacial Europea (ESA) y la NASA tienen programas de control de la basura. En concreto, los Estados Unidos y la NASA disponen del NASA Orbital Debris Program Office, dedicado a la catalogación, el control y la mitigación de los riesgos de la basura espacial. De un modo similar, la Unión Europea y la ESA disponen del Space Situational Awareness (SSA), del que forma parte el Space Surveillance and Tracking - SST Segment (SST), dedicado a catalogar y efectuar el seguimiento de la basura espacial y a alertar a los operadores de los satélites cuando pueda ser necesario hacer una maniobra de evasión.

Recientemente, la Unión Europea, considerando la cuestión de la basura espacial de interés estratégico y basándose en nuevas competencias en temas espaciales, ha lanzado una serie de iniciativas dentro del programa Horizon 2020, específicamente dedicada al SST, y está previsto el lanzamiento de un programa marco de apoyo al SST y, a partir de 2018, un nuevo programa emblemático dedicado al SST, con un elevado presupuesto. España participa en estas actividades con el programa denominado Spanish SST (S3T), financiado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y dedicado al desarrollo de un nuevo radar y a la integración de los activos observacionales existentes.

La aportación de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. El Telescopio Fabra-ROA Montsec (TFRM)

Como se ha indicado, la mejor manera de encontrar y catalogar basura espacial en las órbitas altas (MEO y GEO) es mediante imágenes ópticas tomadas

con telescopios ópticos de gran campo de visión. Los satélites y la basura espacial aparecen en las imágenes ópticas como objetos que se mueven muy rápidamente con respecto a las estrellas que aparecen en la misma imagen.

La Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (RACAB) por medio del Observatorio Fabra participa activamente en los programas SST internacionales con el Telescopio Fabra-ROA Montsec (TFRM). El origen del TFRM se remonta a algunos años atrás, cuando el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) y la RACAB, responsable del Observatorio Fabra situado en la ladera del Tibidabo, emprendieron la tarea de recuperar una cámara Baker-Nunn que poseía el ROA para, convenientemente actualizada y modernizada, establecer un punto de observación que mejorara las prestaciones del Observatorio Fabra que, tras más de cien años de servicio, tenía que complementarse con un telescopio situado lejos de la contaminación lumínica de la ciudad. El proyecto fue posible gracias a las aportaciones de las mismas instituciones y las correspondientes aportaciones del Ministerio y del Departamento de la Generalidad de Cataluña. La cámara, rebautizada como Telescopio Fabra-ROA Montsec, está instalada desde septiembre de 2010 en el Observatorio Astronómico del Montsec (OADM), a 1.570 m de altura, junto al telescopio Joan Oró, propiedad de la Generalidad de Cataluña.

El TFRM es, por lo tanto, la transformación por observación CCD (cámara electrónica) de una cámara Baker-Nunn de 50 cm de apertura fabricada por la NASA, que se diseñó a finales de los años cincuenta del siglo xx, precisamente para el seguimiento de satélites artificiales. Esta circunstancia hace que el TFRM sea ideal para la observación de basura espacial gracias a su gran campo de visión ($4,4^\circ \times 4,4^\circ$), que equivale a 100 veces la superficie lunar, por su relación focal (distancia focal/apertura del telescopio), que es 0,96, es decir, extremadamente luminosa, lo que permite exposiciones más cortas funcionando de manera totalmente robótica. Actualmente el TFRM trabaja todas las noches en modo robótico operado y controlado conjuntamente por el Observatorio Fabra y el ROA.

Cada imagen del TFRM ocupa 4.096×4.096 píxeles y contiene miles de imágenes de estrellas y/o de basura espacial. El TFRM puede observar satélites y basura en cualquier órbita gracias a su sistema de seguimiento capaz de mover el telescopio adaptándose a la velocidad del objeto. En la figura de la izquierda se pueden observar detalles de imágenes que muestran observaciones de satélites GEO, MEO y LEO, respectivamente.

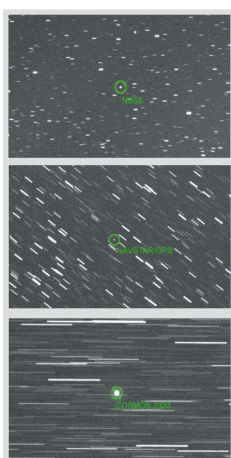
Gracias a la capacidad de observar en todas las órbitas y de manera totalmente robótica, el TFRM participa, desde que se inauguró, en varios programas de detección (surveillance) y seguimiento (tracking) de basura espacial. En concreto,

el TFRM participa o ha participado en: a) la red International Scientific Optical Network (ISON), coordinada por el Keldysh Institute de la Academia de Ciencias de Rusia. El ISON tiene fines similares al programa SSA/SST, de la ESA, con el objetivo de operar una red de telescopios ópticos para detectar y seguir objetos y residuos espaciales débiles situados en las órbitas geocéntricas altas; b) las campañas CO-VI y CO-VIII del SSA/SST de la ESA, que consisten en hacer observaciones de seguimiento (CO-VI) y detección (CO-VIII) al anillo GEO y proporcionar a la ESA las posiciones de los objetos detectados; c) el posicionamiento astrométrico preciso y el seguimiento de otros objetos orbitales de interés; d) el Demonstration Test-Bed for the Remote Control of an Automated Follow-Up Telescope de la ESA, con el objetivo de demostrar la capacidad europea para la construcción de los telescopios y software de control y análisis, de un sistema observacional para la total implementación del programa SSA/SST, y e) la propuesta de un sistema español de SST para la Unión Europea, con el fin de participar en un futuro programa europeo de apoyo a la SST ya mencionado. El objetivo del programa es demostrar la capacidad actual de España de generar una cadena/modelo de servicios de SST.

A modo de ejemplo, en 2014 el TFRM dedicó un total de 85 noches a la basura espacial, y efectuó la detección automática de 18.723 objetos (tracks) y 130.000 posiciones. Cabe destacar que todas las detecciones se realizaron en modo vigilancia y, por tanto, sin ningún conocimiento previo de las órbitas.

Conclusiones

Los satélites espaciales tienen una importancia esencial en nuestra vida, en todos los aspectos. Para que puedan llevar a cabo su tarea de una forma correcta, los satélites tienen que trabajar en un ambiente tan amigable como sea posible. Pero la contaminación provocada por el hombre ya hace años que afecta al espacio con más de 20.000 objetos orbitales inútiles de más de 10 cm de diámetro y con cientos de miles de objetos, que, aunque son más pequeños, tienen una capacidad destructora muy elevada. Como la tecnología actual no permite retirar los residuos espaciales, la mejor opción, por ahora, es la catalogación y el conocimiento de las órbitas de la mayor parte de estos residuos. La observación con radar no es útil para la órbita geostacionaria, ya que está demasiado lejos de la Tierra y, por este motivo, las observaciones ópticas con telescopios de gran campo de visión son las más utilizadas. Una aportación desde Cataluña a la mitigación de este problema es la participación del telescopio robótico TFRM del Observatorio Fabra y el ROA en varios programas internacionales y, en concreto, europeos de catalogación y seguimiento de basura espacial con el objetivo de colaborar en el establecimiento del sistema europeo SST.



De arriba a abajo, detalle de imágenes de satélites GEO, MEO y LEO. Las imágenes GEO y MEO tienen cinco segundos de exposición, y la LEO, un segundo de exposición. Las estrellas se ven alargadas porque el telescopio sigue al satélite. (Fuente: Telescopio Fabra-ROA Montsec)