

INTRODUCCIÓN A LOS PEQUEÑOS SATÉLITES

Colpari Carrizo Luis Ricardo¹

Ingeniero de Segmento Terrestre. Agencia Boliviana Espacial (A.B.E.)
ricardo_colpari@yahoo.com

ABSTRACT

This paper introduces the basic parameters of space technology, citing the main obstacles to develop space projects, in particular the launch of spacecraft and orbit insertion, these spacecrafts are usually called satellites. The main features of traditional industry satellites are described, which are high cost and large dimensions, demanding significant investments in time and skilled staff in space projects. The alternative are Small-sats, which can be useful for research and development of new space projects due to their lower cost, less development time, and relative simplicity in assembly, integration and testing, examples of future projects are mentioned, showing the qualities and advantages of using Smallsats in new space projects over the constraints of traditional satellites.

RESUMEN

Este trabajo presenta algunas características básicas de la tecnología espacial, mencionando los principales obstáculos para el desarrollo de la misma, particularmente la puesta en órbita de objetos en el espacio, mejor conocidos como satélites. Se introducen las características básicas de los satélites tradicionalmente utilizados en la industria, que suelen de ser de alto costo y gran tamaño, requiriendo proyectos de gran envergadura e inversiones considerables. Luego se presenta la alternativa de los satélites pequeños, que demuestran ser alternativas útiles para la innovación y el desarrollo de nuevos proyectos espaciales, por su menor costo, menor tiempo de implementación y relativa facilidad de construcción, se mencionan ejemplos de futuras implementaciones y las ventajas relativas de usar sistemas espaciales con satélites pequeños.

PALABRAS CLAVE

tecnología, espacial, satélite pequeño, aeroespacial, innovación, industria satelital, smallsat

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología espacial se refiere a todos aquellos sistemas que son necesarios para lograr acceder, enviar o preservar objetos o vehículos en el espacio, típicamente la frontera de la tierra con el espacio está establecida a partir de una altura de 100 Km sobre la superficie terrestre.

El lanzamiento es la clave, y a la vez el principal obstáculo, de todas las actividades espaciales. Entre las principales dificultades de colocar un objeto en el espacio se tienen las siguientes [1]:

La Física se opone al vuelo en el espacio: el campo gravitatorio de la tierra ejerce una fuerza considerable para que ningún objeto escape de su cercanía.

Nada funciona bien la primera vez que se intenta: la experiencia muestra que los proyectos de ingeniería necesitan un proceso de prueba-error antes de alcanzar el éxito completo.

Nunca alcanza el tiempo o el dinero para hacer todo lo que se desea antes de lanzar algo: el calendario y recursos de los proyectos son usualmente las principales limitantes en los proyectos espaciales.

La prudencia influye todas las decisiones: debido a las altas inversiones en tiempo y recursos para un proyecto espacial, se busca lograr una alta confiabilidad, muchas veces limitando la innovación.

Para que un objeto se mantenga de manera estable en el espacio, usualmente se busca que llegue a orbitar un cuerpo celeste de mayor tamaño, en el caso de la tierra, para que un objeto pueda alcanzar una órbita terrestre, es necesario que alcance energía para mantenerse en un estado de caída permanente, como se puede observar en la Fig. 1.

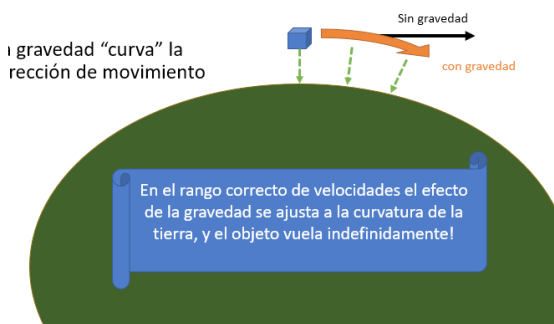


Fig. 1. Un objeto con velocidad horizontal puede alcanzar un desplazamiento indefinido si es impulsado a la velocidad necesaria.

En términos relativos, casi el 90% de la energía necesaria para que un objeto entre en órbita terrestre es la velocidad adquirida, por ejemplo, para alcanzar una órbita de aproximadamente 100 Km de altura, se necesita una velocidad de ≈ 8 Km/s que equivale a 28.800 Km/hora.

Para alcanzar estas velocidades se usan cohetes lanzadores que ponen los objetos en las alturas adecuadas y con las velocidades necesarias. Estas condiciones son extremas, por lo cual algún mal funcionamiento en el lanzador puede resultar en explosiones catastróficas, inutilizando toda la carga que lleva el lanzador. Por este motivo, se dice que el lanzamiento es el principal obstáculo en todas las actividades espaciales.

Los satélites Tradicionales

Para comprender las aplicaciones de los sistemas que orbitan la tierra, mejor conocidos como satélites artificiales, se debe mencionar los dos tipos más habituales de órbitas circulares [2]:

A. *Órbitas de baja altura - LEO (Low Earth Orbit):* 100 Km a 1.000 Km, algunas de sus características son:

- Mayor facilidad para observar la Tierra: antenas pequeñas, lentes con ópticas reducidas.
- Tiempo de pasada corto, menor a 15 minutos.
- Cobertura global, la pasada del satélite puede cubrir toda la superficie terrestre.
- Menor propelente para el lanzamiento.
- Ambiente espacial más amigable, el planeta Tierra actúa como un escudo a la radiación solar.

B. *Órbitas Geoestacionarias GEO (Geostationary Earth Orbit),* altitud $\approx 36\,000$ Km

- Mejor vista de un punto sobre la tierra, vista estacionaria al orbitar a la misma velocidad que la de giro de la tierra.
- Lanzamiento e instrumentos caros.
- Ambiente espacial más severo.
- Sólo puede ver 1/3 de la Tierra.



Los satélites tradicionales se ubican en cualquiera de estas órbitas, aunque comercialmente los satélites de telecomunicaciones ocupan predominantemente la órbita GEO, tal es el caso del satélite Túpac Katari 1 (TKSAT-1), el cual es un claro ejemplo de algunas características de los satélites tradicionales.

Debido a que la órbita GEO es muy requerida para estos satélites de telecomunicaciones, se la divide en segmentos orbitales o “slots”, como el número de slots es limitado en cada uno de estos slots se colocan satélites grandes en envergadura y con mucha potencia, el TKSAT-1 es un satélite con una masa mayor 5.200 Kg al momento de lanzamiento, de dimensiones 2,36 x 2,1 x 3,6 metros sin paneles solares desplegados, y con paneles solares desplegados, alcanza una amplitud de hasta 27 metros para obtener una potencia de hasta 10500 Watts [3].

Fig. 2. Fotografías del TKSAT-1 (©CAST/ABE), en la imagen superior se aprecia la longitud de uno solo de sus paneles solares, en las imágenes inferiores se observa las grandes dimensiones del satélite en estado plegado para ser colocado en la cofia del lanzador y la cantidad de personal necesario para realizar estas operaciones.

Estos satélites de grandes dimensiones y altos requerimientos son muy complejos desde el punto de vista de la ingeniería, como se puede observar en la Fig. 2, un satélite como el TKSAT-1 cuenta con una diversidad de sistemas, subsistemas, equipos, partes y componentes para cumplir su misión. Dado que están en el espacio lejos de cualquier acercamiento humano, una falla en cualquiera de sus partes puede resultar en la pérdida de la utilidad del satélite, por este motivo se toman medidas tales como colocar doble o triple redundancia para todos los sistemas, hacer análisis exhaustivos de cada componente, someter los satélites a todo tipo de test o ensayos ambientales y eléctricos para asegurar una alta confiabilidad del mismo. Para diseñar, construir o ensamblar un satélite los proyectos suelen tener duración de varios años, y costar cientos de millones de dólares [4].

Estos altos requerimientos en tiempo, costos y recursos humanos altamente capacitados, son la causa principal de que los proyectos espaciales sean escasos y sean mayoritariamente los gobiernos los que puedan solventar proyectos de este tipo.

II. LOS PEQUEÑOS SATÉLITES: PIONEROS DE LA INDUSTRIA AEROSPAZIAL

Todo lo mencionado anteriormente puede ser desafiado por los denominados Small-Sats (pequeños satélites).

La clasificación más común para los pequeños satélites es la siguiente [5]:

- SmallSat < 500 Kg
- Micro Satélite < 100 Kg
- Nano Satélite < 10 Kg
- Pico Satélite < 1 Kg

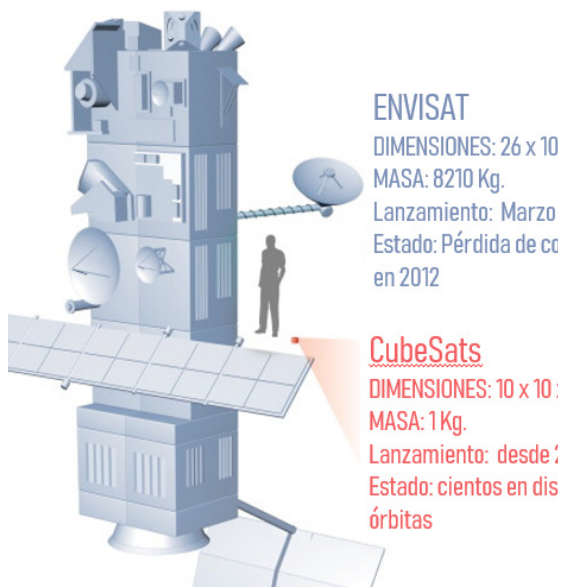


Fig. 3. Comparación de las dimensiones entre un satélite tradicional de uso científico como el ENVISAT lanzado por la Agencia Espacial Europea (ESA) y un nanosatélite del tipo CubeSat.

En principio, un pequeño satélite puede parecer inútil por sus limitaciones de masa, tamaño y volumen, como se puede observar en la Fig. 3, sin embargo, esto ha cambiado radicalmente desde la invención de un estándar para nanosatélites llamado CubeSat. Este estándar define, entre varias cosas, unas dimensiones fijas para los cubesats, masa y escalabilidad en el diseño, es decir, que distintos diseñadores pueden intercambiar partes en-

tre satélites y a la vez escalar sus diseños en cubesats de mayor tamaño. La unidad básica de un cubesat es de 10 x 10 x 10 cm, con un peso de 1,33 Kg, tal cual está definido en el estándar del mismo nombre [6]. Lo que se denomina un cubesat de 1U, cubesats de 3U ó 6U tienen 3 ó 6 veces las dimensiones, masa y volumen de un cubesat de 1 U, como se puede observar en la Fig. 4.

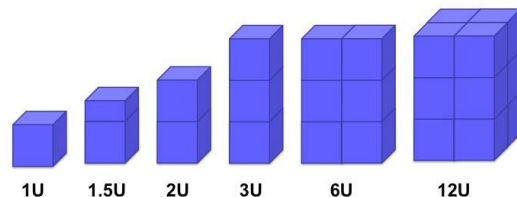


Fig. 4. Escalabilidad del estándar CubeSat: el número de "U" de un cubesat equivale a un múltiplo de veces del volumen del cubesat de 1U que es de 10x10x10 cm.

Inicialmente el estándar CubeSat fue difundido en ámbitos académicos para que los estudiantes puedan tener experiencia real en proyectos espaciales, debido a que el lanzamiento de un cubesat al espacio es una pequeña fracción del costo de enviar un satélite grande al espacio. La experiencia de diseñar, construir y ensamblar satélites reales es invaluable desde el punto de vista de la ingeniería práctica, ya que permite a los estudiantes experimentar con los desafíos reales de fabricar algo que funcione en un ambiente hostil como es el espacio.

Esto ha permitido que mayor número de participantes puedan comenzar a realizar sus propios proyectos espaciales, universidades de todas partes del globo comenzaron a realizar sus propios proyectos CubeSat, posteriormente, los estudiantes que completaron estos proyectos abrieron sus propias empresas "spin-off", mediante las cuales comercializaban algunos diseños realizados en sus propias misiones. A su vez, se sumaron inversores privados, dando inicio a un gran periodo de innovación y crecimiento en el lanza-

miento de cubesats, tal como se ve en la Fig. 5, donde se muestra el crecimiento casi exponencial del número de cubesats puestos en órbita en los pasados años y los cubesats planificados para colocar en órbita en los próximos años

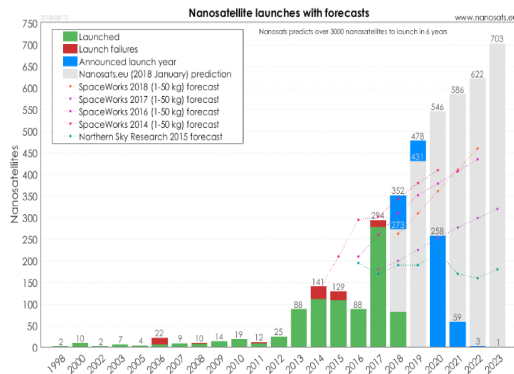


Fig. 5 Número de lanzamientos y predicciones del número de nanosatélites lanzados para los próximos años [7], para el año 2019 se pronostica el lanzamiento más de 400 nanosatélites a nivel mundial.

El incremento de la cantidad de cubesats puestos en órbita abre paso a la innovación, y la evolución de la complejidad de los mismos, los primeros cubesat tenían funciones sencillas, como retransmitir una señal de radio, sin embargo, la evolución de los cubesats permite al día de hoy, que los cubesats puedan realizar misiones científicas reales, e incluso misiones comerciales, es cada vez mayor el número de empresas privadas que se están aventurando a desarrollar sus propios nanosatélites y a incrementar la complejidad de los mismos para conseguir realizar misiones científicas y comerciales más avanzadas, como se ven en la Fig. 6. Las tendencias en misiones exigentes están logrando que los nanosatélites cada vez tengan elementos de mayor complejidad, como paneles solares desplegados, antenas de alta ganancia, velas solares y otros mecanismos desplegados.

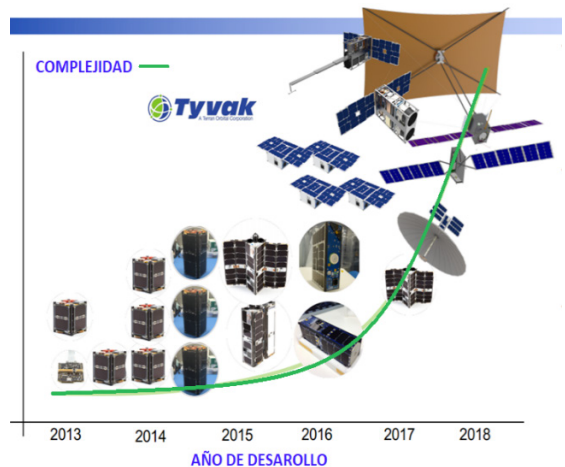


Fig. 6 Tendencias de complejidad de desarrollo de CubeSats de la Empresa Privada Tyvak© [8]

Entre algunas misiones espaciales reales que se están llevando a cabo utilizando nanosatélites se encuentran las siguientes, Fig. 7.:

Othernet

Othernet transmitirá actualizaciones desde internet para todo el planeta, incluyendo áreas donde exista acceso restringido o limitado a internet. Proveerá 10 MB de datos usables por día, gratuitos, para cualquier usuario en el planeta [9].

- Datos de Emergencias.
- Datos en tiempo real para los agricultores.
- Información médica.
- Contenido educativo.

AMODS

AMODS (Autonomous Mobile On-orbit Diagnostic System) es una misión satelital que busca demostrar la capacidad de los cubesats de poder diagnosticar fallas o malos funcionamientos – desempeñar reparaciones en órbita – en los satélites convencionales, como los satélites GEO de telecomunicaciones, su implementación efectiva, puede resultar en la recuperación de varios millones de dólares en la inversión de estos satélites grandes [10].

Spire Global

Es una start-up fundada en 2012.

Su objetivo es prestar varios servicios, tiene los siguientes Instrumentos:

AIS (Servicio de identificación automática) para rastreo de barcos, y naves. Carga útil para medir cambios en la temperatura de la atmósfera, presión y precipitaciones.

Actualmente tiene una Constelación de 103 cubesats lanzados [11].

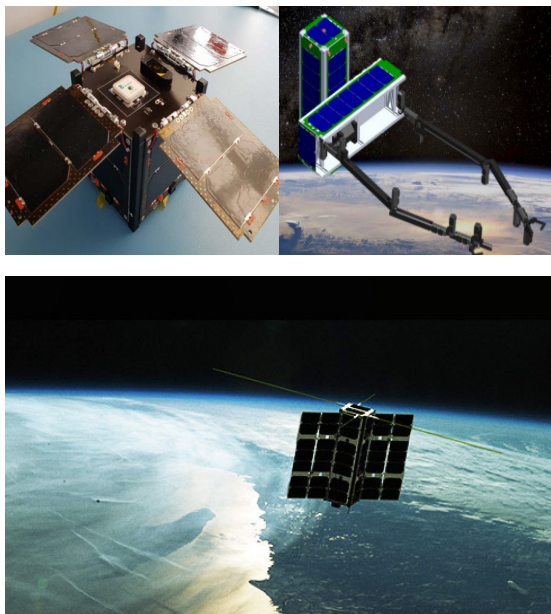


Fig. 7. Superior Izquierda: nanosatélite de la misión Othernet. Superior Derecha: Modelo de concepto de la misión robótica AMODS, Inferior: Concepto artístico de uno de los cubesats de 3U pertenecientes a la constelación de Spire Global.

Estos son sólo 3 ejemplos entre decenas de misiones espaciales reales que se llevan a cabo actualmente utilizando el estándar cubesat. El espectro de misiones se amplía aún mucho más cuando se toman en cuenta los otros tipos de pequeños satélites como ser microsátélites de hasta 100 Kg, en esta categoría se pueden incluir las constelaciones de satélites de comunicaciones en órbita LEO.

Actualmente existen más de 10 compañías privadas internacionales desarrollando este tipo de sistema de comunicaciones [12], entre ellas SpaceX, OneWeb, Telesat, Amazon (Project Kuiper), para tener una cobertura global estas constelaciones deben tener centenas de satélites, siendo el costo de acceso al espacio elevado, estos satélites son diseñados para tener un factor de forma reducido y que la mayor cantidad de estos satélites puedan llegar a órbita en la menor cantidad de lanzamientos posibles.

La implementación de estos sistemas de telecomunicaciones puede llegar a ser revolucionaria porque su cobertura global implica cambios innovadores como la posibilidad de poder acceder a internet desde cualquier punto del planeta contando solo con una antena del tamaño de una caja de pizza, dando posibilidad de tener acceso a internet a miles de millones de personas en el mundo que tienen una conectividad limitada o nula.

III. EL COSTO Y LA CONFIABILIDAD

Se había mencionado anteriormente que el costo es uno de los mayores impedimentos en los proyectos espaciales, en los proyectos de los pequeños satélites el costo se ve reducido por las dimensiones de los mismos, y las capacidades reducidas de los mismos, sin embargo, es necesario tener en cuenta una nueva dimensión: el aseguramiento de Misión.

El aseguramiento de Misión se refiere a todos los procesos, ensayos y pruebas que deben realizarse durante el desarrollo del proyecto, con el objetivo de lograr la mayor probabilidad de éxito en la misión, en la actualidad, los smallsats, especialmente los cubesats, tienen confiabilidades bajas, muchos de ellos presentan fallas en etapas tempranas de su vida útil, parcialmente debido a la filosofía de probar nuevas tecnologías, esto es una ventaja y desventaja a la vez respecto a los satélites

grandes: en un satélite grande es demasiado costoso tratar de innovar, ya que es un posible punto de falla, esta innovación se realiza en satélites pequeños ya que incluso teniendo fallos en la misión, las inversiones de tiempo y dinero son menos considerables.

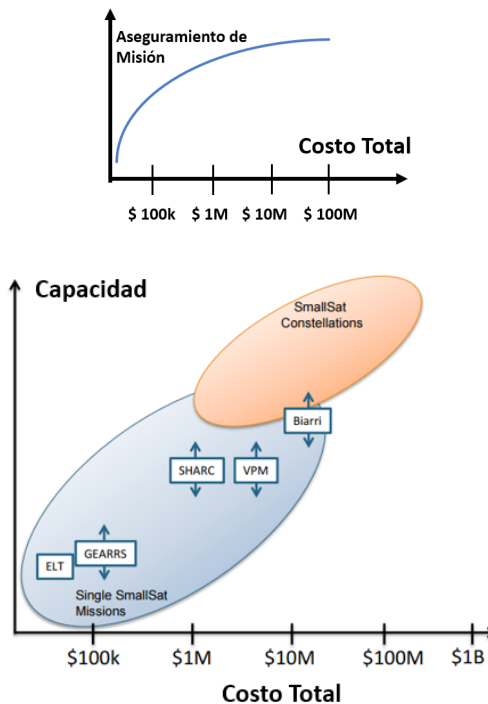


Fig. 8. Superior: El gráfico muestra que hay un crecimiento muy abrupto de costo al buscar lograr un aseguramiento de misión alto, que puede llevar los costos hasta los cientos de millones de \$. Inferior: Una constelación de varios smallsats tiene un costo equivalente a misiones de satélites tradicionales con una capacidad similar.

El tratar de aumentar el aseguramiento de misión puede además implicar un crecimiento exponencial del costo de la misión, ésta es una de las causas por las cuales el proyecto de un satélite grande llega a costar cientos de millones de dólares al buscar una confiabilidad extremadamente alta.

La ventaja de mantener bajos los costos de un satélite, permite que puedan fabricarse muchos más de los mismos, y dar paso a lo que sería una constelación de satélites pequeños, estimaciones de los costos de una constelación de satélites pequeños son equivalentes al costo de uno solo de los satélites grandes tradicionales. Los costos de integración y ensayo son claves para determinar el Costo Total del proyecto, Fig. 8. [13].

Finalmente es necesario recordar que el monto más Significativo para acceder al espacio se encuentra en el costo del lanzamiento, una empresa que ayude a lanzar los smallsats puede cobrar hasta más de 40.000 U\$S por el lanzamiento de un cubesat de 1 Kg, dependiendo la órbita en la que se lo quiera colocar.

Para que un smallsat llegue a órbita, usualmente va adjunto a un satélite más grande, de tal manera que comparta el costo de lanzamiento con otros satélites, el principal desafío son los dispensadores o adaptadores en los que el satélite debe ir colocado, para no afectar al conjunto de satélites con los cuales comparte la cofia en el lanzador.

IV. DISCUSION

Los smallsats o satélites pequeños surgen como una alternativa a resolver algunos desafíos típicos de los proyectos espaciales:

- “Toma demasiado tiempo.”
- “Cuesta demasiado.”
- “No se encuentra un lanzador.”

Las soluciones que están siendo implementadas para superar estos desafíos son las siguientes:

- Establecer tiempos de trabajo en semanas: a diferencia de los tiempos de meses o años que toman los proyectos de satélites grandes, en tiempos de semanas cortos se puede lograr

mayor versatilidad para lograr misiones realizables por participantes con menos recursos o tiempos, como por ejemplo estudiantes universitarios.

- Usar hardware barato: Componentes comerciales (COTS), usados en proyectos sin demasiadas exigencias pueden servir para lograr cumplir funciones básicas necesarias en los subsistemas satelitales, un ejemplo son los microcontroladores para aplicaciones de proyectos estudiantiles como los PIC, o placas Raspberry Pi que pueden ser útiles para misiones espaciales cortas.

Se busca obtener la mayor experiencia posible mediante este tipo de proyectos, por lo cual es necesario poner en vuelo a modo de prueba los desarrollos logrados, para esto se puede usar:

- Globos aerostáticos.
- Cohetes amateurs.

Para lograr obtener experiencia real en órbita espacial, se cuenta con dos estrategias principales: Primero, disminuir el tamaño de los satélites, y lo segundo es el factor tiempo que permitirá que los futuros lanzamientos desarrollados por nuevas empresas privadas logren abaratar los costos.

Esta nueva filosofía de hacer cosas más pequeñas y baratas en proyectos espaciales viene acompañada del lema: “Fallar no sólo es inevitable, es necesario”, ya que en este proceso de experimentación con pequeños satélites se logran grandes avances y al mismo tiempo se encuentran algunos fracasos temporales, que permiten perfeccionar los nuevos desarrollos y promover la innovación.

Esto ha permitido que una cantidad de países sin experiencia previa en misiones satelitales, hayan podido desarrollar un proyecto propio de un nanosatélite y

abrirse un espacio en la industria espacial, la Fig. 9. Muestra un mapa de todos aquellos países que tienen uno o más nanosatélites en el espacio, es de resaltar que incluso países asiáticos, latinoamericanos y africanos están impulsando este tipo de proyectos y abriendo un nuevo camino en esta industria.

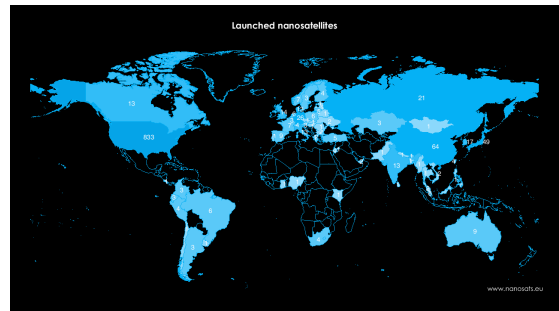


Fig. 9. Mapa de los países que realizaron lanzamientos de nanosatélites hasta la fecha [7]. El número sobre cada territorio identifica la cantidad de nanosatélites lanzados en el espacio por cada país.

La Tabla 1 es un resumen de las principales diferencias entre los satélites grandes tradicionales y los satélites pequeños, la reducción de complejidad, costo y tiempo de desarrollo de los pequeños satélites permite que estudiantes, nuevos emprendedores y aficionados puedan realizar sus propios proyectos satelitales, abriendo paso a un nuevo tipo de innovación: revolucionaria.

Tabla 1. Resumen de las diferencias entre los satélites grandes y los satélites pequeños (SmallSats)

SATÉLITES GRANDES	SMALLSATS
Complejidad elevada, miles de partes, redundancias, mecanismos de seguridad.	Complejidad baja, pocas partes, sin redundancias.
Costo elevado: Varios cientos de millones de U\$S.	Costos reducidos en dos órdenes de magnitud.
Tiempo de vida útil entre 5 a 15 años.	Tiempo de vida útil entre 1 a 5 años.
Tiempo de desarrollo: 2 a 10 años	Tiempo de desarrollo: menor a 2 años
Fabricados por compañías grandes o consorcios (multi) nacionales.	Realizados por estudiantes, pequeños emprendedores, aficionados.
Innovación evolucionaria (lenta).	Innovación revolucionaria (rápida).

..... abrirse un espacio en la industria espa.....

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades de la F.C.I. de Bermejo por haber permitido la participación y exposición de este tema y a los organizadores del III CONGRESO DEPARTAMENTAL DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN, dicha participación fue el origen de este artículo.

VI. REFERENCIAS

- 1 CubeSats: Toys, Tools or Debris Cloud? http://mstl.atl.calpoly.edu/~bklofas/Presentations/DevelopersWorkshop2016/1_MichaelSwartwout.pdf
- 2 7 Key Elements of LEO and GEO Space Satellites <https://www.mwrf.com/blog/7-key-elements-leo-and-geo-space-satellites>
- 3 Gunter's Space Page – Spacecraft by country https://space.skyrocket.de/doc_sdat/tupak-katari-1.htm
- 4 How much do Satellites cost? <https://science.howstuffworks.com/satellite10.htm>
- 5 "Small satellites—A tool for Earth observation?" (PDF) <http://www.cartesia.org/geodoc/isprs2004/comm4/papers/428.pdf>
- 6 CubeSat Design Specifications <https://www.cubesat.org/resources>
- 7 World's largest database of nanosatellites <https://www.nanosats.eu/>
- 8 Missions and Services - Tyvak Company <https://www.tyvak.com/missions/>
- 9 Othernet Forum <https://forums.othernet.is/>
- 10 AMODS Homepage <https://www.amods.org/>
- 11 About Spire <https://spire.com/en/spire/about-spire>
- 12 From Boeing to SpaceX: 11 companies looking to shake up the satellite space <https://www.fiercewireless.com/wireless/from-boeing-to-spacex-11-companies-looking-to-shake-up-satellite-space>
- 13 Perspectives on Integrating SmallSats into the DoD <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2016/TS1SciFuture/2/>