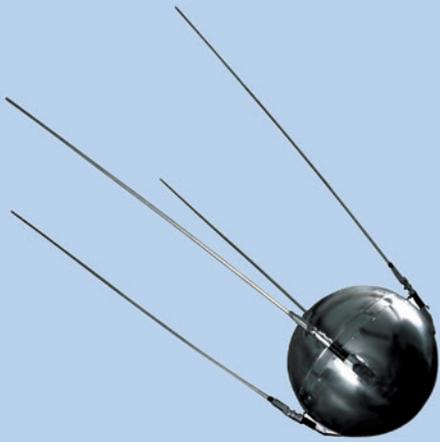


María Guadalupe Cordero Tercero

Basura en el mar, en la tierra y hasta en el espacio



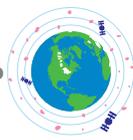
El 4 de octubre de 1957, los habitantes de la Tierra se estremecieron con los primeros pulsos emitidos por el satélite *Sputnik 1*. Esa fecha marcó el inicio de una nueva era de exploración. Sin embargo, existen efectos secundarios: centenas de miles de objetos orbitando alrededor del planeta que se han convertido en una amenaza tanto en el ámbito espacial como en el terrestre.

El cielo se está cayendo. ¡Golpe avisa!

El 10 de febrero de 2010, en las cercanías de la frontera entre los estados de Puebla e Hidalgo, cayó un objeto que provocó alarma entre la población, debido a que se escuchó una fuerte explosión en la atmósfera y se sintieron vibraciones en el suelo, similares a un sismo de pequeña magnitud. Entre las especulaciones que se hicieron en ese momento estaba la de que había caído basura espacial. Investigando este evento, nos dimos a la tarea de buscar indicios al respecto. Tras consultar páginas de internet dedicadas a rastrear este tipo de objetos (como *Celestrak*, *Space Track* y *The Orbital Debris Quarterly News*), encontramos reportes de varias caídas de fragmentos alrededor de esa fecha: el 6 de febrero cayó el fragmento 33755 del *Cosmos 2421*; y el 12 de febrero, el 33006 del mismo satélite. En esta última fecha también se reportó la caída del fragmento 30808 del satélite chino *Fengyun 1C*, así como el fragmento 29455 del *SL-12*. El 10 de febrero igualmente se reportó la caída del fragmento 34251 del tanque *Breeze-M* en una ubicación desconocida (Cordero y cols., 2011). Esta información, además de ayudarnos a descartar que el fenómeno observado en México el 10 de febrero se debió a la entrada de basura espacial (muy probablemente, lo que cayó fue un objeto de naturaleza asteroidal de unos cuantos metros), también es un claro ejemplo de que, alrededor de una fecha al azar, ocurre la caída de múltiples objetos de manufactura humana desde el espacio; en este caso, cinco eventos en menos de ocho días.







En julio de 2000, el médico veterinario zootecnista Javier Patiño Arellano donó al Centro de Ciencias de Sinaloa una pieza de un probable satélite ruso; la identificación fue realizada por César Augusto Rosales Peraza tras ver los caracteres en ese

idioma. Javier Patiño narra que dicho artefacto cayó entre 1994 y 1995 sobre un árbol en la población de Cuesta Blanca en Cosalá, Sinaloa, durante una noche lluviosa con truenos y relámpagos. Él menciona que una de las tres familias que viven en el lugar relató haber escuchado un estruendo muy fuerte; los niños quisieron ir a ver, pero la mamá no los dejó sino hasta el día siguiente, cuando encontraron “la chatarra” –como ellos la llamaron– sobre un árbol. La bajaron y la pusieron en un corral abandonado, donde estuvo por seis meses, hasta que el médico Patiño la vio y solicitó que se la cedieran. Él la trasladó a Culiacán en 1998 (véase la Figura 1). Ésta es una prueba de que la basura espacial puede caer en cualquier parte; además, nos hace pensar que la caída de un artefacto de ese tamaño podría dañar seriamente a una persona.

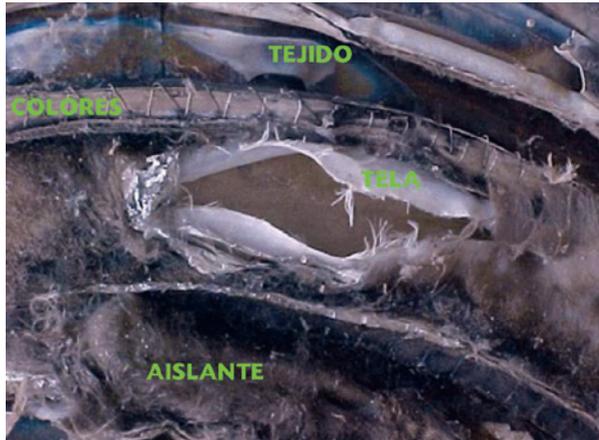


Figura 1. Fotografías de una pieza de chatarra espacial hallada en Cosalá, Sinaloa, por el médico veterinario zootecnista Javier Patiño Arellano, quien aparece en la imagen inferior. Crédito: César Augusto Rosales Peraza.

El espacio se empieza a poblar

En el principio estaba el espacio cercano a la Tierra, y en él sólo estaban la atmósfera y la magnetósfera; a éstas únicamente las perturbaban el viento solar, los rayos cósmicos y el campo magnético del Sol. De repente, el 4 de octubre de 1957, una esfera de aluminio de 58 cm de diámetro invadió ese espacio; dicho objeto se movía a lo largo de una órbita elíptica con perigeo a 230 km de altura y apogeo a 940 km. Este invasor era el primer satélite artificial terrestre, el *Sputnik 1* (véase la Figura 2), pensado

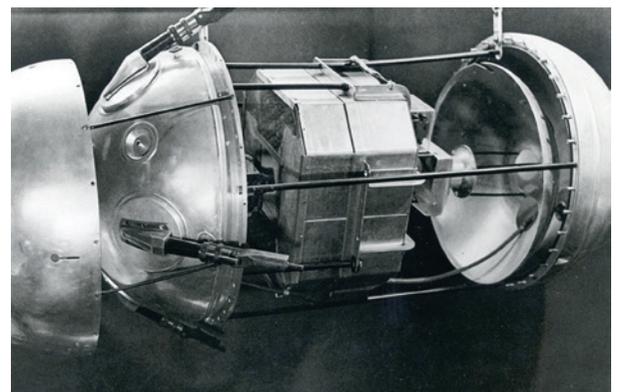


Figura 2. Interior del *Sputnik 1*, el primer satélite artificial de la Tierra. Crédito: FINE ART IMAGES/HERITAGE IMAGES/GETTY <<https://cosmosmagazine.com/space/how-sputnik-1-launched-the-space-age>>.

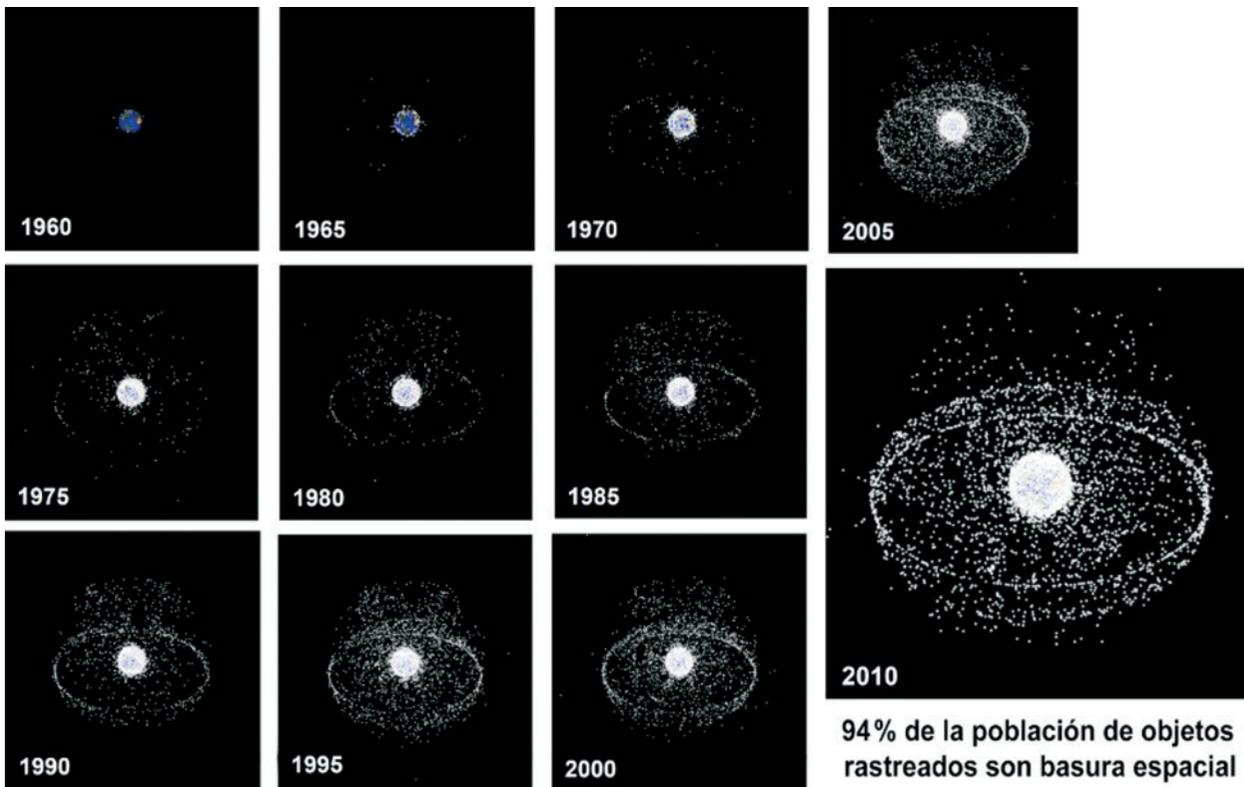


Figura 3. Aumento de la población de satélites artificiales que rodean la Tierra. Crédito: Stansbery, G., "NASA's Orbital Debris Program Office".

para apoyar las observaciones que se llevaron a cabo durante el Año Geofísico Internacional (1957); una de sus metas fue detectar la entrada de meteoroides a la atmósfera terrestre. El *Sputnik 1* cayó a la superficie terrestre el 4 de enero de 1958, por lo que el espacio de nuevo quedó "limpio". Sin embargo, a partir de dicho acontecimiento, tanto la Unión Soviética como los Estados Unidos de América iniciaron una carrera por conquistar el espacio exterior. En 1958 se creó la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). La Figura 3 muestra el aumento de los satélites artificiales puestos en órbita de 1960 a 2010.

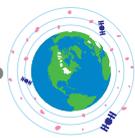
En junio de 1961, el satélite estadounidense *Transit-4A* fue el objeto número 116 lanzado a orbitar la Tierra. Su objetivo: ser parte de una red de satélites de navegación.¹ Sin embargo, la explosión del último propulsor del cohete *Thor-Ablestar*, de donde fue lanzado, lo hizo reventar en 298 frag-

mentos rastreables; 40 años después, 200 de estos objetos continuaban en órbita. Éste fue el primer caso en el cual un satélite se fragmentó en órbita (Klinkrad, 2006).

Los fragmentos mencionados en el párrafo anterior tienen un nombre. En 2002, el Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) definió a la basura espacial o basura orbital como "todos los objetos hechos por el ser humano, o sus fragmentos, en órbita terrestre o en reentrada a la atmósfera, que no son funcionales" (Klinkrad, 2006). La mayor parte de la basura espacial se ha generado por:

- a. Explosiones tanto de las naves espaciales como de los propulsores. Éstas se deben a la fuga o el mezclado de los combustibles en los tanques o en los conductos cuando el medio espacial afecta partes internas y externas de las naves y sus propulsores.
- b. Lanzamientos de misiles en pruebas antisatélites con la intención explícita de destruirlos.

¹ Véase <https://space.skyrocket.de/doc_sdat/transit-4.htm>.



- c. Colisiones accidentales entre astronaves, entre astronaves y fragmentos, o bien entre fragmentos.
- d. Liberación de polvo y partículas de óxido de aluminio, de tamaños micrométricos hasta centimétricos, producidos por el encendido de motores.
- e. Liberación de alambres de cobre como parte de algún experimento.
- f. Pérdida de las cubiertas y de la pintura de los satélites y demás artefactos, debido a las colisiones con átomos de oxígeno y micrometeoritos.
- g. Liberación de agua del transbordador espacial, lo cual produce nubes de copos de nieve.

La basura espacial comprende cubiertas, tapas de lentes, etapas superiores de los propulsores, tuercas, pernos, virutas de pintura, pedazos de hojas de metal y partículas de aluminio (Portree y Loftus, 1993).²

Un paréntesis

De acuerdo con la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés), las órbitas en que se mueven los satélites artificiales se clasifican en seis tipos: órbitas geoestacionarias (GEO), órbitas en transferencia geoestacionaria, órbitas terrestres bajas (LEO), órbitas terrestres medias, órbitas polares y órbitas sincrónicas solares. Los objetos en GEO se mueven a una altura de 36 000 km y a una velocidad de 3 km/s; su posición los hace ideales para misiones de telecomunicaciones y estudios del clima. Por otra parte, los satélites en LEO tienen órbitas cuya altura se encuentra entre 160 km y menos de 1 000 km sobre la superficie terrestre; su velocidad es del orden de 7.8 km/s. La Estación Espacial Internacional tiene este tipo de órbita (aproximadamente a 400 km de altura sobre la superficie terrestre).³ Si consideramos que 7.8 km/s equivalen a 28 080 km/h, y 3 km/s son 10 800 km/h, es fácil entender por qué la colisión entre estos objetos suele ser catastrófica. Tomando esto en cuenta, la Estación Espacial Internacional

² Véase <https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Safety/Space_Debris/About_space_debris>.

³ Véase <https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Types_of_orbits>.

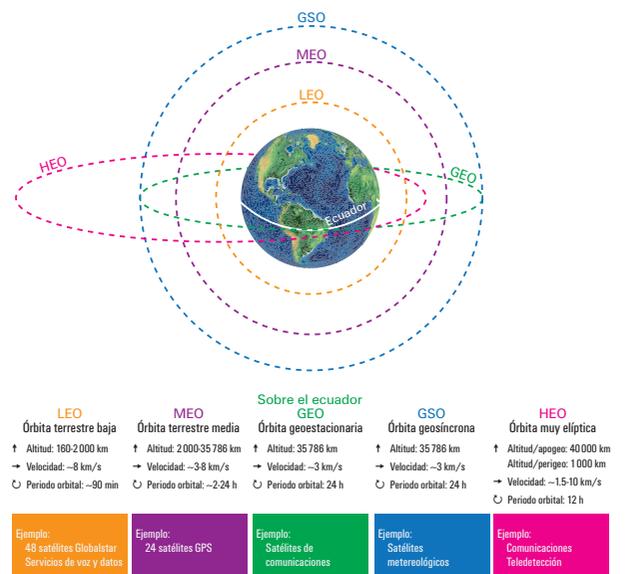
tiene un escudo que la protege de colisiones con objetos menores o iguales a 1 cm, aproximadamente.

Reconocimiento del problema y primeros intentos por resolverlo

En 1977, Donald Kessler y Burton Cour-Palais llegaron a la conclusión de que, si no se hacía algo, la basura espacial en LEO representaría un riesgo mayor de colisión que el debido a los impactos con meteoroides. De hecho, en 1990, Kessler describió lo que se conoce como el síndrome de Kessler, según el cual se desencadenaría un proceso iniciado por la colisión entre objetos intactos seguida por la colisión de fragmentos (debidos a estas colisiones) con objetos intactos y otros fragmentos. Según este esquema, en algún momento sería imposible detener las colisiones, aun cuando dejaran de enviarse más satélites, pues algunas regiones en LEO se harían poco seguras por un largo tiempo. En 1996 ocurrió la primera colisión en LEO cuando el satélite *Cerise* fue dañado por un fragmento del *Ariane*, cuya explosión ocurrió en 1986. Anteriormente, en GEO ocurrió la primera explosión en junio de 1978.

El United States Space Command (USSPACECOM, 1985-2002) fue un comando del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América cuyo

TIPOS DE ÓRBITA



objetivo consistía en coordinar el uso del espacio exterior. Para 1993, este comando había catalogado unos 7200 objetos como basura espacial; los más pequeños eran de 10 cm. Sin embargo, se estimó que por cada objeto observable había 20 objetos de 1 cm no detectados, 10000 objetos de 1 mm y quizá trillones de objetos de 1 micra (Portree y Loftus, 1993).

Para tener una idea clara de las implicaciones de una colisión, incluso con objetos pequeños, podemos comentar el caso del choque de un fragmento de ~1 cm con el panel solar del satélite *Sentinel-1A*. El impacto produjo en el panel un hoyo de 40 cm de diámetro, lo cual disminuyó la cantidad de energía captada por las celdas solares (Pultarova, 2017).

En 1979 el astrónomo checo Luboš Perek presentó en un coloquio su trabajo “Outer Space Activities versus Outer Space”, con el cual hace ver el problema de no considerar seriamente la colisión entre satélites o con sus fragmentos. Si bien se da cuenta de que es imposible evitar las colisiones, propone una serie de medidas para minimizar sus efectos:

- a. Reducir la cantidad de detritos producidos durante el lanzamiento y las operaciones.
- b. Sacar de órbita a los satélites inactivos.
- c. Colocar a los satélites inactivos en órbitas de “desecho” (órbitas más lejanas que las GEO).
- d. Usar órbitas de no intersección en áreas específicas del espacio.

Como dato curioso, en 1992 Perek presentó el trabajo “Must Space Missions be Beneficial?”, en el que hace notar posibles conflictos de interés, pues lo que puede ser benéfico para unos países o grupos puede no serlo para otros. Uno de los ejemplos que menciona es la propuesta de poner restos cremados en el espacio, pues la colisión con éstos puede ser peligrosa para los astronautas (Portree y Loftus, 1993).

Riesgos debidos a la basura espacial

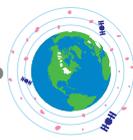
 En esencia, existen tres riesgos importantes asociados a la basura espacial, tanto en el espacio como en la superficie terrestre. Por lo mencionado en los párrafos anteriores, resulta evidente que la basura

orbital puede causar daños muy serios e, incluso, destruir satélites en operación. Este escenario no sólo representa pérdidas económicas, sino también un retraso en las investigaciones, telecomunicaciones o programas de protección civil y sociales para los que estaba destinado el satélite. También se pueden ver afectados los astronautas que están en la Estación Espacial Internacional, en los transbordadores o en las futuras misiones tripuladas a la Luna o a Marte. Como un ejemplo, la película *Gravity* (2013) –aunque muy Hollywoodense– puede darnos una idea del riesgo que corren los seres humanos en el espacio.

Por otro lado, para los habitantes en la superficie terrestre (plantas y animales –pues aunque nos preocupen más los seres humanos, no somos los únicos afectados–), la basura espacial tiene dos peligros potenciales: la caída de objetos grandes que no se deshagan o no frenen en la atmósfera y el riesgo de liberación de sustancias peligrosas (Klinkrad, 2006).

Cuando un objeto ingresa a la atmósfera de la Tierra a hipervelocidad, la interacción con las moléculas del aire provoca que dicho objeto se caliente, se funda e, incluso, se evapore y se ionice. Esto ablaciona el objeto, es decir, le resta masa. Además de este fenómeno, puede llegar a ocurrir que, en algún momento, la presión aerodinámica que ejerce el aire sobre el objeto supere su resistencia interna y provoque su fragmentación súbita (Ceplecha y cols., 1998). Las dos opciones mencionadas involucran tanto al material asteroidal y cometario como a la basura espacial que reingresa a nuestra atmósfera. Los objetos relativamente pequeños pueden llegar a ablacionarse completamente, o bien pueden perder mucha rapidez, de tal manera que al alcanzar la superficie no representan una amenaza; no obstante, los objetos muy masivos sí son un problema. Dos ejemplos de esto fueron la reentrada del *Skylab* (74 toneladas) sobre el océano Índico y Australia en julio de 1979 y la del *Salyut-7* (40 toneladas) sobre Sudáfrica en febrero de 1991.

El segundo problema lo constituyen los materiales radioactivos que sirven de combustible a algunas astronaves. El primer incidente de este tipo ocurrió en abril de 1964, cuando el satélite *Transit 5BN-3*



reingresó a la atmósfera debido a una falla de lanzamiento; su generador térmico arrojó a la atmósfera, sobre el océano Índico, 1 kg de plutonio. El segundo incidente se debió a la falla del satélite *Cosmos 954*, después de tres meses de su lanzamiento, el cual reingresó sin control sobre Canadá. En este caso, se dispersaron 30 kg de uranio radioactivo a lo largo de una trayectoria de aproximadamente 1 000 km. Tal incidente provocó una demanda por parte de Canadá para reclamar la compensación de daños por seis millones de dólares, así como la preparación, por parte de la Organización de las Naciones Unidas, del documento “UN Principles Relevant to the Use of Nuclear Power Sources in Space”. Asimismo, en un tercer incidente, en febrero de 1983, el *Cosmos 1402* cayó sobre el Atlántico sur; este satélite también contenía un reactor nuclear, pero al parecer, en este caso, no hubo escape de material radioactivo (Klinkrad, 2006).

¿Capturarlos o removerlos? He ahí el dilema

A la fecha se han propuesto varios métodos para lidiar con la basura espacial. Éstos se pueden agrupar en dos categorías: métodos de captura y métodos de remoción o traslado. Todos toman en cuenta que la basura orbital se compone de objetos cuyo movimiento no puede ser controlado y los cuales no tienen estructuras adecuadas para ser sujetados; otro punto importante es el hecho de que estos objetos rotan y se bambolean. Estas tres características dificultan su manejo.

Los métodos de captura pueden dividirse a su vez en captura por conexión rígida y captura por conexión flexible. Los métodos de captura por conexión rígida involucran uno o varios brazos mecánicos con distintos diseños. En todos los casos, las simulaciones realizadas con dichos diseños requieren que se resuelva el bamboleo o la rotación de los fragmentos o satélites, así como que se minimice el impacto que sentirán los brazos y la nave a la que vayan anclados cuando uno o varios de los brazos entren en contacto con el objeto que se quiere capturar (Shan y cols., 2016). Por otra parte, el método por conexión flexible tiene la ventaja de que la captura se puede



hacer mediante una red, una agarradera sujeta a una cuerda o un arpón. De todos los métodos de captura, el más prometedor es el método de captura por red (Shan y cols., 2019).

En tanto, entre los métodos de remoción o de traslado se encuentran los sistemas de aumento del arrastre, las ataduras electrodinámicas, la fuerza de radiación solar, los métodos de remoción sin contacto y los métodos de remoción por contacto.

Los sistemas de aumento del arrastre están pensados para ser utilizados con objetos que están orbitando en LEO, pues estos sistemas funcionan debido a la interacción con la atmósfera. De hecho, la idea es aumentar el cociente área/masa del objeto para que la atmósfera lo frene, de manera parecida a como lo hace con un paracaídas. En estos sistemas, la forma de aumentar el área es cubriendo el objeto con espuma, balones o fibras, para así aumentar su área de contacto con el aire.

El método de ataduras electrodinámicas también está pensado para la basura orbital en la región de LEO. Para que este método funcione, se necesita que un brazo robótico o un arpón sujete al objeto una cuerda por la cual se pase corriente a la basura orbital. La interacción de esta corriente con el campo geomagnético produce la disminución de la órbita del objeto.

Por otra parte, el método por presión de radiación puede ser aplicado a satélites cuya forma de

propulsión no esté funcionando, pero cuyo sistema de direccionamiento de los paneles solares siga activo. En este caso, la idea es orientar los paneles solares en distintas direcciones con respecto al Sol para que la presión de la radiación de la luz solar sobre ellos disminuya su órbita.

Asimismo, la esencia de los métodos de remoción sin contacto es disminuir la velocidad del objeto para modificar su órbita. Una de las tres propuestas para hacer esto consiste en arrojar una atmósfera artificial en la trayectoria de la basura orbital para aumentar el arrastre sobre el objeto, de tal manera que se disminuya su velocidad y su órbita. Las otras dos opciones, cuyo resultado es también desacelerar el objeto y disminuir su órbita, son enviar pulsos láser o arrojar un rayo de plasma altamente **colimado**. De las tres propuestas mencionadas en este párrafo, la de la atmósfera artificial es una de las más promisorias.

Sin embargo, los métodos de remoción por contacto tienen la particularidad de que cada nave puede remover más de una basura orbital. En el método de resortera, el satélite captura un objeto y lo lanza hacia la superficie terrestre; después, puede atrapar otro de los desechos utilizando el momento generado por el primer lanzamiento. También está el método adhesivo, que propone enviar una nave “madre” con seis “niños”. Cuando la nave “madre” se encuentra cerca de una basura espacial, lanza a

uno de los “niños”, el cual se adhiere al objeto. El “niño” tiene un propulsor que modifica la órbita de la basura espacial (Shan y cols., 2016).

Es interesante notar que, a diferencia de la basura en la Tierra, el asunto de la basura espacial se ha tomado con mucha más seriedad, posiblemente porque puede afectar proyectos multimillonarios. Por otro lado, también es cierto que las comunicaciones son muy importantes para nuestras actividades personales y profesionales, razón por la cual no en vano existen constelaciones con decenas o centenas de satélites artificiales que están orbitando el planeta. Sea como sea, es importante evitar ahogarnos en basura terrestre y espacial, por lo que debemos actuar antes de llegar a un escenario similar al mostrado en la película *Wall-e* (2008).

María Guadalupe Cordero Tercero

Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

gcordero@igeofisica.unam.mx

Colimado

Un haz cuyos rayos son paralelos.



Referencias específicas

- Ceplecha, Z. *et al.* (1998), “Meteor phenomena and bodies”, *Space Science Reviews*, 84:327-471.
- Cordero, G., K. Cervantes de la Cruz y E. Gómez (2011), “The bolide of February 10, 2010: Observations in Hidalgo and Puebla, Mexico”, *Geofísica Internacional*, 50(1):77-84.
- Klinkrad, H. (2006), *Space debris. Models and risk analysis*, Alemania, Springer-Praxis.
- Portree, D. y J. Loftus (1993), “Orbital debris and near-Earth environmental management: A chronology”, Technical Report 1320, NASA Reference Publication.
- Pultarova, T. (2017), “Could Cubesats Trigger a Space Junk Apocalypse?”, *Space.com*. Disponible en: <<https://www.space.com/36506-cubesats-space-junk-apocalypse.html?jwsourc=cl>>, consultado el 21 de abril de 2020.
- Shan, M., J. Guo y E. Gill (2016), “Review and comparison of active space debris capturing and removal methods”, *Progress in Aerospace Sciences*, 80:18-32.
- Shan, M., J. Guo y E. Gill (2019), “Contact dynamic models of space debris capturing using a net”, *Acta Astronautica*, 158:198-205.