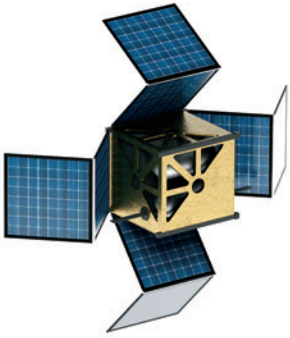


Celso Gutiérrez Martínez, Jacobo Meza Pérez y Alfredo Torres Fórtiz



Los satélites pequeños también van al doctor

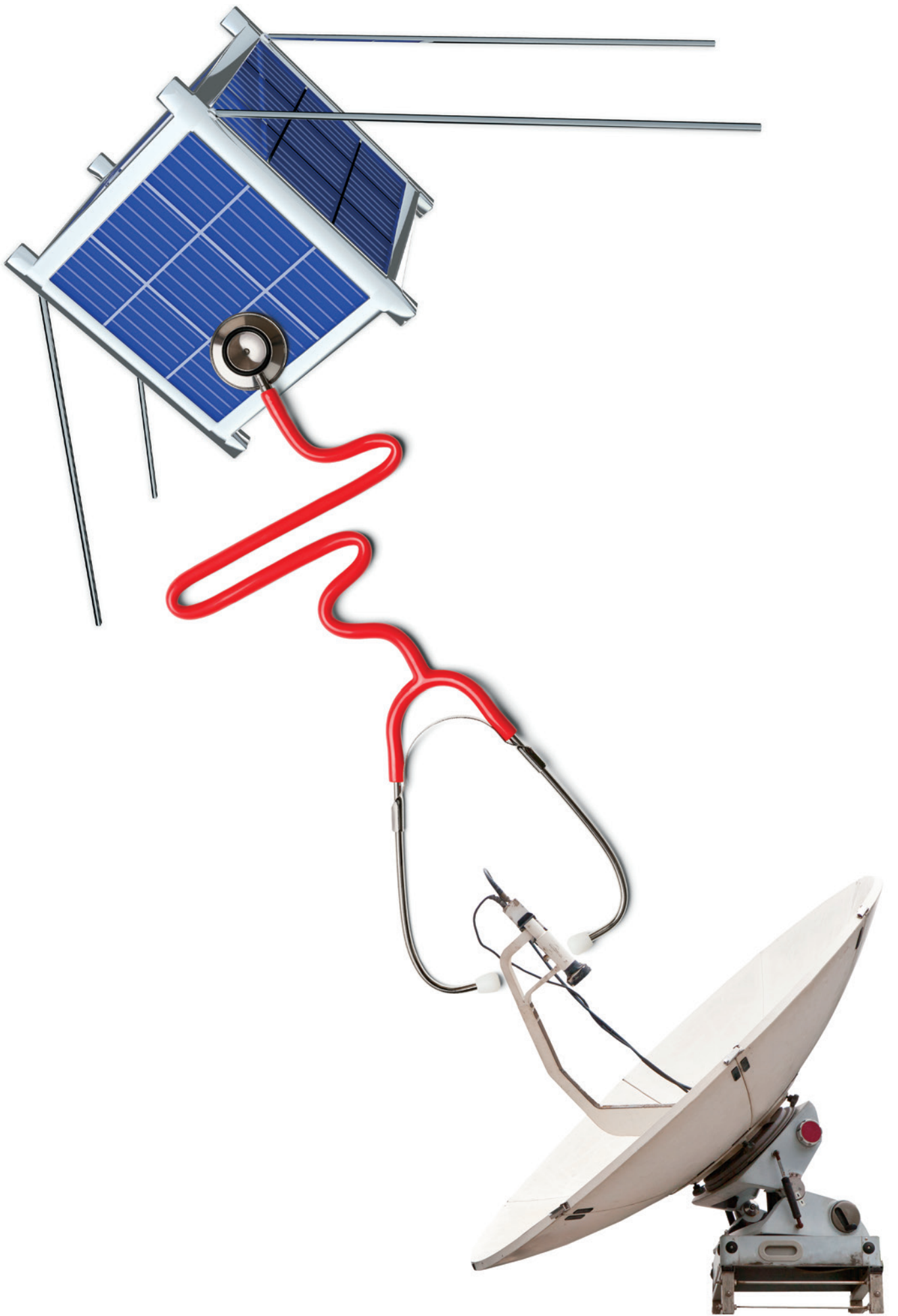
Para mantener el buen funcionamiento de los nanosatélites en el espacio, se deben medir los parámetros vitales (temperatura, presión, velocidad, aceleración, etcétera) a bordo de éstos conforme orbitan alrededor de la Tierra. Estas mediciones se transmiten a la estación de control terrestre, donde los expertos –tal como si fueran “médicos”– las analizan para conocer el estado de “salud” del satélite y así poder llevar a cabo las correcciones necesarias.

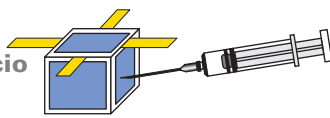
Introducción

En el marco del uso del espacio con fines pacíficos, en las dos décadas recientes la tecnología satelital se ha diversificado. Tradicionalmente, los satélites artificiales han sido de grandes dimensiones (varios metros) y con un peso superior a 100 kg. No obstante, la diversificación tecnológica y la miniaturización de los componentes están permitiendo el desarrollo de satélites pequeños, en particular las tecnologías TubeSat y CubeSat.

Los satélites pequeños –con frecuencia llamados nanosatélites– son mecanismos autónomos que han emergido como una tecnología de poca complejidad y bajo costo, pero con la capacidad de realizar misiones espaciales de diversa naturaleza. Los nanosatélites más conocidos son los denominados CubeSat, que son pequeños cubos de 10 cm de lado y que alcanzan un peso máximo de 1 kg. Estos satélites pequeños se integran con todos los subsistemas funcionales: generación de potencia eléctrica, computadora de vuelo, comunicaciones de radiofrecuencia, telemetría y telecomando, sensores (temperatura, presión, posición y orientación, velocidad, aceleración, entre otros), actuadores, subsistemas de misión, etcétera, los cuales aseguran la operación del satélite y el éxito de una misión en el espacio.

La tecnología CubeSat está disponible de manera extensa para que las personas y organizaciones de diferentes vocaciones puedan diseñar y realizar misiones espaciales de interés específico, incluidas las misiones científicas, tecnológicas, ambientales, educativas, de salud, iniciativas ciudadanas, entre muchas otras.





Una misión espacial basada en nanosatélites consta de dos elementos que son complementarios: el nanosatélite puesto en órbita y al menos una estación terrena. Ambos –separados por varios cientos de kilómetros– se enlazan únicamente por ondas de radio que les permiten comunicarse para intercambiar información y datos, así como para ejecutar órdenes y comandos que son enviados desde la Tierra. La Figura 1 muestra la configuración básica de un enlace satélite-estación terrena; la comunicación se realiza mediante ondas de radio.

Un nanosatélite es un sistema autónomo mínimo capaz de realizar una misión espacial, para lo cual requiere de un conjunto de subsistemas funcionales que permitan su operación exitosa. Los subsistemas principales (véase la Figura 2) son: generación de energía eléctrica mediante celdas solares y su almacenamiento en baterías, computadora de vuelo, subsistema de sensores de parámetros vitales de funcionamiento (termómetros, brújula de orientación, presión, velocímetro y aceleración, potencia eléctrica, etcétera), subsistema de radioco-

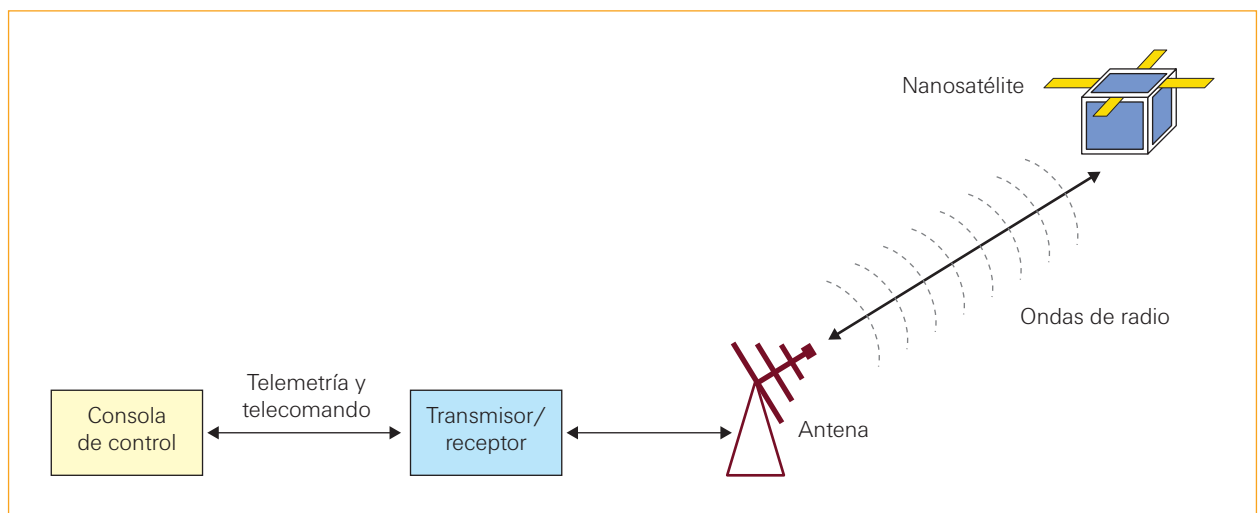


Figura 1. Esquema básico de un enlace nanosatélite-estación terrena. La comunicación se realiza mediante ondas de radio.

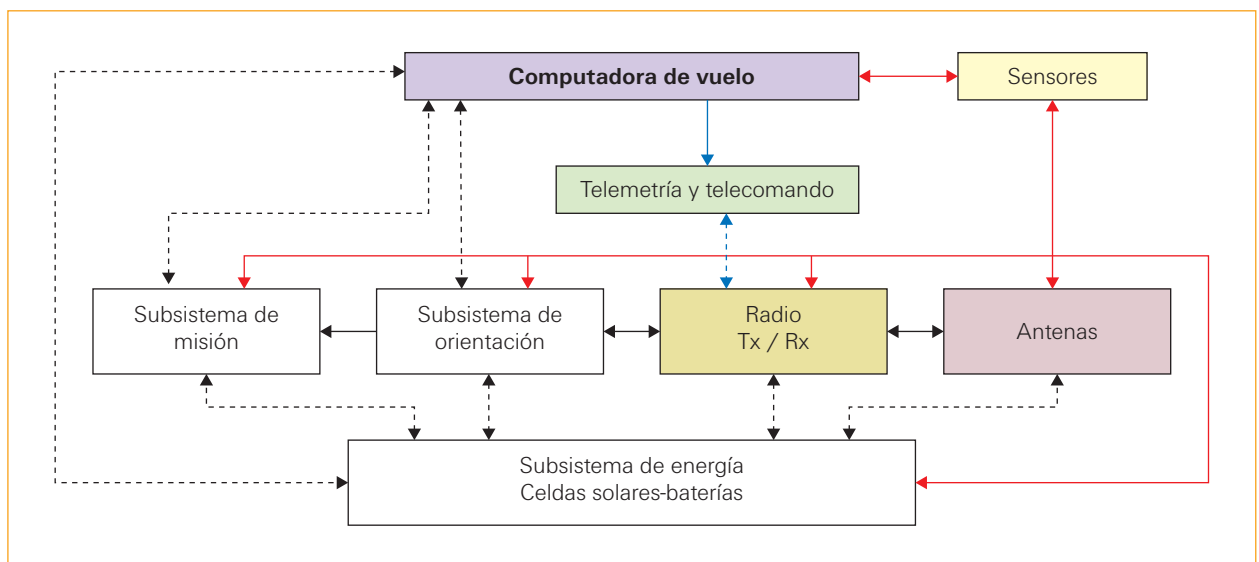



Figura 2. Subsistemas vitales a bordo de un nanosatélite. Los subsistemas de monitoreo de la “salud” del satélite son: sensores, computadora de vuelo y telemetría, y telecomando.

municación con estaciones terrenas, subsistema de telemetría y telecomando, y subsistemas de misión espacial. En este conjunto, la computadora de vuelo es el cerebro del nanosatélite y se encarga de vigilar y regular las condiciones de funcionamiento de todo el sistema.

Subsistema de sensores del nanosatélite

 Los sensores de variables físicas (temperatura, presión, velocidad, aceleración, entre otras) a bordo de los satélites pequeños permiten conocer la dinámica de los cambios de dichas variables conforme el objeto se mueve en órbita alrededor de la Tierra. Las variables físicas se miden mediante sensores, los cuales son dispositivos eléctricos o electromecánicos colocados en los diferentes subsistemas. Los sensores generan señales eléctricas que representan las variables físicas relacionadas con las condiciones de operación del satélite. En una analogía con los seres vivos, los sensores a bordo del satélite son sus sentidos, y se comunican con el cerebro –que es la computadora de vuelo– para indicar cuál es el estado de “salud” de todos los subsistemas a bordo.

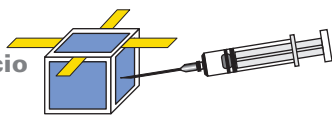
El subsistema de sensores incluye, entre otros, los dispositivos siguientes:

- 1. Sensores de temperatura o termómetros:** son elementos electrónicos que miden la temperatura en el satélite. Por una parte, el nanosatélite se enfría por debajo de 0 °C cuando se desplaza en su órbita por la cara oscura de la Tierra; en tanto, se calienta a más de 50 °C cuando se desplaza por la cara iluminada del planeta. Estos cambios de temperatura son críticos, ya que los dispositivos y subsistemas pueden enfriarse o calentarse demasiado y sufrir daños que afecten eventualmente al funcionamiento de todo el sistema. Asimismo, la temperatura al interior del nanosatélite debe mantenerse entre 20 y 30 °C, condición que es monitoreada por los



termómetros que envían la información a la computadora de vuelo para que se registre y se transmita a tierra.

- 2. Sensores de posición y orientación:** son giróscopos que desempeñan el papel de brújulas y permiten orientar al nanosatélite a lo largo de su órbita. Estos dispositivos detectan el campo magnético de la Tierra y lo toman como referencia para orientar y dirigir al satélite, de forma que “vea” hacia nuestro planeta y así establezca comunicación con las estaciones terrenas. De esta manera, puede transmitir o recibir información de telemetría y telecomandos, y también se asegura la transmisión de los datos de la misión espacial del nanosatélite.
- 3. Sensores de velocidad y aceleración:** son dispositivos que miden la velocidad y aceleración que experimenta el satélite a lo largo de su órbita alrededor de la Tierra. Esta medición aporta datos respecto a la dinámica orbital y determina el tiempo que tarda el satélite en dar una vuelta a la Tierra; a la vez, permite



calcular el tiempo en que el satélite será visible sobre una región del planeta.

4. **Sensores de energía y potencia eléctrica:** son dispositivos que pueden medir los voltajes y las corrientes que se generan mediante las celdas solares y que se almacenan en las baterías. Esto constituye la fuente de energía del nanosatélite. De la misma manera, hay medidores de voltaje y corriente para observar y monitorear los consumos de los diferentes subsistemas del nanosatélite. Estos datos son relevantes porque indican el estado de funcionamiento de todos los subsistemas; su monitoreo y análisis permite detectar problemas y la probabilidad de fallas.

Las señales medidas por los sensores aportan información crítica relativa a la “salud” del satélite. Estas señales se adquieren y procesan gracias al cerebro del sistema (la computadora de vuelo) y a los circuitos electrónicos auxiliares a bordo del nanosatélite. Los datos se convierten en datos digitales con

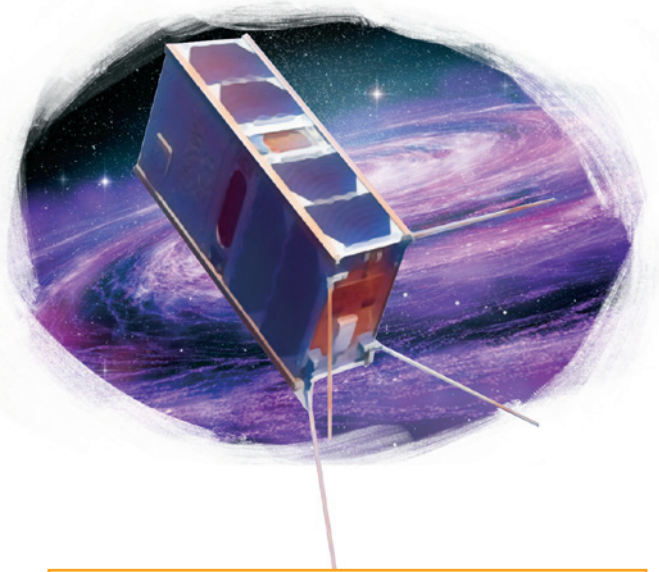
la ayuda de la computadora y se almacenan en el satélite. La computadora de vuelo registra las condiciones de funcionamiento, las compara con valores de referencia y puede determinar si es normal. Asimismo, los datos vitales se guardan en el subsistema de telemetría y telecomando. Si la computadora encuentra condiciones anormales, puede generar alarmas, controlar o corregir los errores y, en caso necesario, apagar el subsistema que tiene problemas. Los datos se envían a tierra mediante el subsistema de telemetría y telecomando vía el sistema de radio que se comunica con la estación terrena supervisora.

Asistencia “médica” al nanosatélite

Mediante el subsistema de comunicaciones de radio, la computadora de vuelo puede ordenar la transmisión de los datos vitales (temperatura, presión, orientación, carga de baterías, potencias consumidas, etcétera) del satélite hacia la Tierra, siempre y cuando se establezca comunicación con alguna estación terrena que pueda recibir las señales. Una



vez que los datos se reciben en tierra, los ingenieros o técnicos –en el rol de “médicos” de satélites– analizan la información con el objetivo de conocer el estado de “salud” del nanosatélite en el espacio. Con base en los datos vitales, pueden diagnosticar los problemas y emitir “recetas” en forma de medidas preventivas, o eventualmente correctivas, las cuales se transmiten al satélite como instrucciones y órdenes por medio de telecomandos. Dependiendo de las capacidades a bordo, es posible corregir errores y fallas en los subsistemas para que el satélite siga operando y cumpla con su misión espacial.



Celso Gutiérrez Martínez

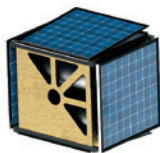
Laboratorio de Comunicaciones de Radiofrecuencia, Fibra Óptica y Sistemas Satelitales, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
cgutz@inaoep.mx

Jacobo Meza Pérez

Laboratorio de Comunicaciones de Radiofrecuencia, Fibra Óptica y Sistemas Satelitales, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
jmeza@inaoep.mx

Alfredo Torres Fórtiz

Laboratorio de Comunicaciones de Radiofrecuencia, Fibra Óptica y Sistemas Satelitales, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
afortiz@inaoep.mx



Referencias específicas

Duarte, C. (2016), “CubeSats: la gran oportunidad para el acceso al espacio”, *Hacia el Espacio*. Disponible en: <<http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=289>>, consultado el 4 de mayo de 2020.

Gutiérrez, C. (2017), “Nanosatélites: tecnología espacial al alcance de todos”, *Noche de las Estrellas*. Disponible en: <https://www.nochedelastrellas.org.mx/docs/Articulos/2017/4_2_Nanosatelites.pdf>, consultado el 4 de mayo de 2020.

Harris, M. (2013), “Space on \$35 a day. Citizen science satellites allow anyone to run experiments in orbit”, *IEEE Spectrum*, 11(50):20-21.

La Jornada de Oriente (2016), “*Ulises 1*, el primer nanosatélite mexicano”, *Saberes y Ciencias*, 49(5):19.

Peck, M. (2011), “Chips in space”, *IEEE Spectrum*, 48(8):42-47.

Quo (2016), “México lanzará un satélite de 13 cm”, *Quo*, 222: 18-19.

Smil, V. (2017), “Suptnik at 60”, *IEEE Spectrum*, 10(54):20. Disponible en: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8048831>>, consultado el 4 de mayo de 2020.

Valdez Alvarado, A. (2015), “Nanosatélites”, *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*, 6:7-12.