SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

AEM

AGENCIA ESPACIAL
MEXICANA

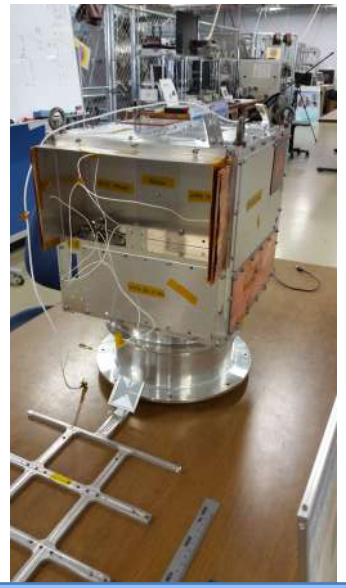
Coloquio Espectro Radioeléctrico
Su uso científico y experimental en el espacio

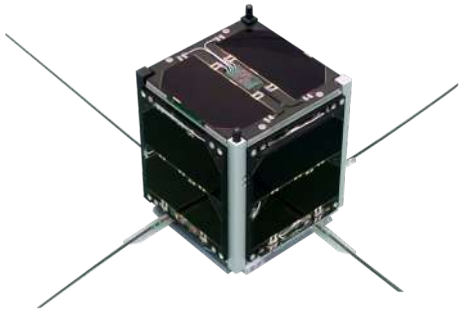
Satélites Pequeños: Área de oportunidad para el desarrollo espacial de México.

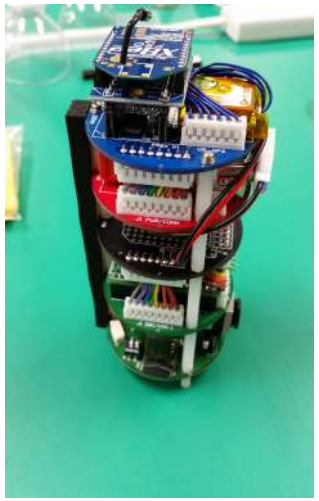
Blanca Rebollar

Zacatecas, Zacatecas, 11 de octubre de 2018

¿Qué son los satélites pequeños?

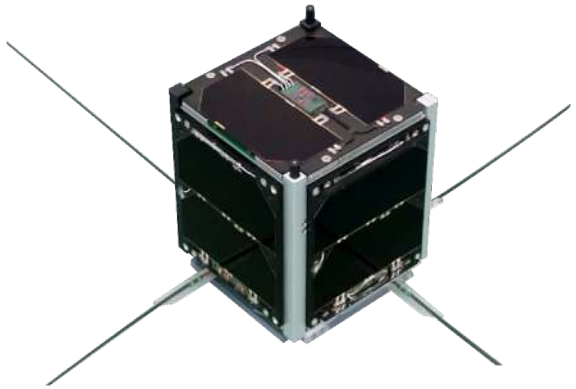






180 Kg- 100 Kg	100 Kg- 10 Kg	**10 Kg- 1 Kg**	< Kg
Minisatélite	Microsatélite	**Nanosatélite**	Picosatélite

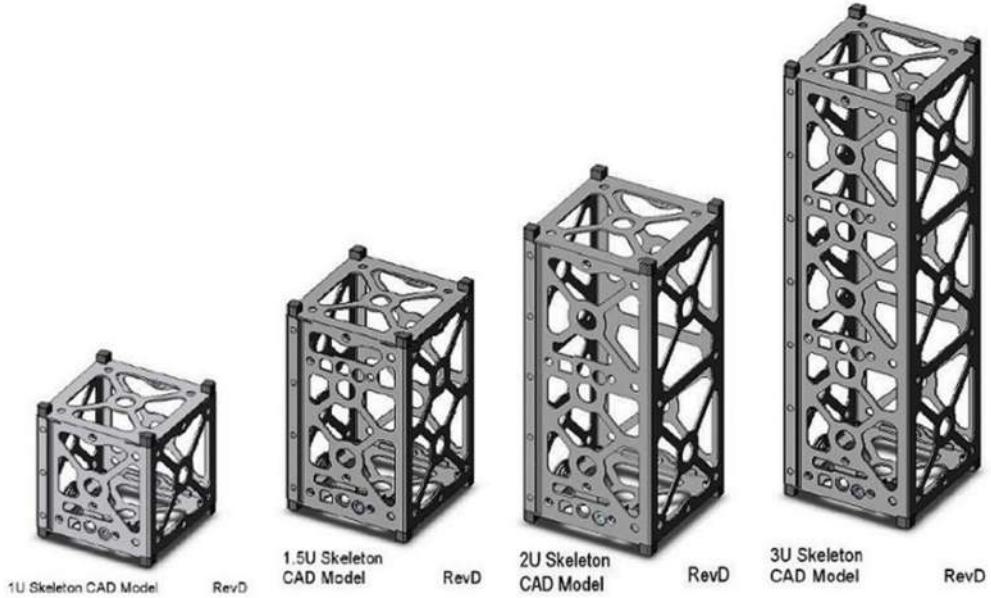
El estándar CubeSat



- En 1999, un profesor de la Universidad de Stanford y otro del CalPoly en San Luis Obispo, California crearon el Standard CubeSat 1 U (10 x 10 x 11,5 cm 1,33 kg)

- Pueden ser ensablados para formar 2U, 3U, 6U;

- En general son lanzado como cargas secundarias de lanzamientos de satélites mayores, con lo que reducen los costos de lanzamiento significativamente

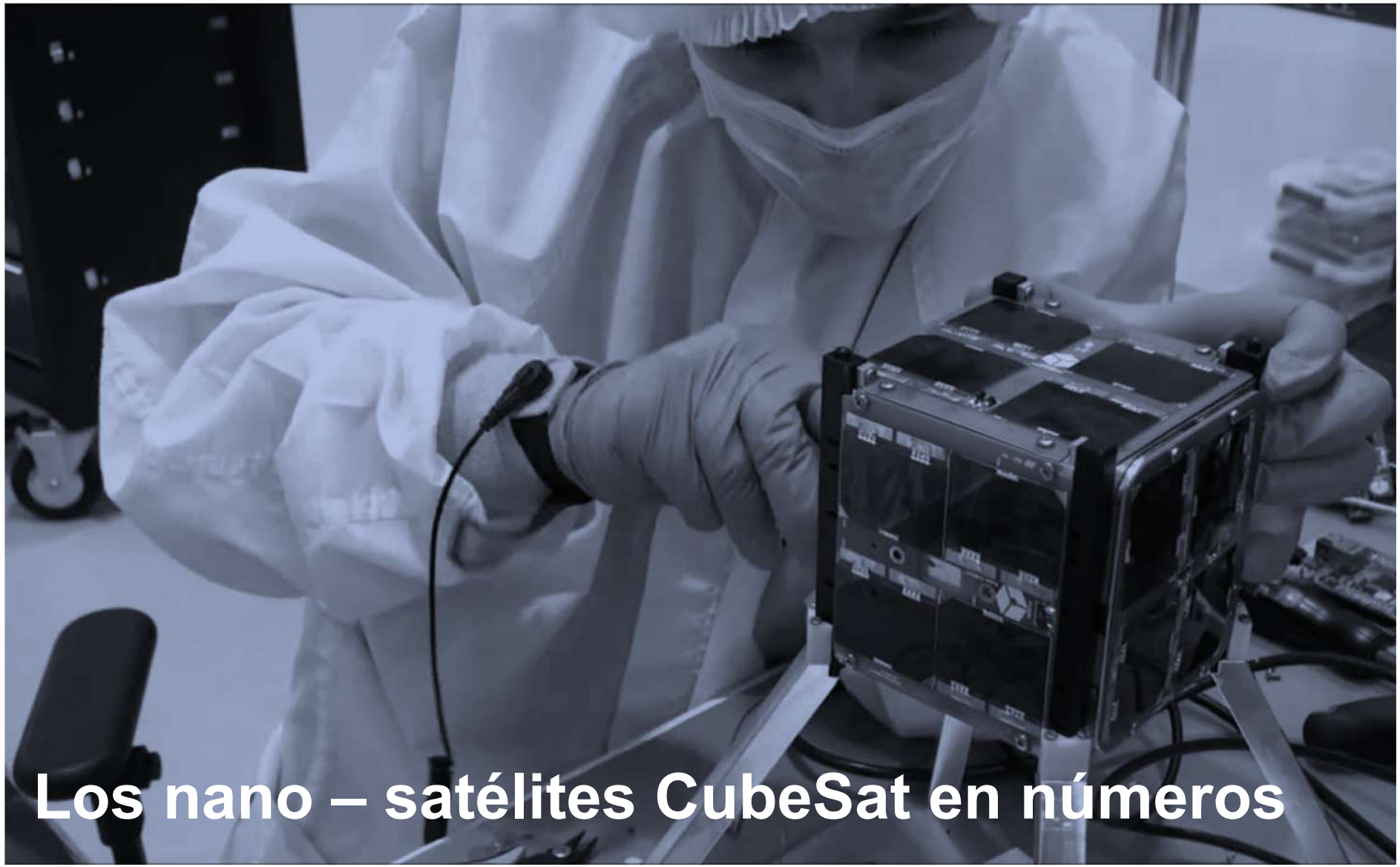


Fuente: State of the Satellite Industry Report, June, 2016.

Características de los satélites pequeños

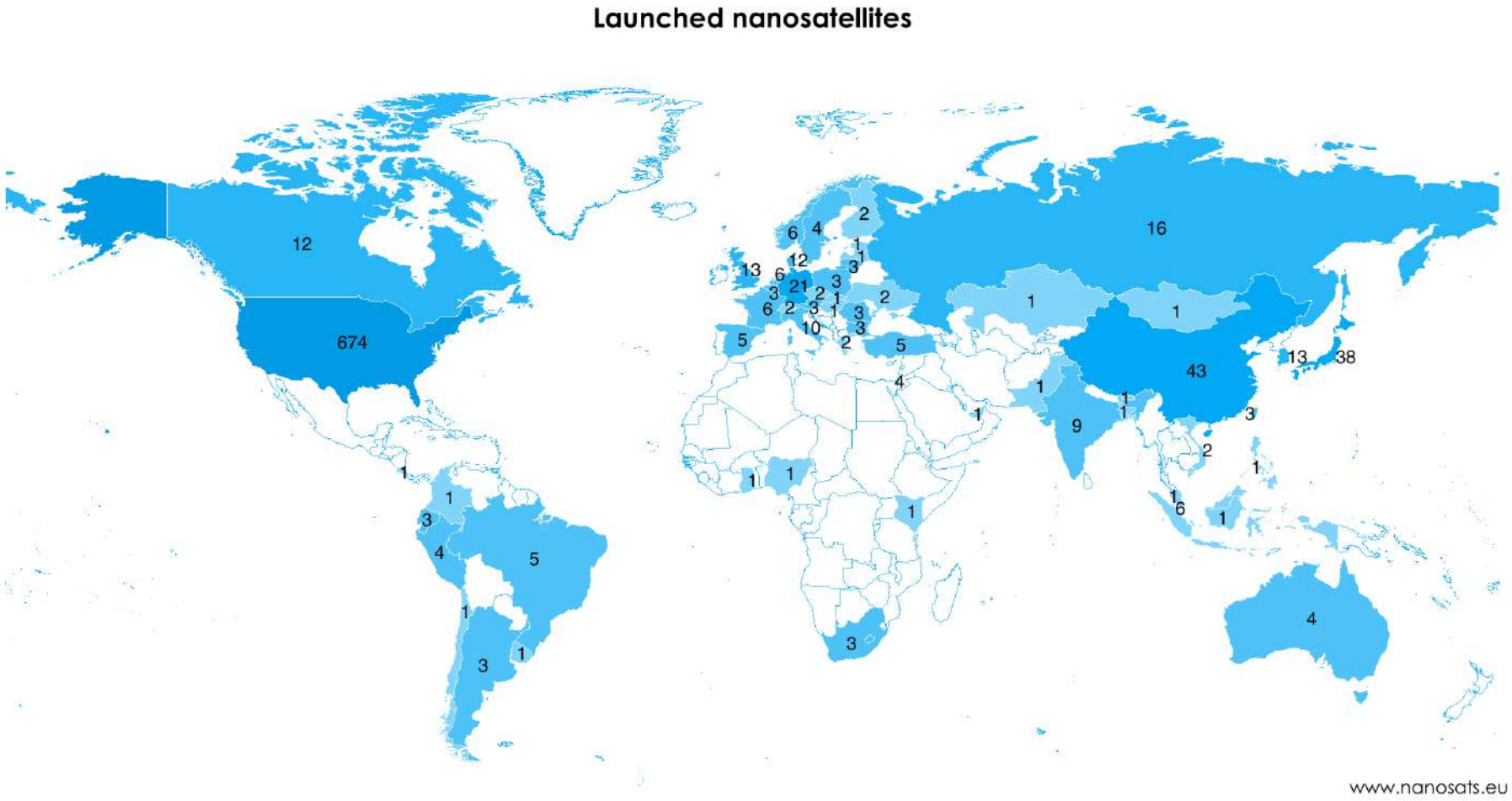
Typical characteristics of small satellites

Denomination	Mass (kg)	Max. bus power (W)	Typical cost (USD)	Max. dimensions (m)	Development time (years)	Orbit	Mission duration (years)
Minisatellite	100-500	1 000	30-200 M	3-10	3-10	GEO MEO LEO HEO	5-10
Microsatellite	10-100	150	10-150 M	1-5	2-5	LEO (HEO)	2-6
Nanosatellite	1-10	20	100 k-10 M	0.1-1	1-3		1-3
Picosatellite	0.1- 1	5	50 k-2 M	0.05-0.1			
Femtosatellite	< 0.1	1	< 50 k	0.01-0.1	1		< 1

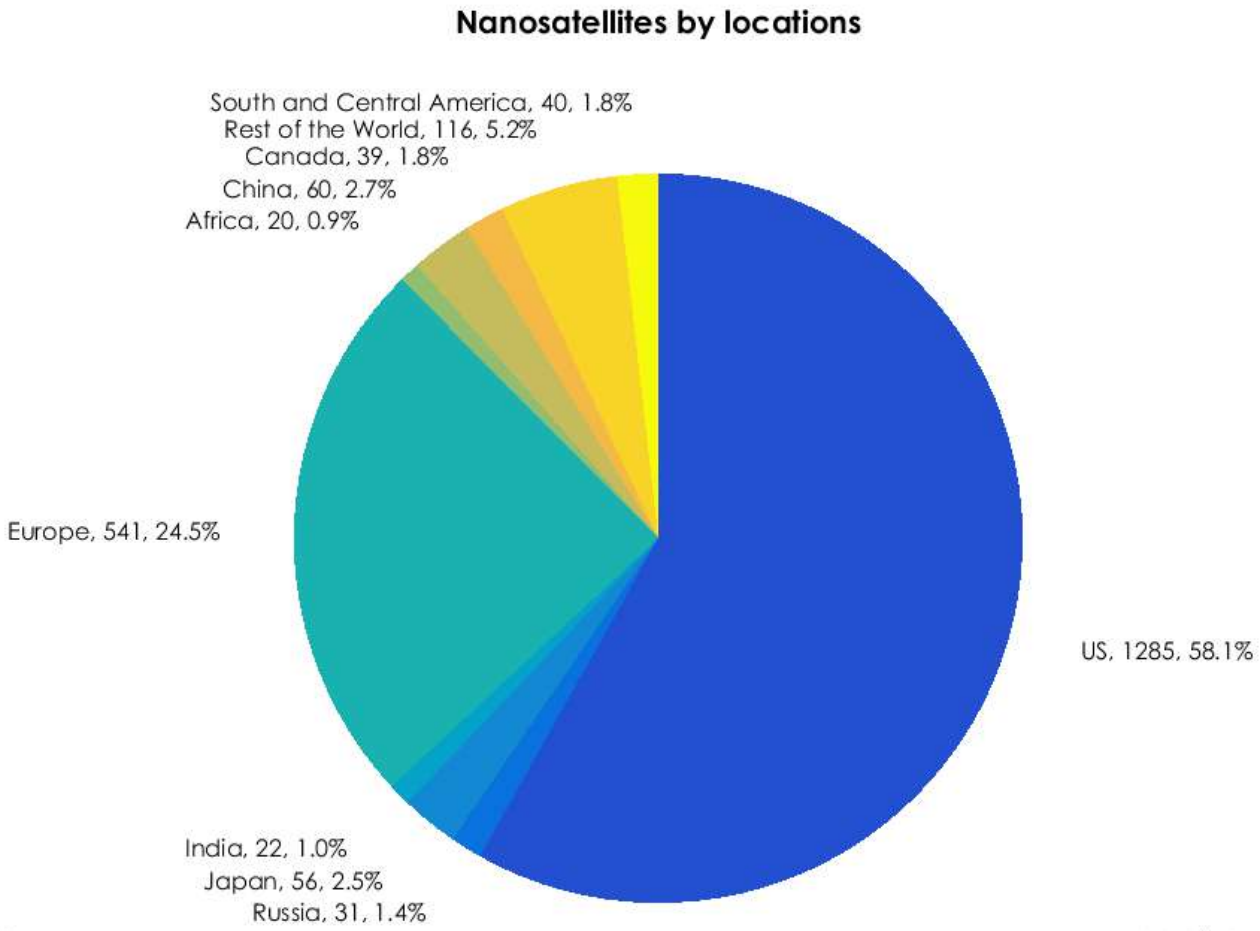


Los nano – satélites CubeSat en números

Lanzamiento de Nano - Satélites



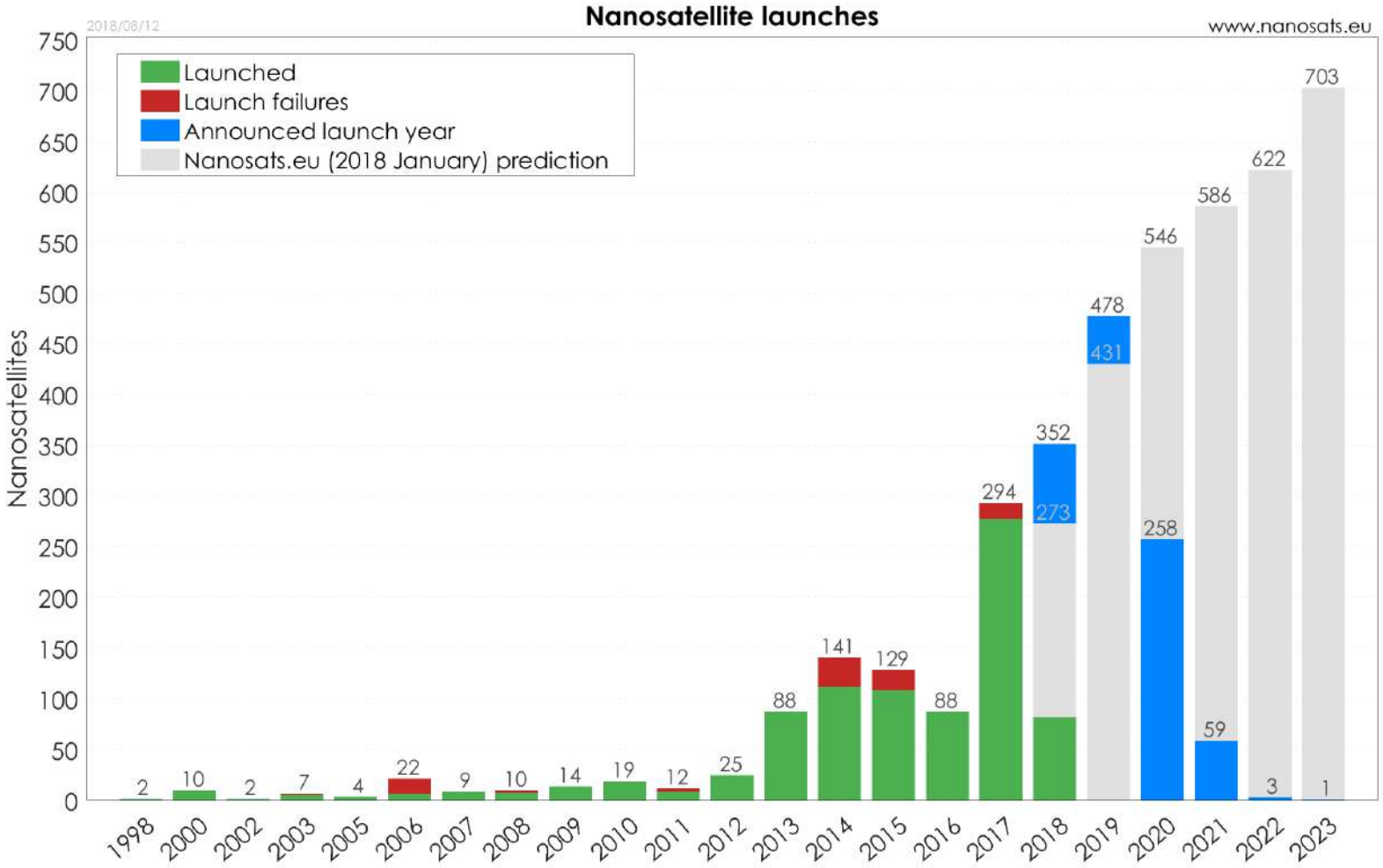
Lanzamiento de Nano - Satélites



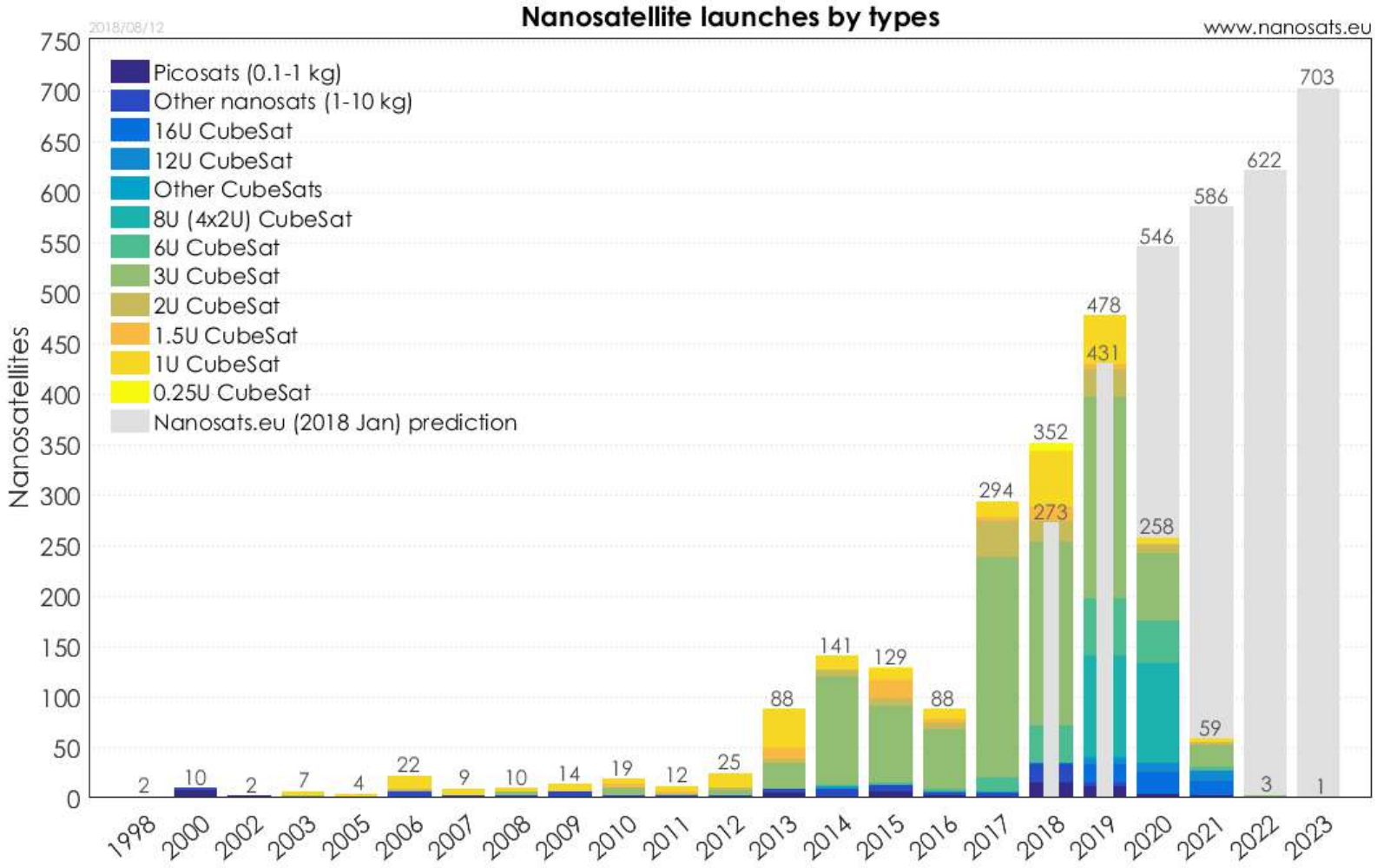
2018/08/12

www.nanosats.eu

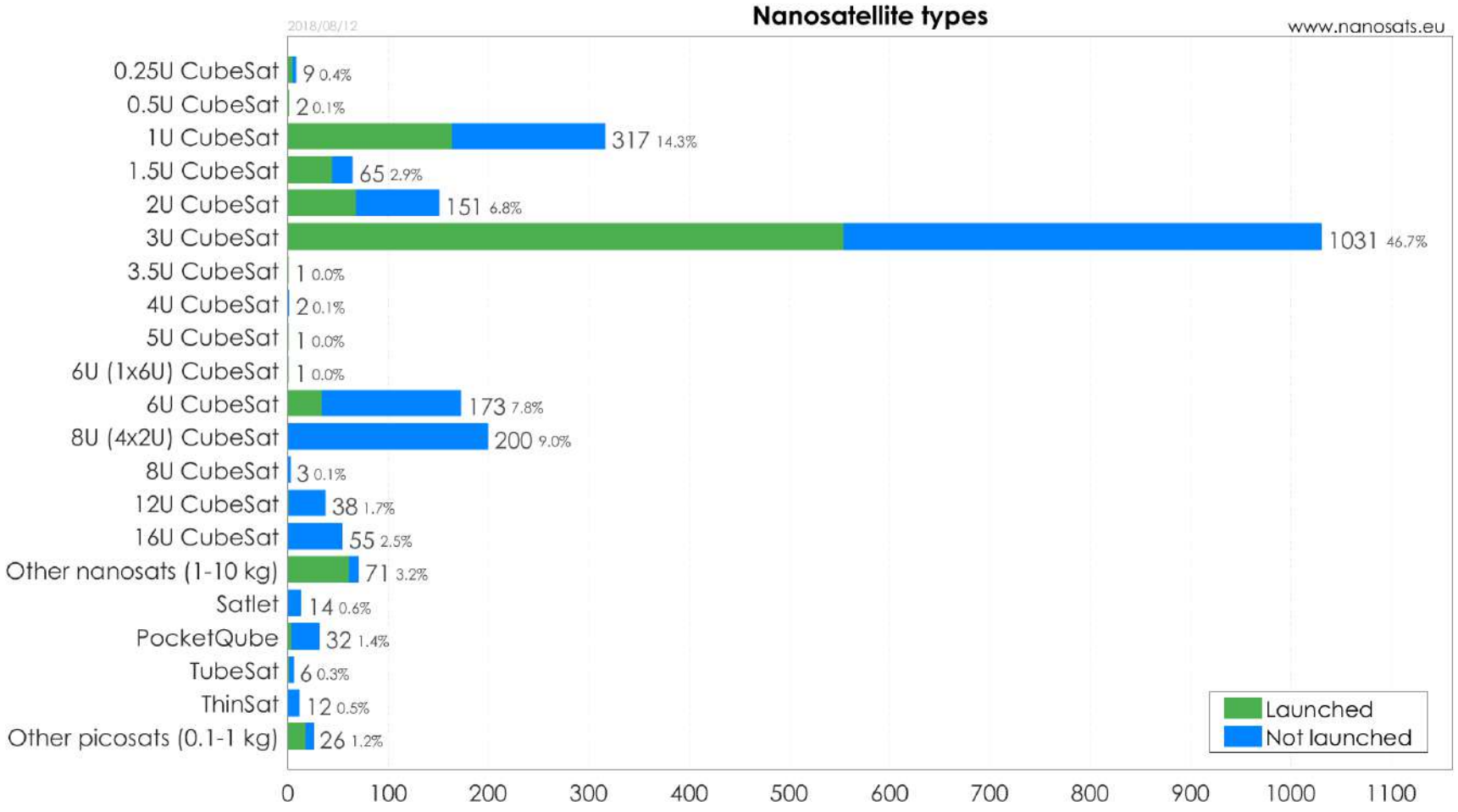
Lanzamiento de Nano - Satélites



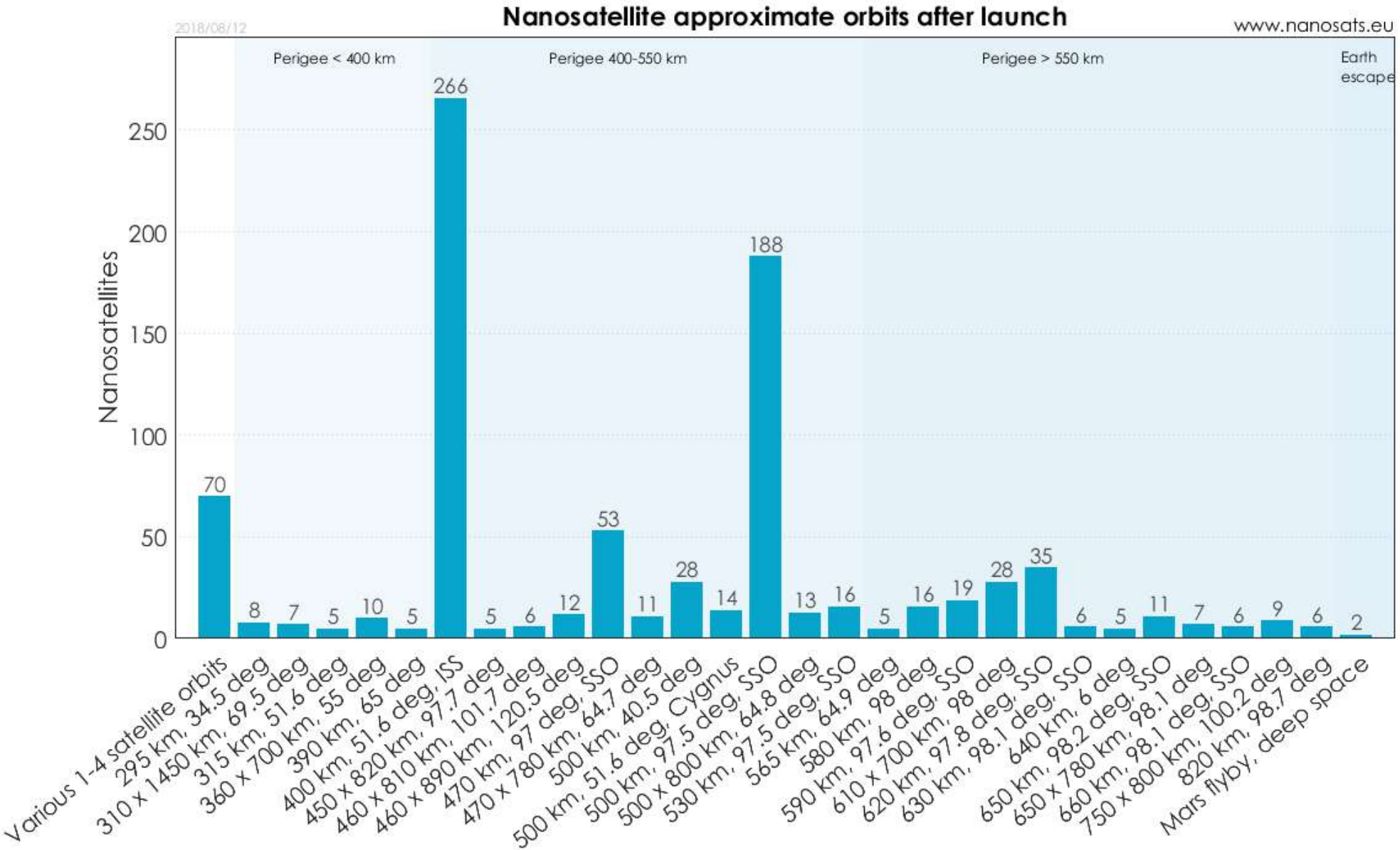
Lanzamiento de Nano – Satélites por Tipo



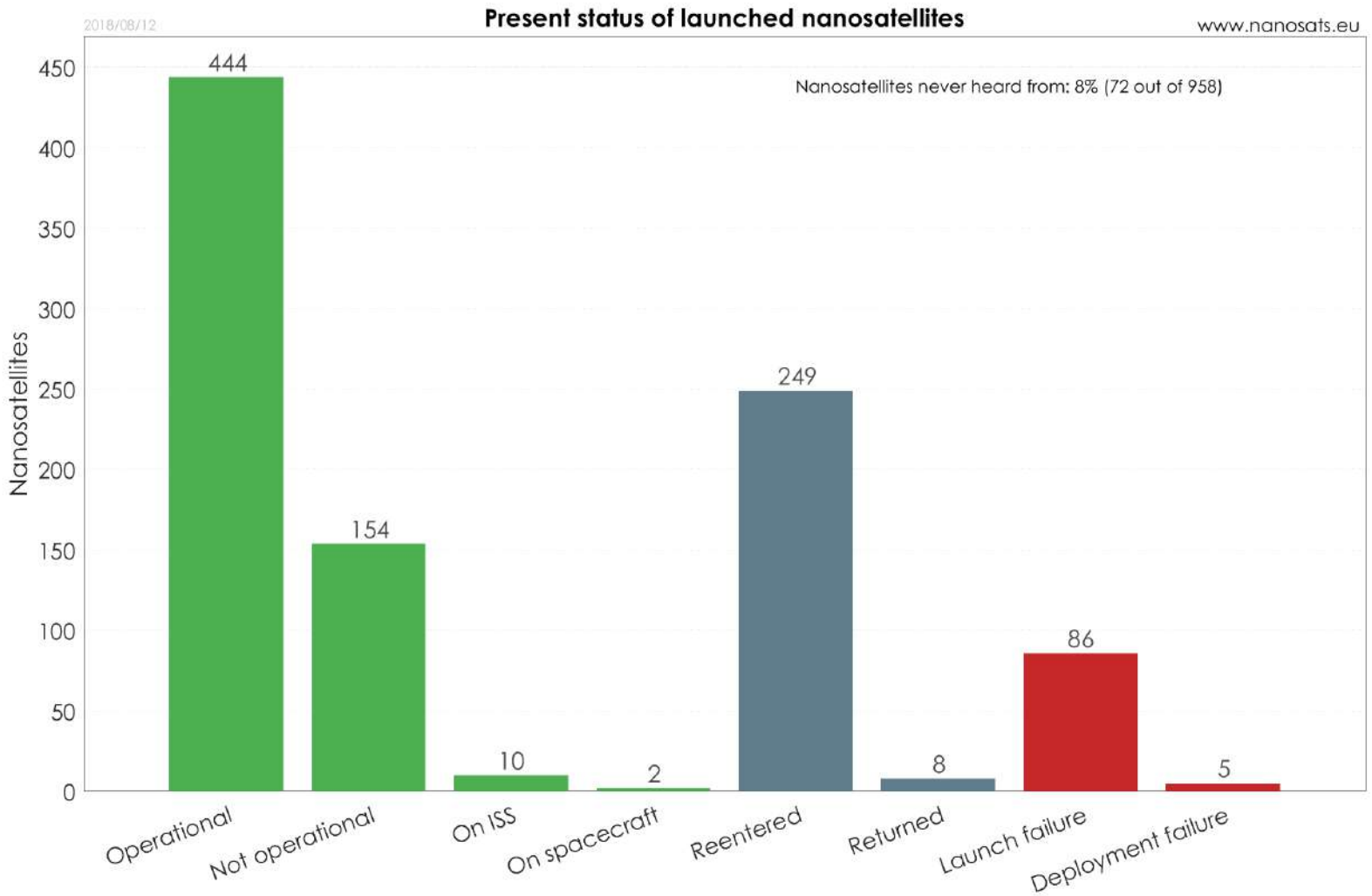
Tipos de Nano - Satélites



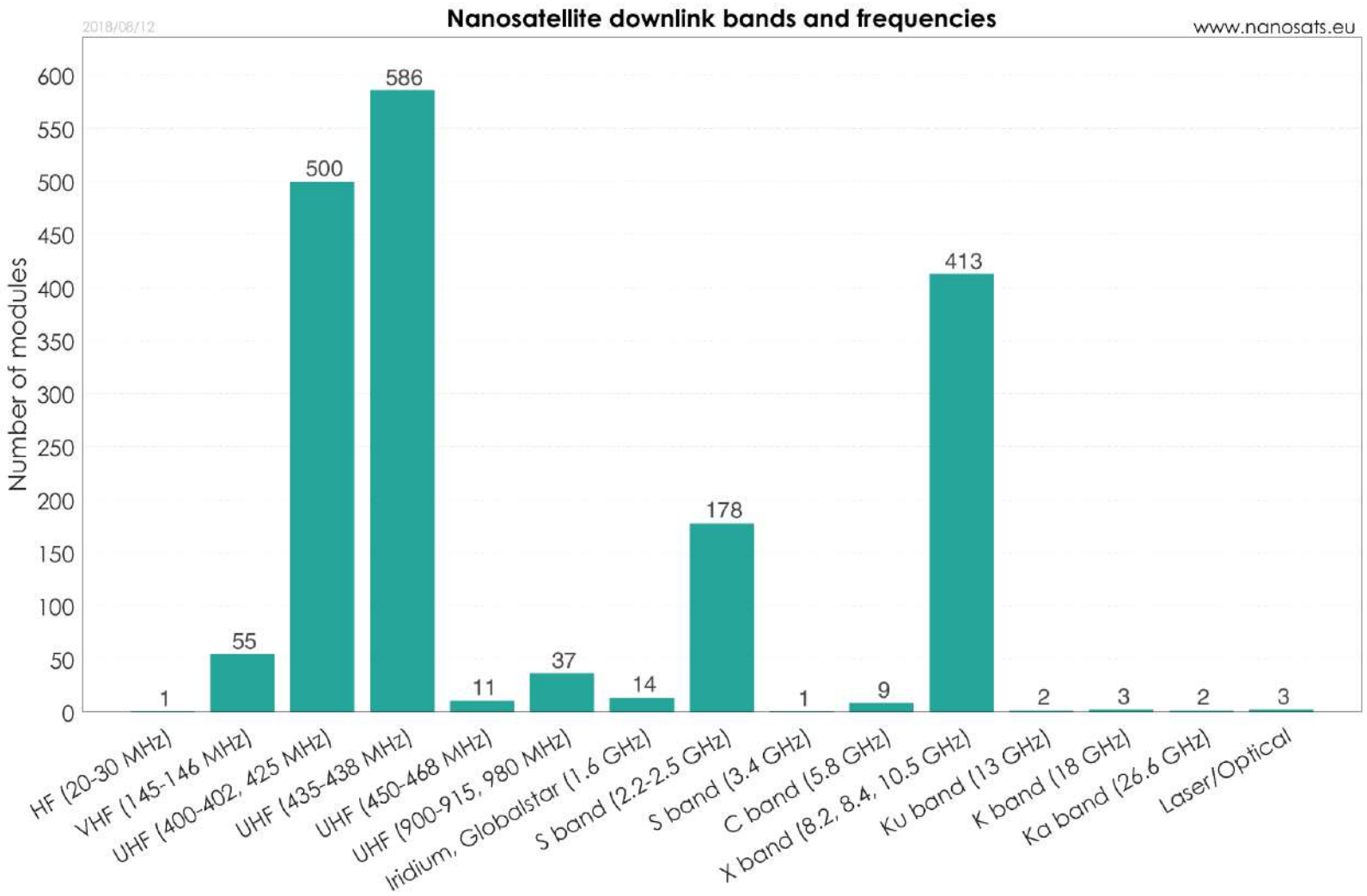
Orbitas de los Nano - Satélites



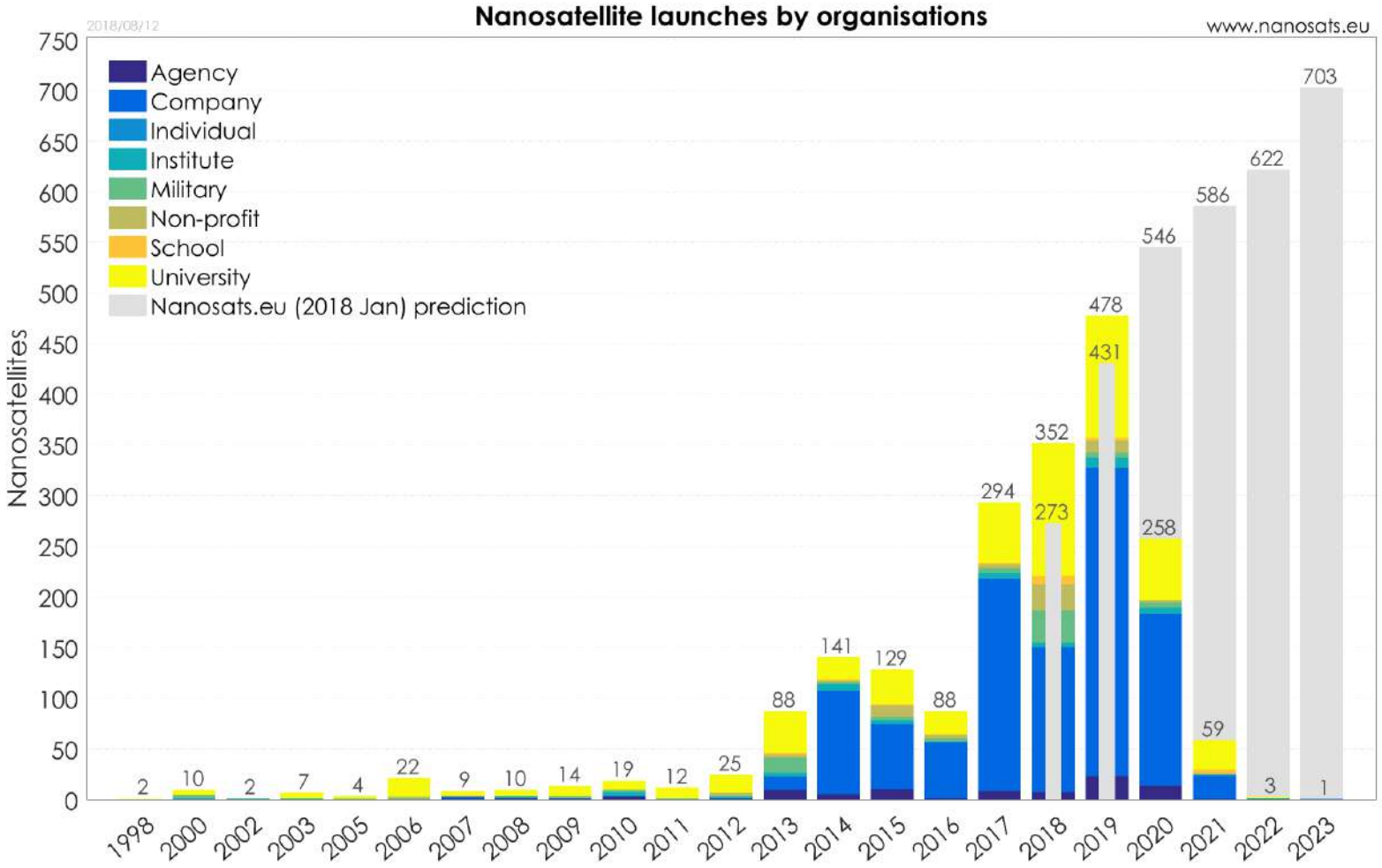
Estatus de los Nano – Satélites Lanzados



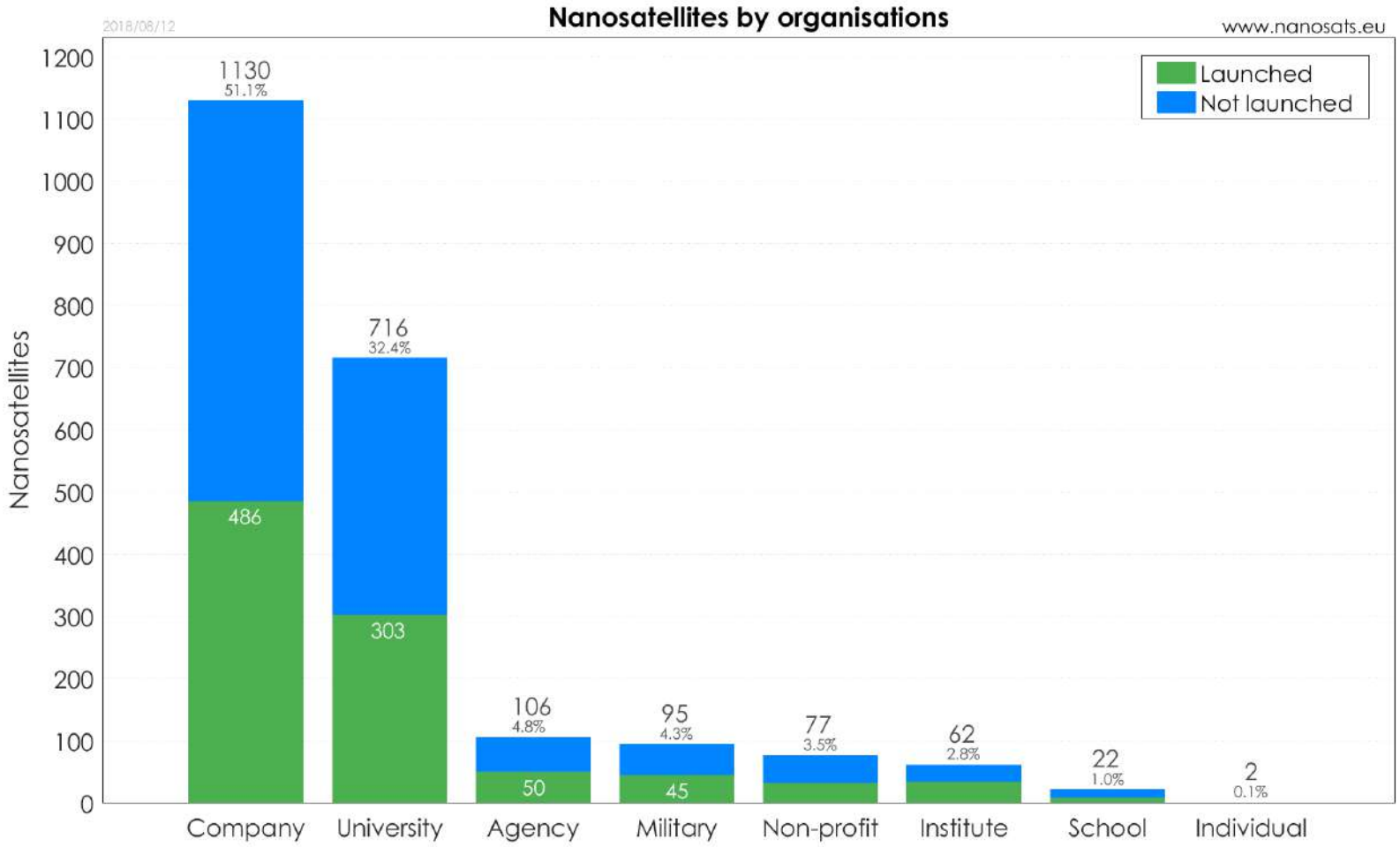
Bandas y Frecuencias del Enlace de Bajada de los Nano – Satélites



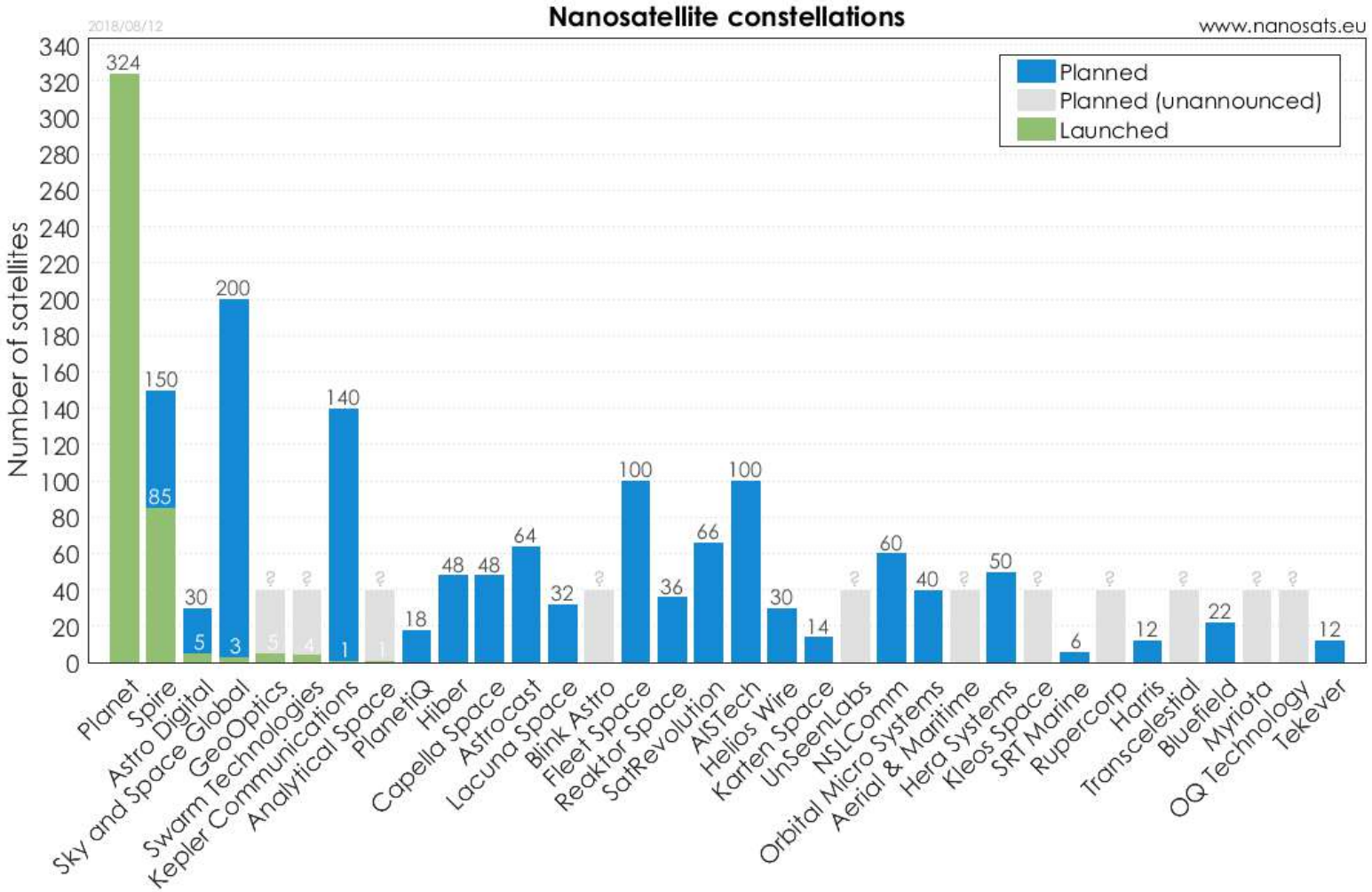
¿Quiénes estan lanzando Nano – Satélites?



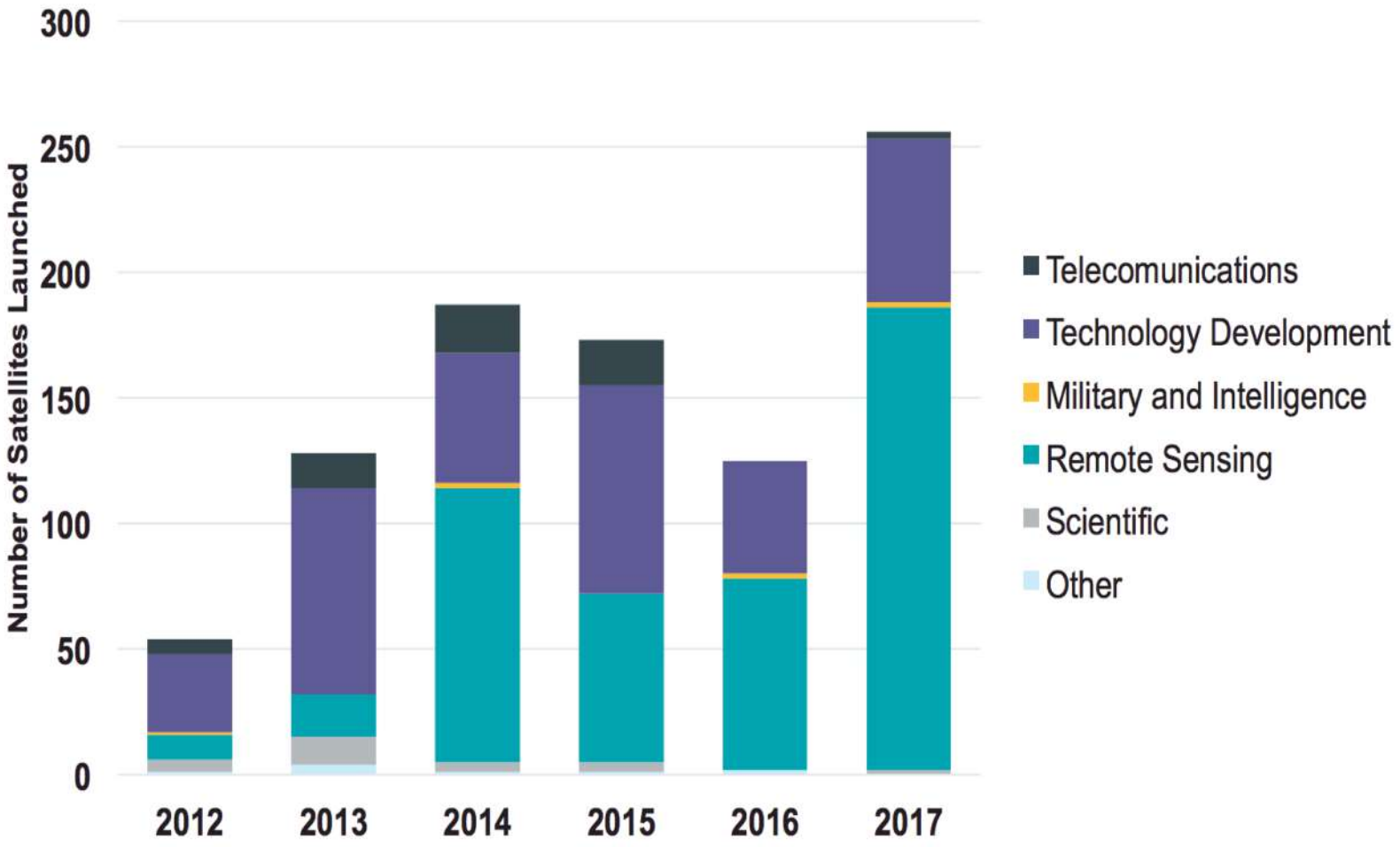
¿Quiénes estan lanzando Nano – Satélites?



Constelaciones

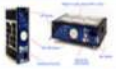


Clasificación de Nano - Satélites



https://brycetech.com/downloads/Bryce_Smallsats_2018.pdf

Constelaciones Comerciales de CubeSats e Inversión (41)

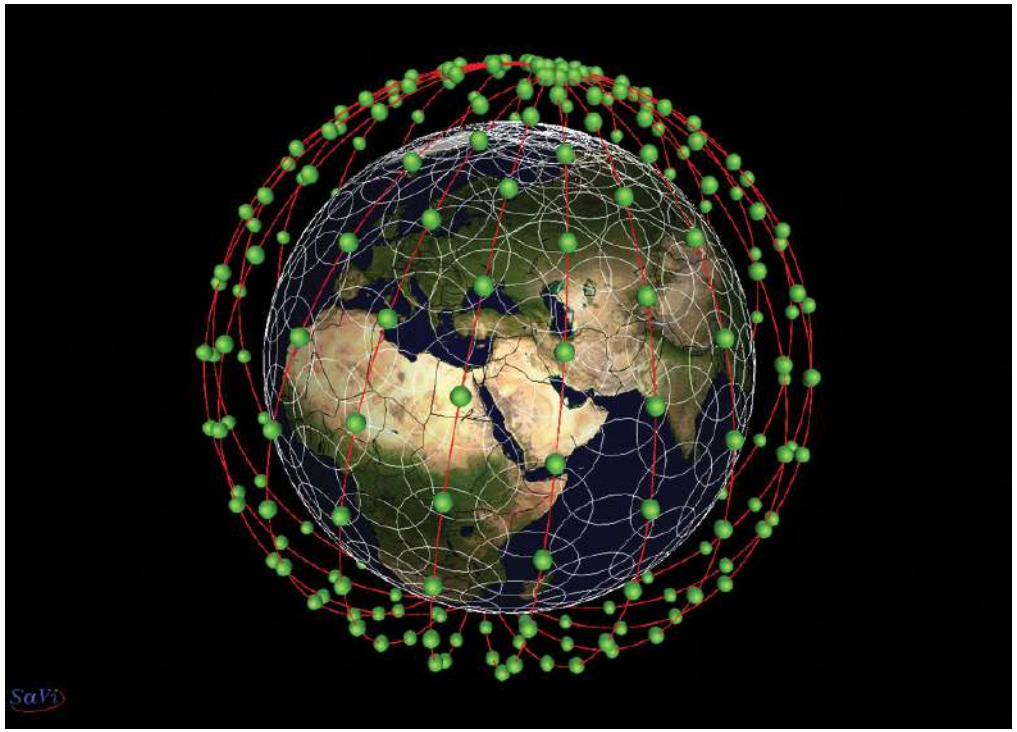
Organization	Launched / Planned size	First launch	Form factor	Field	Funding	Technical and comments	Image
Planet	324 / 150+	2013	3U	Earth observation	$183 million	29 MP sensor taking images with 3.7 m ground resolution and swath of 24.6 km × 16.4 km from 475 km altitude.	
Spire	85 / 150+	2013	3U	Weather / AIS / ADS-B	$149.5 million	Measure change in GPS signal after passing atmosphere to calculate precise profiles for temperature, pressure, humidity.	
Astro Digital	5 / 10+20	2014	6U / 16U	Earth observation	$16.7+ million	6U has 22 m resolution in RGB and NIR. 16U has 2.5 m resolution in RGB, red edge, and NIR using one 70 MP sensor.	
Sky and Space Global	3 / 200	2017	8U	IoT / M2M / Voice	$11.5 million	Plans to use inter-satellite links. Satellites outsourced from GomSpace.	
GeoOptics	5 / ?	2017	6U	Weather	$5.15 million	Satellites outsourced from Tyvak.	
Swarm Technologies	4 / ?	2018	0.25U / 1U	IoT / M2M	?	World's smallest two-way communication satellites.	
Kepler Communications	1 / 140	2018	3U / ?	IoT / M2M	$5 million	Monthly fee based on the data amount. Hope to achieve rates of 1-40 Mbps. Clyde Space will provide at least the first 2 sats.	
Analytical Space	1 / ?	2018	6U	Optical relay / IoT / M2M	$4 million	In-orbit relays receiving radio and downlink to ground with laser communication enabling more data downlink from satellites.	
PlanetiQ	0 / 18	2018	6U	Weather	$5+ million	Based on GPS radio occultation. Will have microwave spectrometer & radiometer. Blue Canyon Tech builds satellites.	
Hiber (Magnitude Space)	0 / 48	2018	6U	IoT / M2M	$6.2 million	Send small packets of data (140 characters, accompanied by time-stamp, identifier and location).	
Capella Space	0 / 48	2018	12U	SAR	$12+ million	Resolutions from 1 m (1600 km^2) to 30 m (27,000 km^2). Every 3-6 hours globally and 45 min in equatorial regions, improving to every hour in 3-5 years.	
Astrocast	0 / 64	2018	3U	IoT / M2M	$7.1 million	Demonstration mission in 2018. Targeting L-band. Inter-satellite links. NanoSpace propulsion.	

Misiones CubeSats Notables

Mission	Destination	Launch	Summary	Image
CPOD	LEO	2018	Docking with 3U nanosatellites. Will demonstrate precision flying around each other and then docking. Will enable to explore asteroids, moons and to inspect other spacecraft.	
INSPIRE	Earth escape	2018	Goal of two 3U INSPIRE spacecraft is to open deep space to CubeSats and demonstrate necessary functions like telecommunication and navigation. Will be the first interplanetary and deep space CubeSat.	
RSat (Repair CubeSat)	LEO	2018	Two 7 DoF robotic arms fitted with manipulators to enable inspection and servicing. Operates with BRICSat that provides propulsion and attitude control. Magnetic docking system will include power and data pass-through. Part of AMODS (Autonomous Mobile On-orbit Diagnostic System).	
CAPE-MIRCA	LEO	2018	Micro return capsule is the first planetary atmosphere entry probe flight prototype to measure density, temperature and composition. GAMASAT also has re-entry capsule and will launch in 2016 with QB50, but not sure if and how capsule will be released.	
Mars Cube One (MarCO)	Mars flyby	2018	Two 6U deep space CubeSats were planned to be launched in 2016, but delayed due to InSight Mars lander. They will flyby Mars during the landing of InSight and relay status in real time, which is not possible today.	
NEA Scout	Asteroid flyby	2020	First CubeSat to reach an asteroid and map it using an ~80 m^2 solar sail for propulsion. One of 13 6U CubeSats that will launch with a new NASA SLS rocket in 2018 which will send Orion capsule on a trip around the Moon.	
Lunar Flashlight	Moon orbit	2020	First CubeSat to reach the Moon and the first to use lasers to look for water ice. Near infrared lasers will shine light into the shaded polar regions, while the spectrometer measures surface reflection and composition. One of 13 6U SLS CubeSats.	
OMOTENASHI	Moon orbit, Moon surface	2020	Will release a 1 kg lunar lander with inflatable airbags to demonstrate technology for low-cost and very small spacecraft to explore the lunar surface and will measure the radiation environment. One of 13 6U SLS CubeSats.	
SWIMSat	GEO	2021	6U CubeSat to monitor solar Coronal Mass Ejections (CMEs) and monitor Earth meteor impacts. Might be the first CubeSat to geostationary (GEO) orbit, but too early to know for sure.	
M-ARGO	50-m asteroid	2022	12U CubeSat from ESA to rendezvous with a small rapidly spinning asteroid and spend around six months surveying with multispectral imager and laser altimeter.	
DARCSIDE	Europa, Jupiter moon	2025	3U CubeSat flying with Europa Clipper spacecraft to study Europa's atmosphere. Experiments are planned to be drag measurement and high energy particle detector.	

¿Qué esta impulsando el desarrollo de los Nano – Satélites?

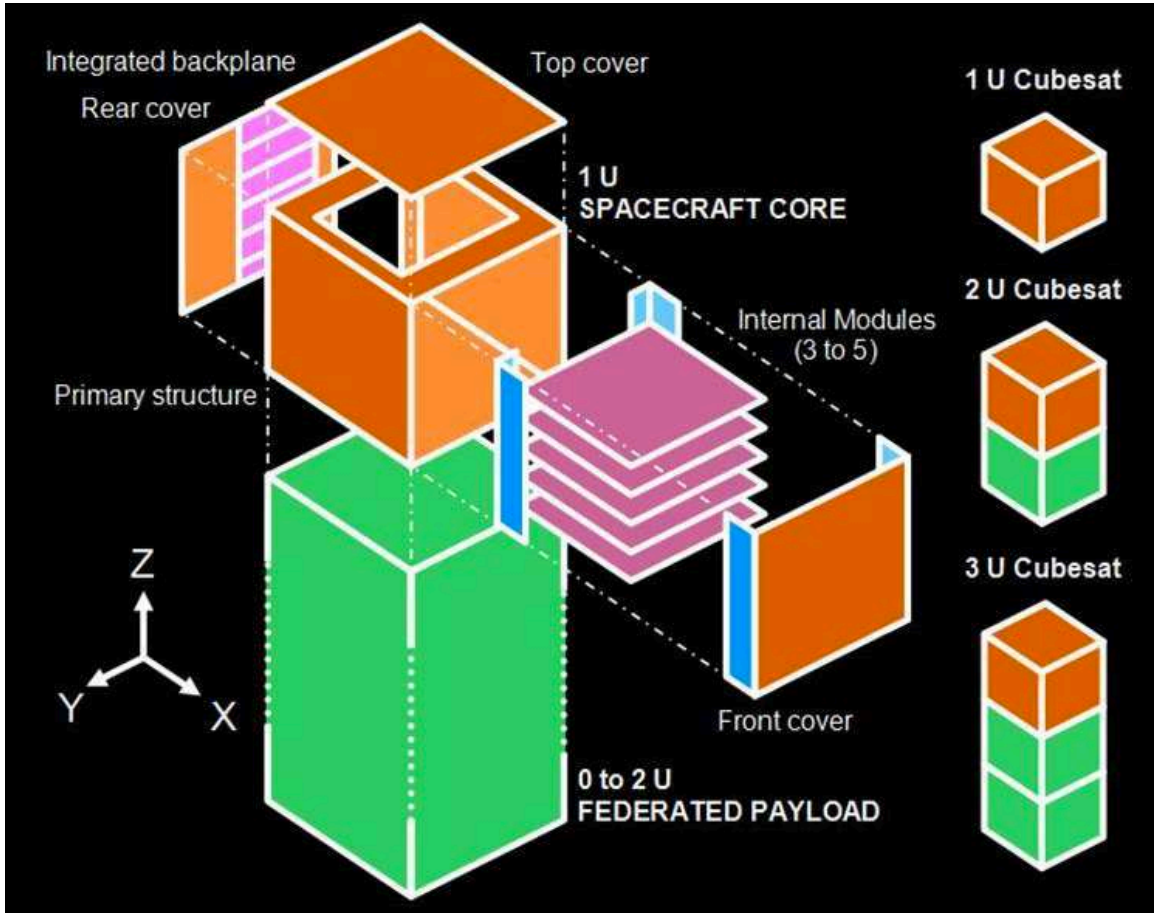
- Costo
- Tamaño
- Simplicidad
- Rápido desarrollo
- Lanzamiento más simple y barato
- Menores ciclos de desarrollo
- Capacidad de operar en constelaciones
  - Confiabilidad
  - Mayor cobertura
- Estándar CubeSat



Adquisición de Subsistemas Cubesat

El estándar CubeSat facilita la integración de subsistemas de diferentes fabricantes con relativa facilidad.

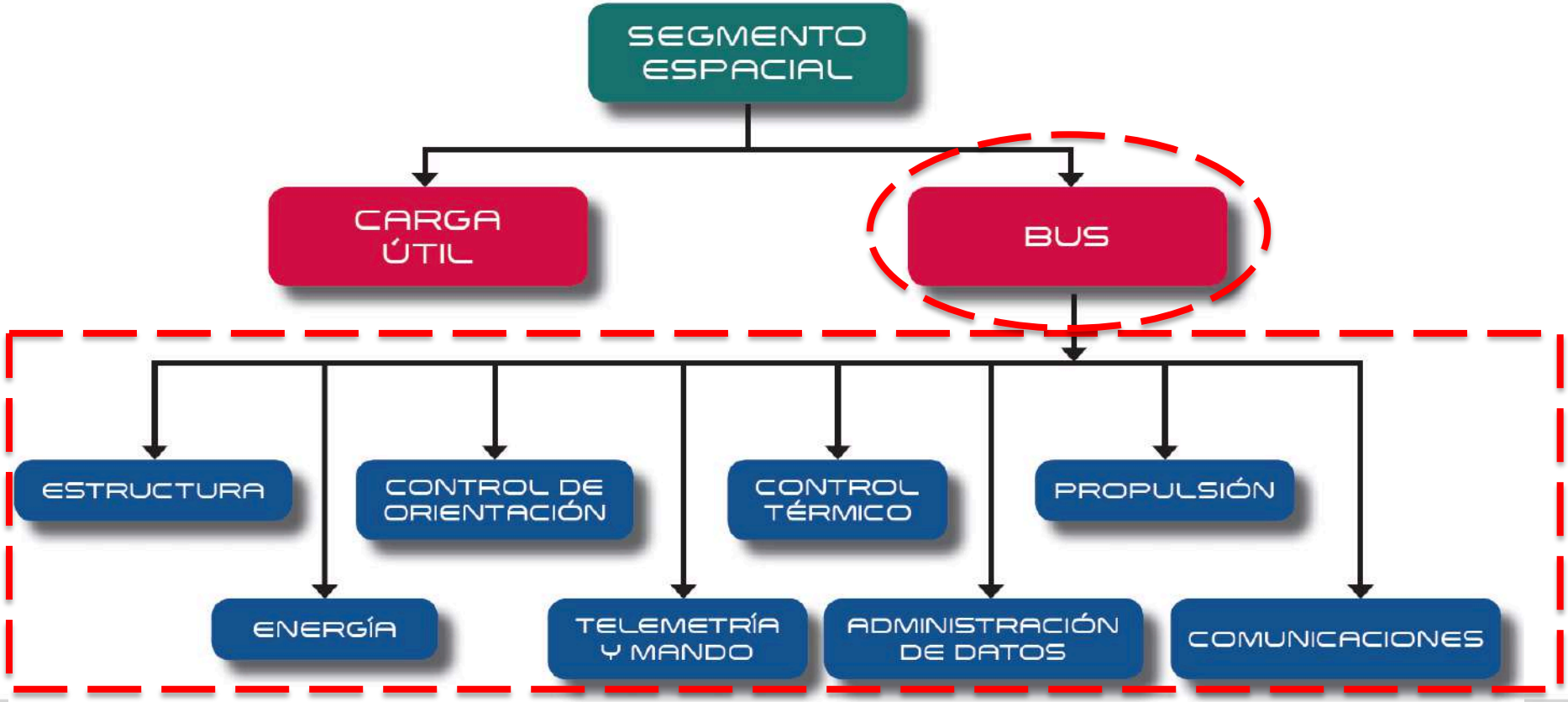
Además de la relativa facilidad en la integración de subsistemas y componentes de diferentes fabricantes, se tiene la posibilidad de realizar innovaciones al disponer de una plataforma estándar que sirva de prueba a nuevos conceptos.



Fuente de la imagen: Clyde Space.

Adquisición de Subsistemas Cubesat

La adquisición de subsistemas CubeSat (bus) permite al diseñador de la misión enfocarse en el desarrollo de la carga útil.



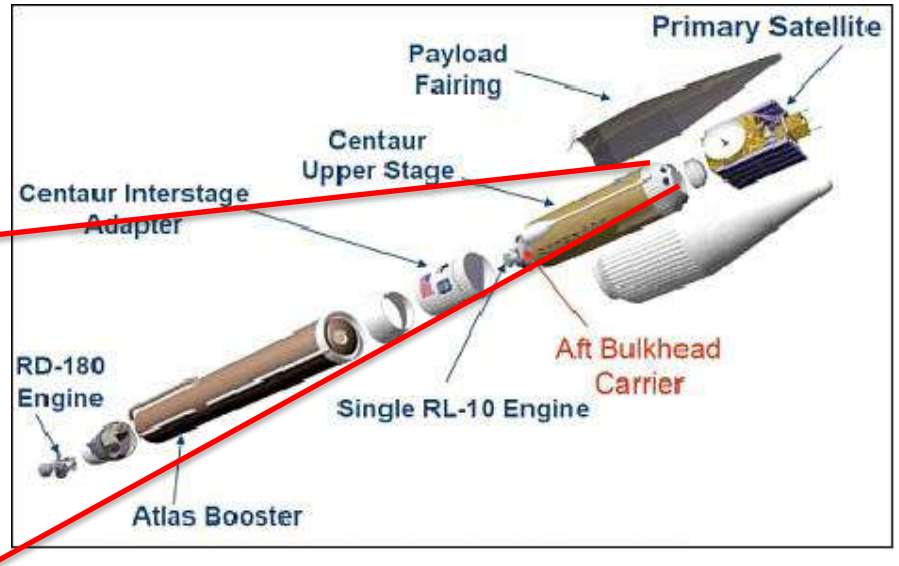
Opciones de Lanzamiento

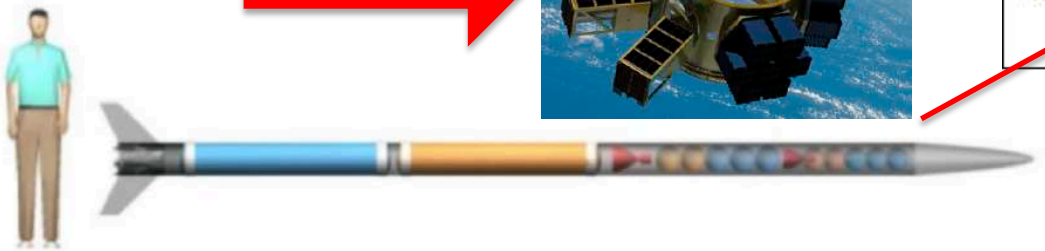
Opciones de lanzamiento

Lanzamiento a órbitas terrestres bajas (LEO).

Los lanzamientos de nanosatélites CubeSat se realizan como carga secundarias:

1. **Viajan como pasajeros secundarios en misiones de satélites de dimensiones mayores.**





a 3 stage launch vehicle designed to put a 200 gram payload on an escape trajectory or a 1U Cubesat to low earth orbit for $50k to $65k

2 **Existen algunos esfuerzos por la operación de vehículos de lanzamiento dedicados a satélites pequeños.**

6. Opciones de lanzamiento

Lanzamiento a órbitas terrestres bajas (LEO).

Entre los principales lanzadores comerciales de satélites Cubesat se encuentran:

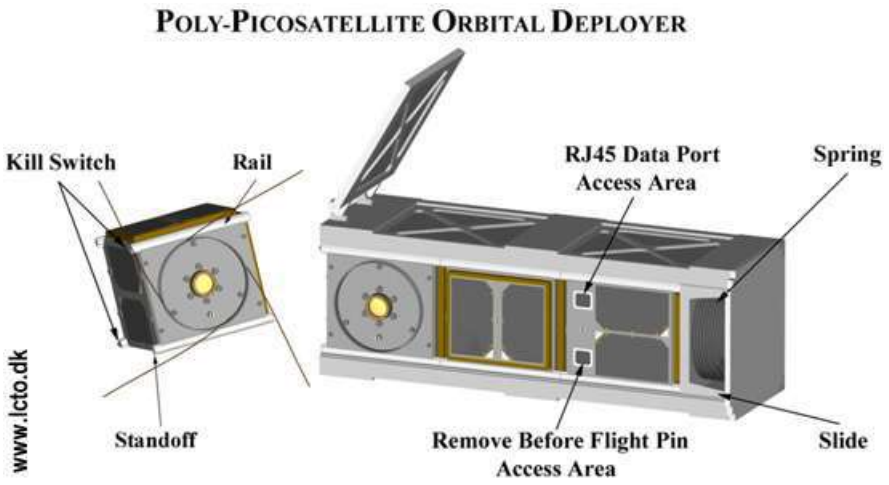
ULA Atlas V.
SpaceX Falcon 9.
Orbital Sciences Antares.
Lockeed Martin.
Athena
(Lockeed Martin).
ISC Kosmotras (Rusia).
Antrix PSL V (India).
ESA Vega.
PSLV de ISRO.

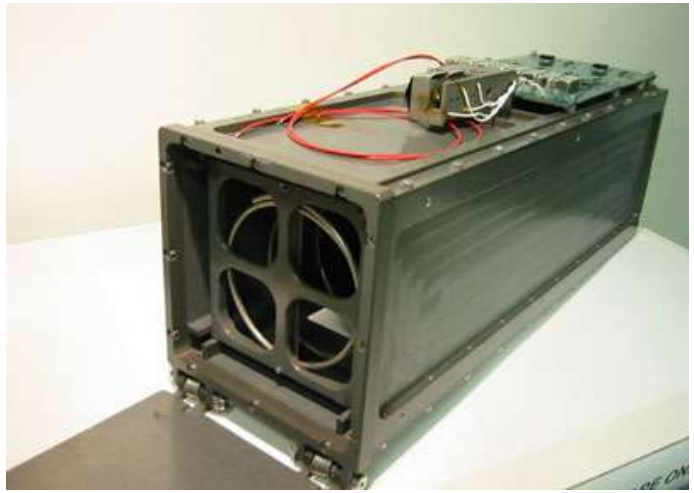
Además de los lanzamientos directamente de vehículos cohetes se tiene la opción de lanzamiento desde la ISS.

Opciones de lanzamiento

Lanzamiento a órbitas terrestres bajas (LEO).

La ventaja de utilizar un estándar es que el lanzamiento se vuelve más confiable tanto para los vehículos lanzadores como para los desarrolladores de CubeSats.





El sistema P-POD puede lanzar Cubesats de 1 a 6 unidades.

Oportunidades de lanzamiento por brokers/integradores

- Adaptive Launch Solutions (ALS)
- NanoRacks LLC
- Spaceflight Industries
- TriSept Corporation
- Tyvak Nanosatellite Systems Inc.

Opciones de lanzamiento

Lanzamiento a órbitas terrestres bajas (LEO). Costos

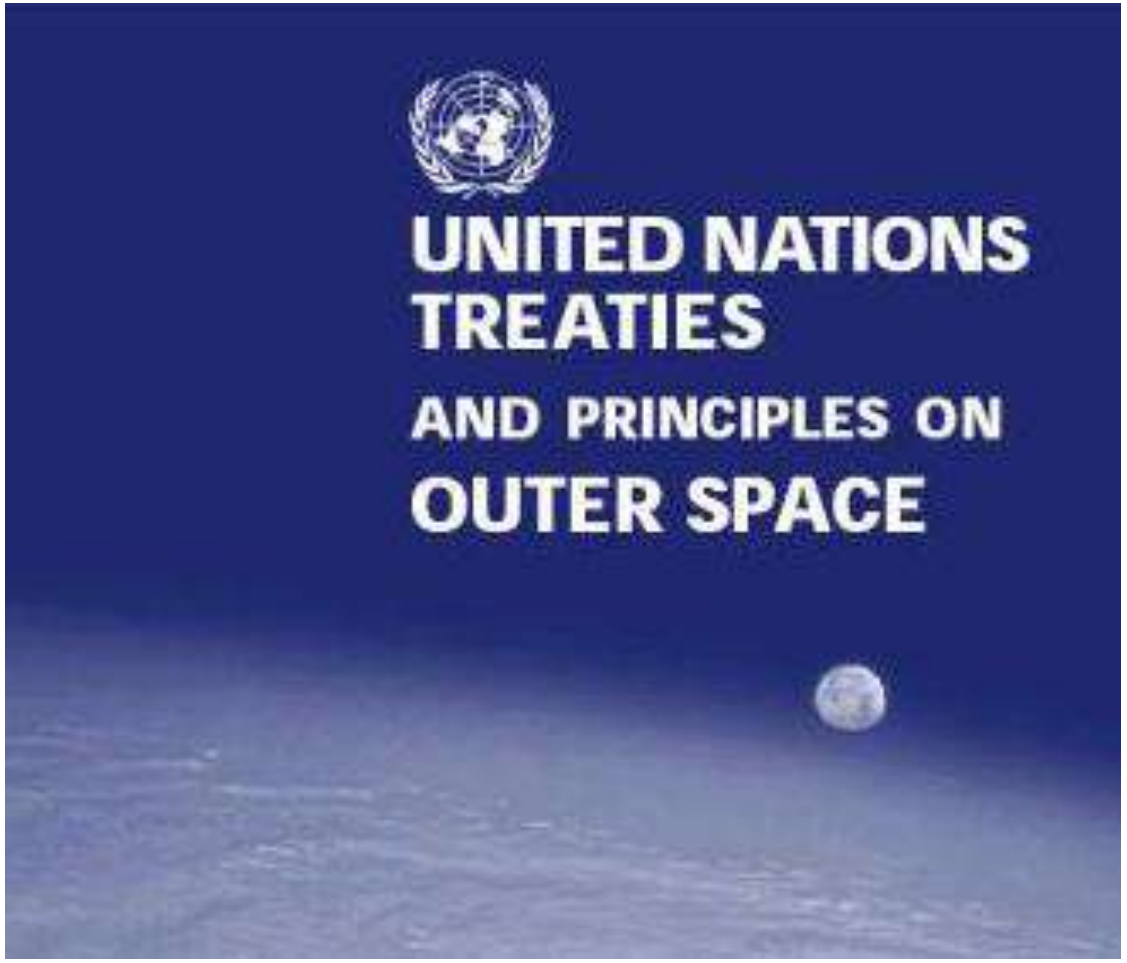
Diferentes vehículos comerciales presentan costos diversos por kg de masa a LEO.

Launch vehicle	LEO kg	Cost $M	Cost/kg
Pegasus XL	443	13.5	$30,474
Rokot	1,850	13.5	$7,297
Start	632	7.5	$11,867
Taurus	1,380	19	$13,768
Delta 2	5,144	55	$10,692
Dnepr	4,400	15	$3,409
CZ 2E	9,200	50	$5,435
Soyuz	7,000	37.5	$5,357
Ariane 5	18,000	165	$9,167
Proton	19,780	85	$4,297
STS	28,803	300	$10,416

Cost per kg (Futron, 2002)

El costo dependerá de las opciones de lanzamiento disponibles (ventana de lanzamiento), así como de la misión del Cubesat.

Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.



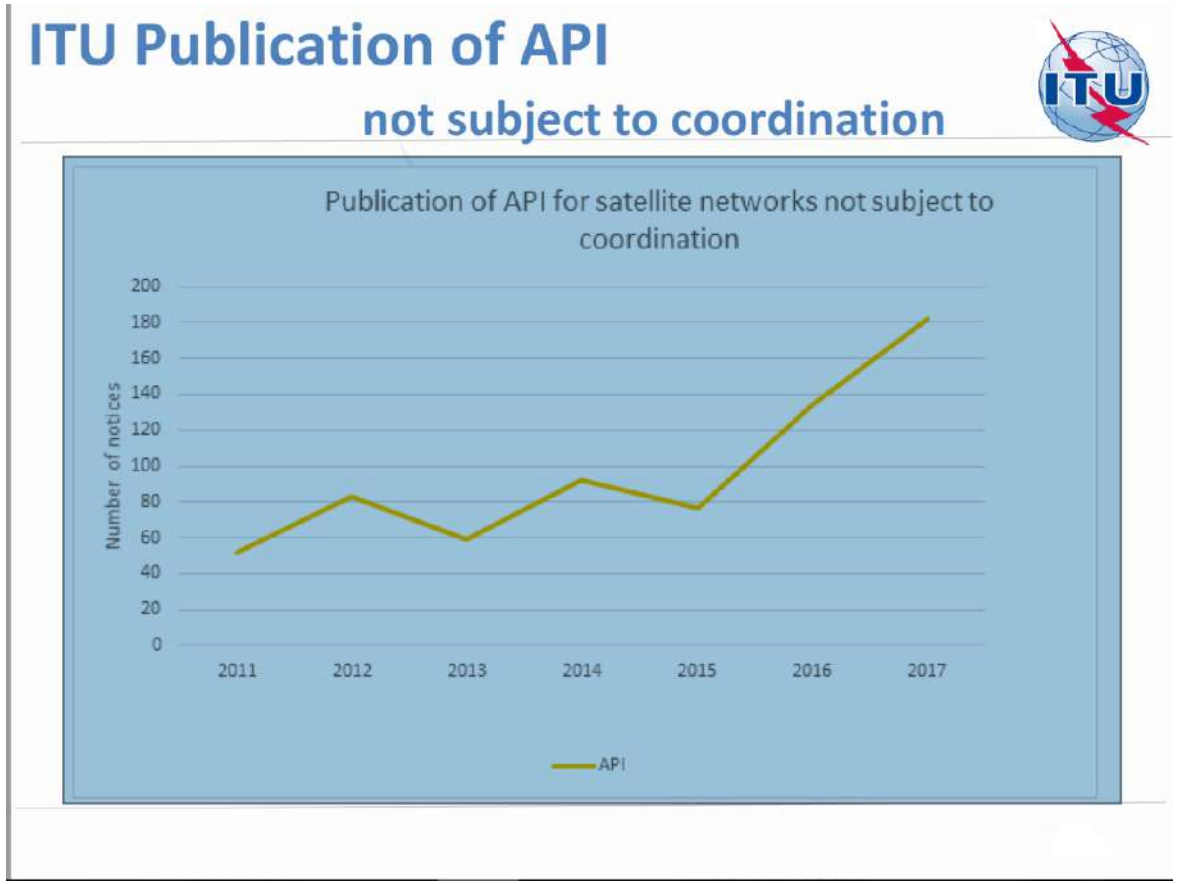
Todos los pequeños satélites son objetos espaciales que están bajo las leyes internacionales que aplican a dichos objetos. El lanzamiento y operación de dichos satélites constituye una actividad espacial, por lo tanto, también están sujetos a las leyes establecidas por las naciones unidas.

La nación a la que pertenece el satélite es responsable de los daños a terceros que éste pueda ocasionar.

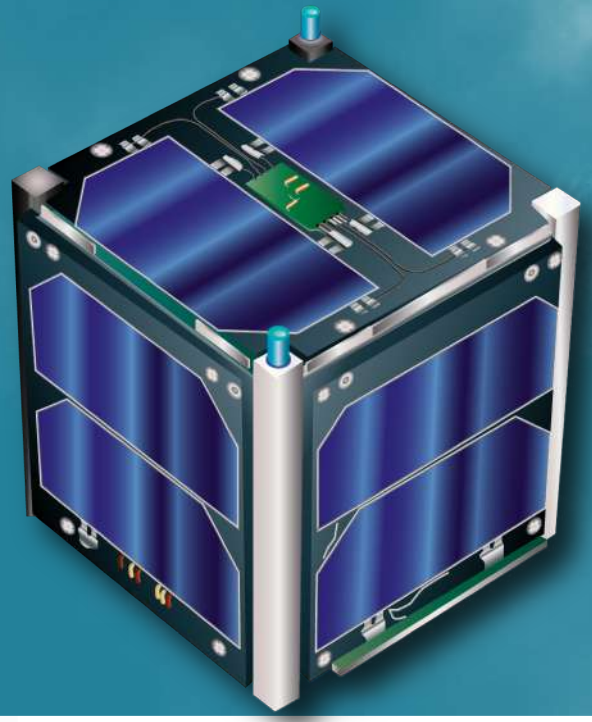
Deben seguirse regulaciones nacionales e internacionales debido a que se trata de recursos limitados (órbitas y frecuencias).

Retos de la regulación de frecuencias

- **Muchos desarrolladores y operadores nuevos**
  - Saben poco o no están al tanto de las regulaciones
- **Presupuestos limitados**
- **Desarrollo muy rápido**
- **Grandes cantidades de nuevas solicitudes**
  - Abruman a los reguladores
- **Nuevos conceptos**
  - Grandes constelaciones
  - Reposición regular/aumentación



Retos Futuros y Oportunidades.



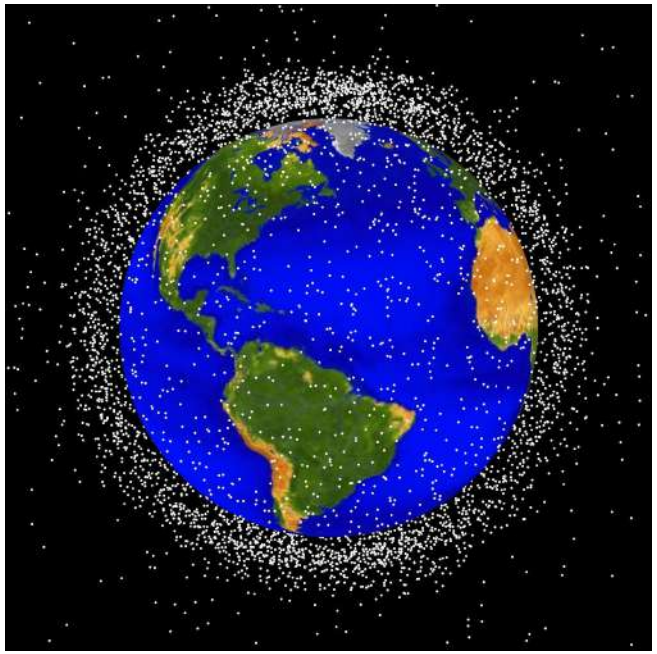
Lo que sigue...

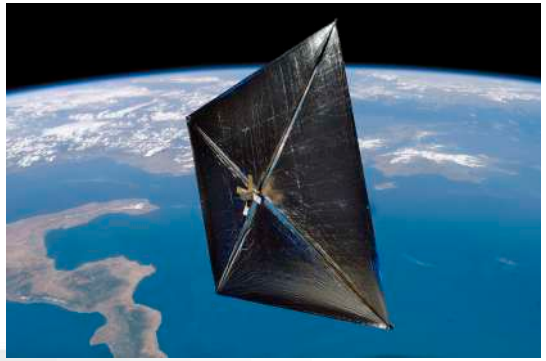
Tendencia hacia mayor miniaturización y mayores niveles de integración. Las misiones fraccionadas prometen también un campo de investigación.

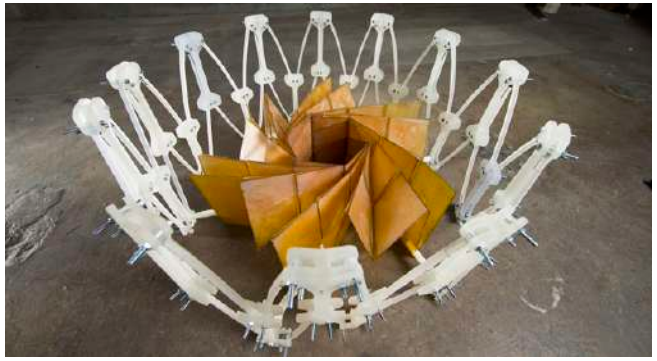
Pero todavía falta por hacer

Retos en el área de pequeños satélites (desarrollos)

- **Capacidades para desorbitar los satélites.**
- **Uso de cambio de momento, despliegue de superficies y sistemas de desorbitación/maniobra.**
- **Utilización de arreglos de antenas en fase y sistemas codificadores para transmitir más información por bit que se envía.**
- **Antenas desplegables que permitan comunicaciones con mejores tazas de transmisión y ganancia.**

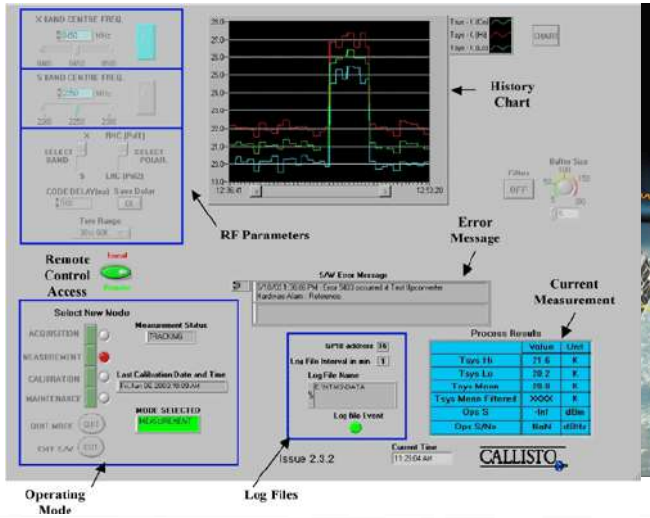


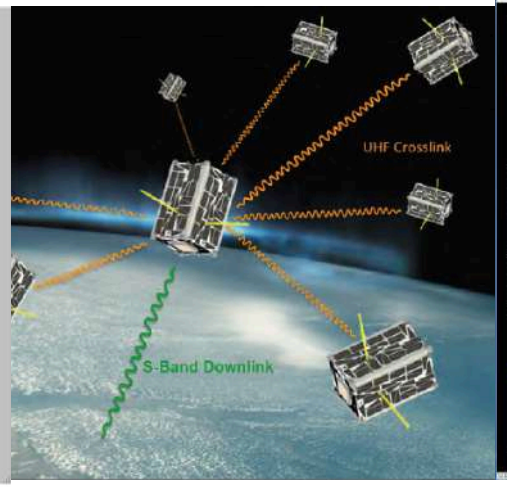




9. Retos, futuros y oportunidades

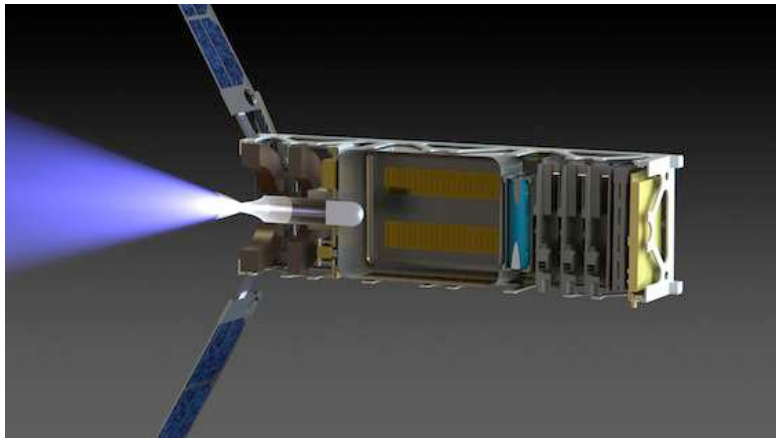
- Constelaciones de satélites pequeños.
- Vuelos en formación y conformación de sistemas mayores.
- Acoplamiento con otras naves y CubeSats.





En resumen

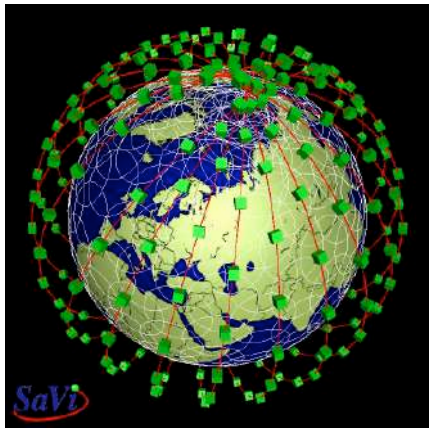
- El estándar CubeSat es suficientemente sólido que está siendo aceptado por la comunidad espacial.
- Su bajo costo, reducido tiempo de tiempo de desarrollo y uso de COTs son su mejor ventaja.



Finalmente

Los CubeSats:

- Son alternativa viable de acceso al espacio para desarrolladores de cualquier país
- Abrirán nuevos mercados de aplicaciones basadas en el espacio.
- Están revolucionando las aplicaciones espaciales.



Satélite Bicentenario MEXSAT

Fabricante:	Orbital.
Modelo:	GEOStar 2.
Masa:	2.9 ton.
Posición orbital:	114.9 oeste.
Tipo de órbita:	Geoestacionaria.
Vida útil:	≈15 años.
Potencia:	3.5 kW.
Lanzador:	Arianespace (Ariane 5)
Lanzamiento:	19 diciembre 2012.
Duración proyecto:	22 meses.
Costo del satélite:	$93,800,000.00
Costo lanzamiento:	$89,000,000.00
Costo Centro Control:	$24,300,000.00
Costo Total:	$207,100,000.00
*Montos en dólares.	

Fuentes

[1] https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2014i/Documentos/Auditorias/2014_0419_a.pdf

10. Referencias

[1] Small Spacecraft Technology, State of the Art, AMES Research Center, NASA 2014 .

[2] Ram S. Jakhu, Joseph N. Pelton, Small Satellite and their Regulation, Springer.2014.

[3] The Consultative Committee for Space Data Systems, http://public.ccsds.org/default.aspx.

[4] Löfgren, H. et al.: TechEdSat: a minimal and robust 1U CubeSat architecture using plug-and-play avionics. 9th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation. Berlin, Germany, 2013.

[5] Satellite Mission Operation best Practices, Ray Harvy, johns Hopkins Applied Physics Laboratory, 2013.

[6] M. Rycroft, N. Crosby, Small Satellites: Bigger Business?, Springer 2002.

[7] Cubesat Design Specification, California Polytechnic State University.

[8] ITU, The International Telecommunications Union: http://www.itu.int/es/ITU-R/pages/default.aspx Consultado al 1 de abril de 2016.

[9] D.E. Koelle, R. Janovsky, Development and transportation cost of space launch systems, DGLR/CEAS European Air and Space Conference 2007.

[10] Taller de regulación de satélites pequeños, CICESE, 14 octubre 2015.

¡Muchas gracias!

rebollar.blanca@aem.gob.mx

www.educacionespacial.aem.gob.mx

SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

AEM

AGENCIA ESPACIAL
MEXICANA