



European  
Global Navigation  
Satellite Systems  
Agency



**EGNOS**

NAVIGATION SOLUTIONS  
POWERED BY EUROPE

# El Sistema Galileo

UPV - Universitat Politècnica de València

Luis ARMENDARIZ

Mayo 2019

# AGENDA



- Introducción a GNSS y Galileo
- Segmento Usuario
- Segmento Espacio
- Segmento Tierra
- Segmento Lanzamiento



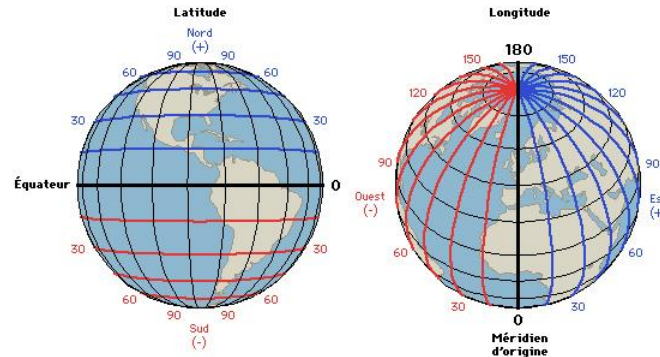
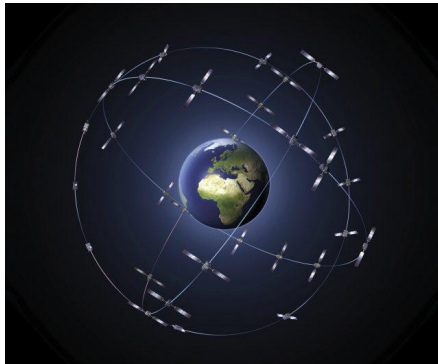
Duración estimada: 70-80 minutos



# GNSS



- Los Sistemas de Navegación **Global** por Satélite (GNSS), -como Galileo, GPS, Glonass y BeiDou-, utilizan constelaciones de satélites para proveer **Posición y Hora**:
  - **Global**: en cualquier momento, en cualquier sitio del planeta y en órbita baja (p.e. ISS).
  - **Posición**: Coordenadas del receptor ( $X_R, Y_R, Z_R$ ). **Gratuito\***.
  - **Hora**: Sincronización precisa a una hora estándar. **Gratuito\***.



- A veces se usa el término PNT (Position, Navigation and Time) ☐ Impreciso.
  - Para navegar hace falta mapas y guía.
  - Un receptor no dice dónde o cómo ir, solo posición y hora.
- Un sistema GNSS no conoce la posición del receptor (mono-direccional)
  - Pero un teléfono puede compartir mucha información.



# El proyecto Galileo



Los servicios de posicionamiento y hora son cada vez más críticos: sistemas y operaciones militares, equipos de rescate, redes eléctricas, sistemas bancarios...

Galileo es un GNSS europeo:

- Independiente
- Civil
- Compatible
  - Compatibilidad con GPS asegurada
- Nuevas capacidades: PHM, doble frecuencia\*, link de retorno

## GALILEO PROJECT

Sec. supervisor – E Council  
Supervision – EC  
Exec. Management. – GSA  
Operation – Industry (GSOp)  
Program Eng. – ESA  
Infrastructure – Industry  
Use – OS / PRS / SAR / CS



El coste del programa Galileo se estima en 10.000 Millones de €

- 500 Millones de ciudadanos en la EU
- Menos de 20 € por ciudadano

Como comparación

- Coste estimado del rescate de las autopistas españolas: 5.000 M€
- Coste estimado del rescate de los bancos españoles: 64.000 M€



# Galileo Hoy



Desde el 11 de febrero de 2019, la constelación de Galileo provee servicios de PNT con 22 satélites.

- 26 satélites en órbita: 2 testing, 1 no disponible, 1 reserva.
- Decenas de centros y estaciones en tierra.
- Precisión de posición inferior a 2m.
- Precisión de hora inferior a 30ns.

Más de 600 millones de dispositivos con Galileo.

Lista de los primeros teléfonos que incorporaron Galileo:

- **Apple:** iPhone 8 Plus, iPhone 8, iPhone 10/X
- **BQ:** Aquaris V Plus, Aquaris V, Aquaris X5 Plus, Aquaris X, Aquaris X Pro
- **Google:** Pixel 2, Google Pixel 2 XL
- **Huawei:** P10 plus, Mate 9 pro, P10, Mate 10 Pro, Mate 9
- **LG:** V30
- **Mediatek:** Meizu Pro 7 Plus, Meizu Pro 7
- **Motorola:** Moto X4
- **Nokia:** Nokia 8
- **Oneplus:** Oneplus5
- **Samsung:** S8, S8+, Note 8
- **Sony:** Xperia XZ Premium
- **Vernee:** Apollo 2

Prácticamente todos los nuevos modelo, excepto algunos de gama baja, lo incorporan.



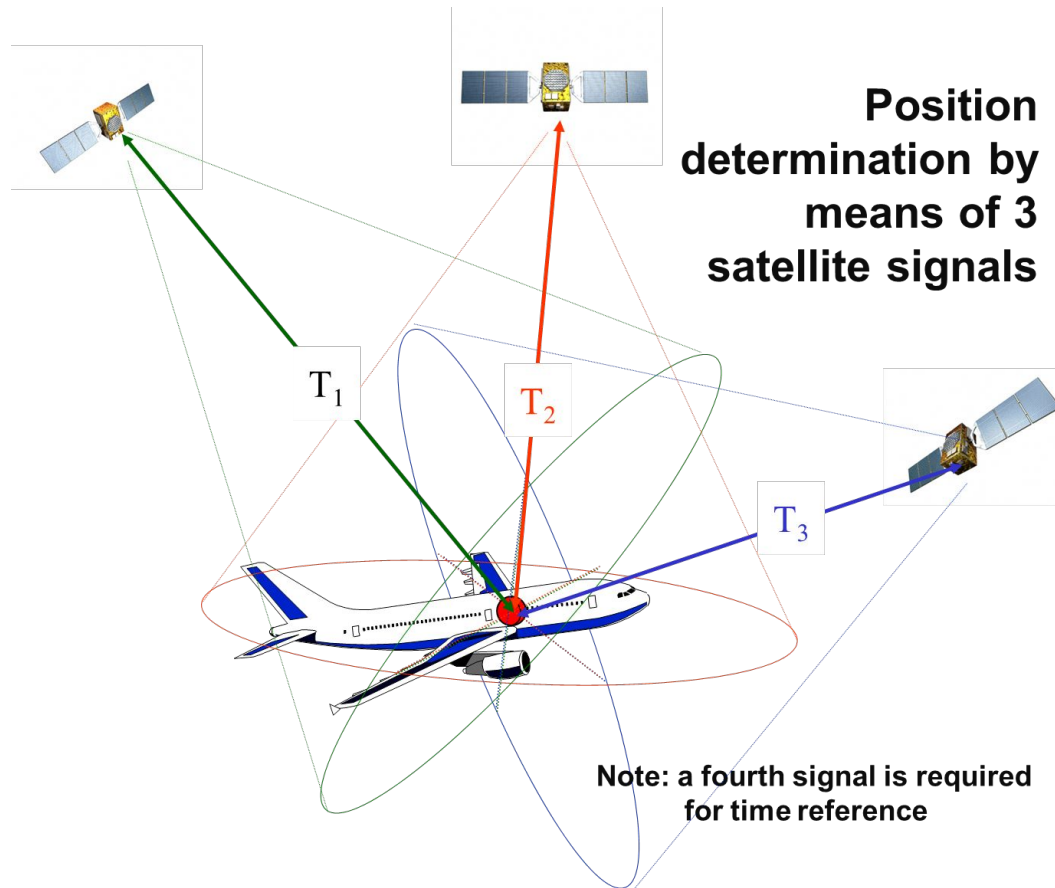
GPSTest, a popular open-source Global Navigation Satellite System (GNSS) testing app for Android

The screenshot shows the GPSTest app interface. At the top, it displays 'Status' with a menu icon on the left and a share icon on the right. Below this, it shows location coordinates (Lat: 22.6685851°, Long: 106.2536618°), altitude (Alt: 158.9 m), speed (Speed: 0.0 m/sec), and PDOP (PDOP: 1.7). It also shows time (Time: 10:18:46), TTFF (TTFF: 3 sec), H/V Acc (H/V Acc: 4.0/0.0 m), # Sats (Sats: 34/36), Bearing (Bearing: 55.6°), and H/V DOP (H/V DOP: 0.8/1.5). Below this, there is a table of satellite data.

| ID  | GNSS | CF  | C/N0 | Flags | Elev  | Azim   |
|-----|------|-----|------|-------|-------|--------|
| 3   | GPS  | L5  | 34.0 | AEU   | 64.0° | 168.0° |
| 195 | GPS  | L5  | 14.0 | AEU   | 57.0° | 93.0°  |
| 195 | GPS  | L1  | 17.0 | AEU   | 57.0° | 93.0°  |
| 19  | GPS  | L1  | 28.0 | AEU   | 55.0° | 20.0°  |
| 6   | GPS  | L5  | 29.0 | AEU   | 53.0° | 351.0° |
| 6   | GPS  | L1  | 29.0 | AEU   | 53.0° | 351.0° |
| 2   | GPS  | L1  | 17.0 | AEU   | 52.0° | 96.0°  |
| 13  | GPS  | L5  | 30.0 | AEU   | 51.0° | 332.0° |
| 17  | GPS  | L1  | 22.0 | AEU   | 49.0° | 47.0°  |
| 8   | GPS  | L5  | 16.0 | AEU   | 47.0° | 13.0°  |
| 2   | GPS  | E1  | 36.0 | AEU   | 45.0° | 223.0° |
| 2   | GPS  | E5a | 38.0 | AEU   | 45.0° | 223.0° |
| 1   | GPS  | L5  | 18.0 | AEU   | 44.0° | 120.0° |
| 5   | GPS  | E1  | 22.0 | AEU   | 40.0° | 135.0° |
| 2   | GPS  | L1  | 40.0 | AEU   | 36.0° | 285.0° |
| 17  | GPS  | L1  | 25.0 | AEU   | 36.0° | 5.0°   |
| 15  | GPS  | L1  | 27.0 | AEU   | 36.0° | 246.0° |
| 30  | GPS  | E5a | 34.0 | AEU   | 34.0° | 293.0° |
| 30  | GPS  | E1  | 39.0 | AEU   | 34.0° | 293.0° |



# Cómo funciona Galileo (I)



**Position  
determination by  
means of 3  
satellite signals**

**Note: a fourth signal is required  
for time reference**

- Las señales transmitidas por los satélites en el espacio incluyen posición y hora del satélite y son recibidas en tierra (u órbita baja).
- El receptor mide el tiempo que tarda la señal en llegar para calcular la distancia al satélite:  
$$\text{distancia} = \text{velocidad\_luz} \times \text{tiempo}$$
- Usando trilateración, se puede calcular la posición del receptor (tres incógnitas:  $x_R, y_R, z_R$ ) usando 3 satélites (3 ecuaciones).
- Dado que el reloj del receptor no está sincronizado con el sistema tenemos una cuarta incógnita ( $\Delta T$ ).
- Necesitamos 4 ecuaciones (4 satélites) para resolver 4 incógnitas ( $x_R, y_R, z_R, \Delta T$ ) --> 4 satélites.
- Nota: La señal es alterada por diferentes factores (ruido), afectando al cálculo.

$$\begin{cases} \sqrt{(x_{s1} - x_R)^2 + (y_{s1} - y_R)^2 + (z_{s1} - z_R)^2} + c\Delta T = (PRange1)^2 \\ \sqrt{(x_{s2} - x_R)^2 + (y_{s2} - y_R)^2 + (z_{s2} - z_R)^2} + c\Delta T = (PRange2)^2 \\ \sqrt{(x_{s3} - x_R)^2 + (y_{s3} - y_R)^2 + (z_{s3} - z_R)^2} + c\Delta T = (PRange3)^2 \\ \sqrt{(x_{s4} - x_R)^2 + (y_{s4} - y_R)^2 + (z_{s4} - z_R)^2} + c\Delta T = (PRange4)^2 \end{cases}$$

# Cómo funciona Galileo (II)



Las estaciones GSS reciben la señal de los satélites para sincronizar los relojes y medir las órbitas. Esa información es enviada a los centros de control. Los centros de control generan el mensaje de navegación con información de las estaciones, correcciones, información de integridad, etc. Las estaciones ULS envían el mensaje de navegación a los satélites, que lo transmiten a los usuarios.

Las estaciones TTC permiten controlar las plataformas de los satélites.

## SEGMENTO ESPACIO

Transmite señales para proveer posición y tiempo:

- Código de medida de distancia.
- Posición del satélite (elementos Keplerianos)
- Corrección de reloj.
- Información extra.

## SEGMENTO USUARIO

> 4,000,000,000 receivers (OS).

## SEGMENTO DE TIERRA

### Ground Control Segment (GCS)

#### "Plataforma"

- S/C Platform (health, orbit, propulsion, etc.).
- Usa estaciones TTC para TM-TC (bidirectional S-Band)

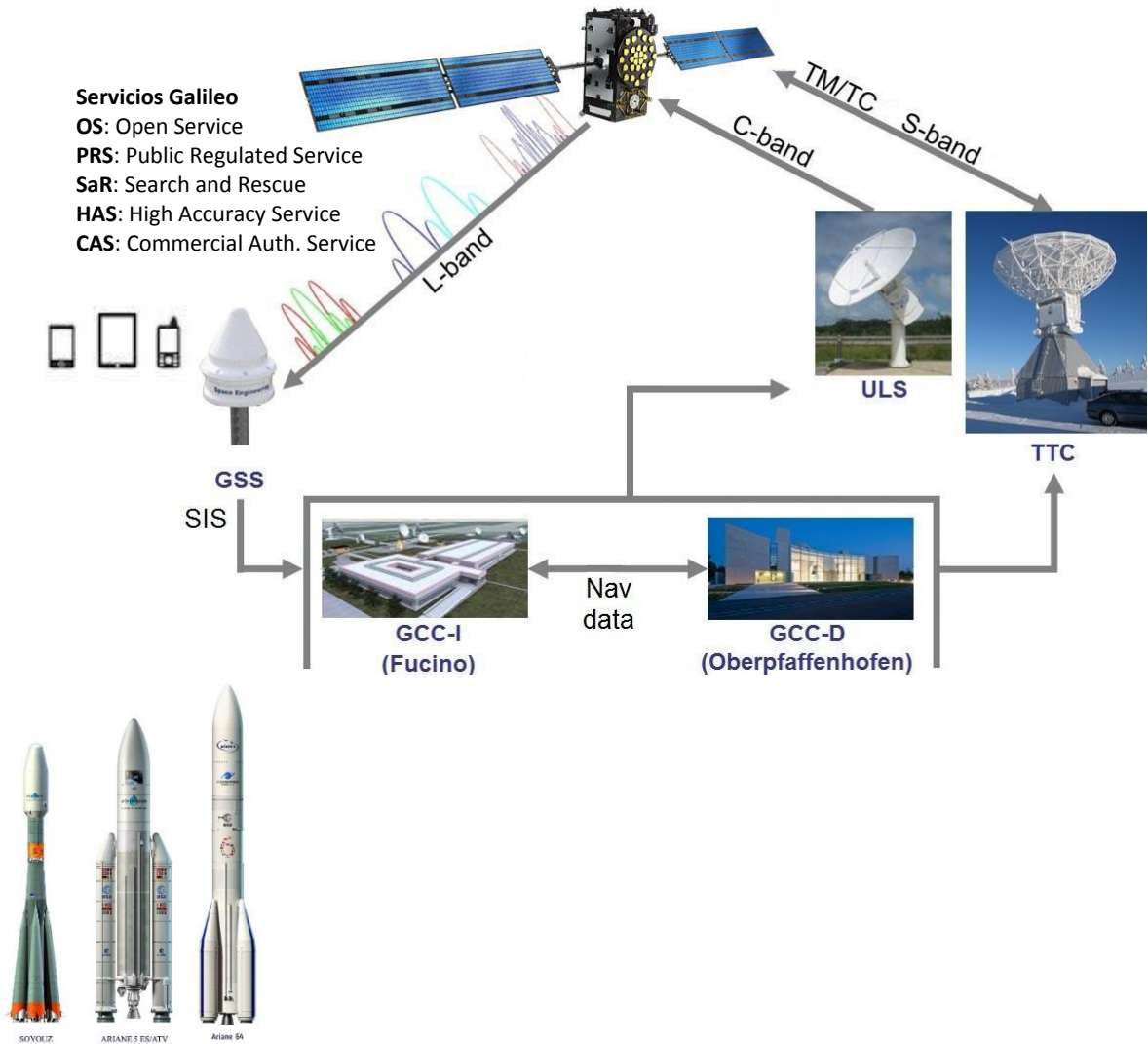
### Ground Mission Segment (GMS)

#### "Payload"

- S/C Payload (message & services)
- Estima cambios en reloj, órbitas.
- Usa GSS para recibir la SiS (L-Band)
- Usa ULS para actualizar el mensaje (C-Band)

## SERVICIO DE LANZAMIENTO

Arianespace: Soyuz, Ariane 5, Ariane 6

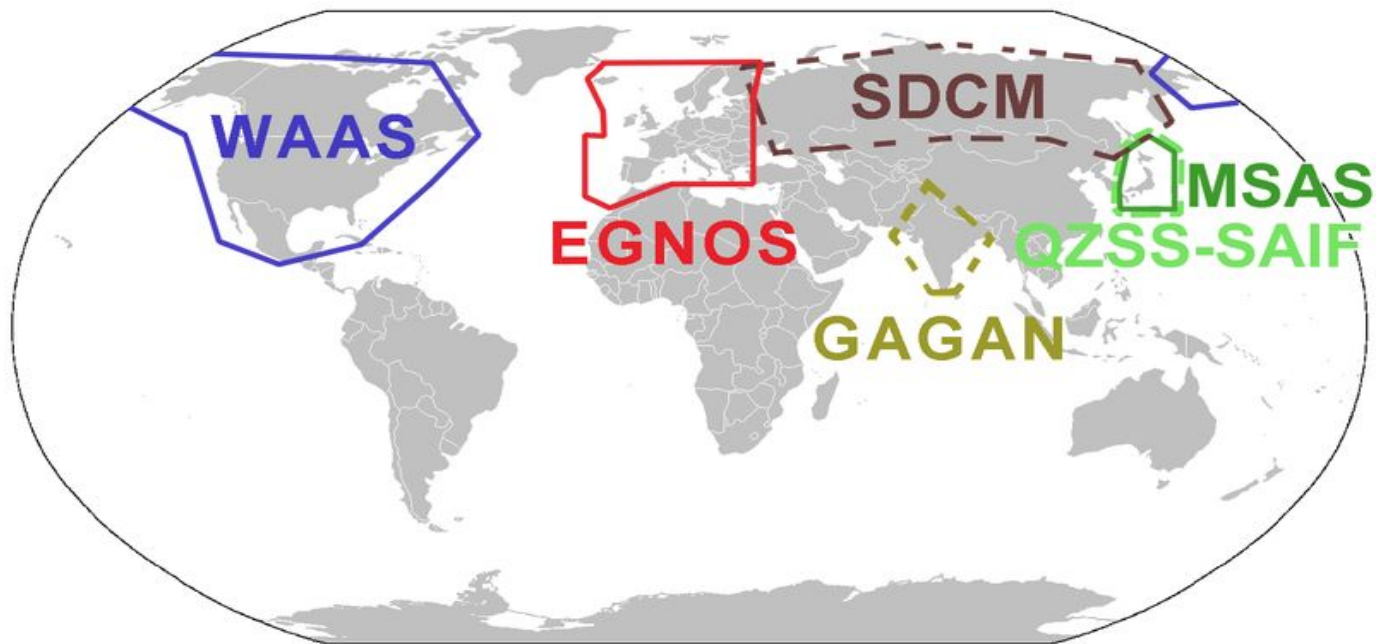


# COSPAS - SARSAT





# EGNOS

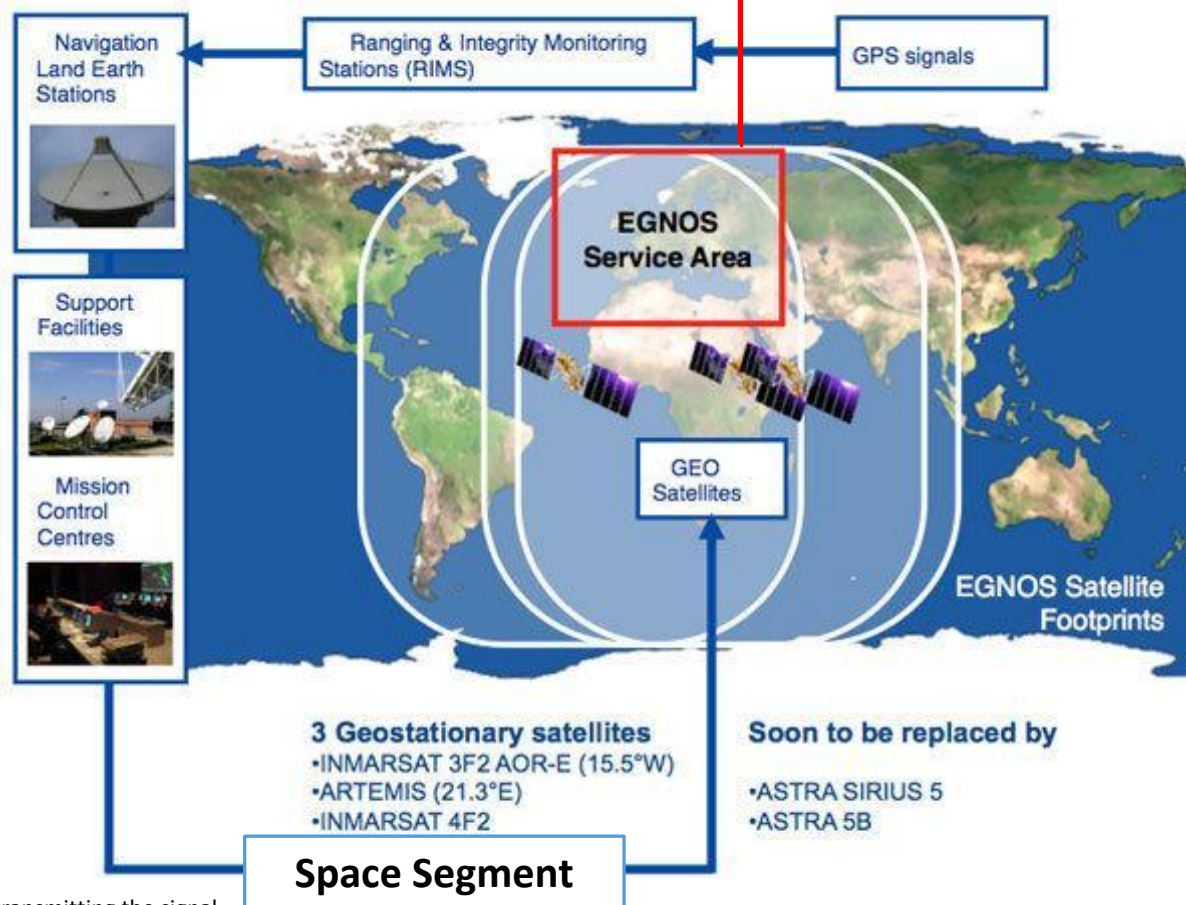


# ARQUITECTURA Y SEGMENTOS DE EGNOS

RIMS – Ranging & Integrity Mon. Station  
MCC – Mission Control Centre  
NLES – Nav. Land Earth Station



## Ground Segment



Three GEO satellites for redundancy, always 2 active and transmitting the signal.

# AGENDA



- Introducción a GNSS y Galileo
- Segmento Usuario
- Segmento Espacio
- Segmento Tierra
- Segmento Lanzamiento

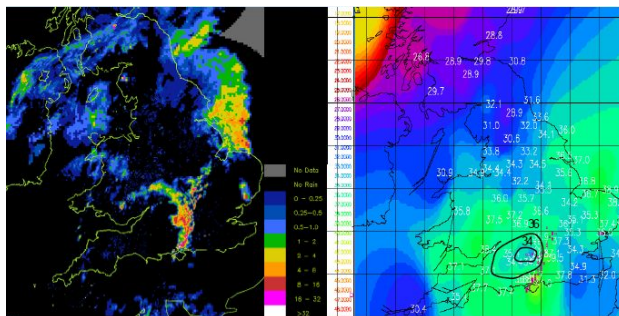
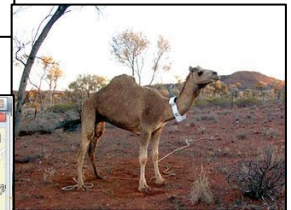
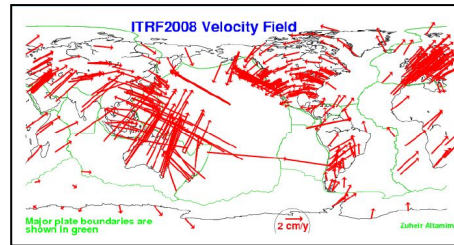




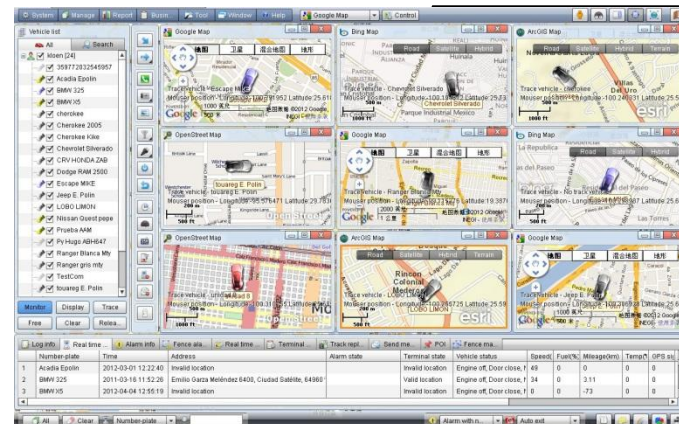
# Positioning



- Transportation and navigation
  - Land, maritime, air.
- Geo-location
  - Tracking of persons, goods and animals.
  - Geofencing
  - Emergency calls (E-112; cars and phones)
- Engineering
  - Construction and structure deformation monitoring (bridges, dams).
- Surveying
  - Mapping and Geodesy.
- Science
  - Crustal dynamics monitoring, atmospheric water vapour estimation and water level monitoring.
- Logistics
  - Road tolling and congestion charging.
  - Vehicle management and asset tracking



Weather Radar at 1400



GPS IWV at 1400

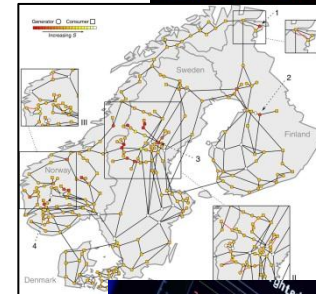


# Timing Applications



- Network synchronisation
  - Telecommunications
- Power grid system management
  - Transfer network control.
- Commerce and banking transfers.
  - Stock exchange.
  - Worldwide transfers.

... and more!



# Servicios Galileo



|                                                |                                                                                                                                  |                                                                                       |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Open Service (OS)</b>                       | Servicio de libre acceso para posicionamiento, navegación y tiempo.                                                              |    |
| <b>Public Regulated Service (PRS)</b>          | Servicio cifrado restringido a usuarios autorizados por el gobierno. Diseñado para una mayor robustez y una mayor disponibilidad |    |
| <b>Search and Rescue Service (SAR)</b>         | Ayuda a localizar a las personas en peligro y confirma que la ayuda está en camino                                               |    |
| <b>High Accuracy Service (HAS)</b>             | Ofrece servicios de alta precisión y servicios de valor agregado a través de una banda de frecuencia cifrada diferente           |   |
| <b>Commercial Authentication Service (CAS)</b> | Ofrece servicios autenticados de alta precisión a través de una banda de frecuencia cifrada diferente                            |  |

# Comparación de servicios



|                        | Continuidad de servicio en caso de denegación | Robustez mejorada | Autenticación | Control de Acceso |
|------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|---------------|-------------------|
| <b>GPS SPS</b>         | -                                             | -                 | -             | -                 |
| <b>GLONASS SP</b>      | -                                             | -                 | -             | -                 |
| <b>Galileo OS</b>      | -                                             | -                 | SÍ*           | -                 |
| <b>Galileo HAS/CAS</b> | -                                             | SÍ                | SÍ            | EU                |
| <b>GPS PPS</b>         | SÍ                                            | SÍ                | SÍ            | US                |
| <b>Galileo PRS</b>     | SÍ                                            | SÍ                | SÍ            | EU                |

[\*] OS NMA (Navigation Message Authentication) incluido en E5 (doble frecuencia)



# AGENDA



- Introducción a GNSS y Galileo
- Segmento Usuario
- Segmento Espacio
- Segmento Tierra
- Segmento Lanzamiento



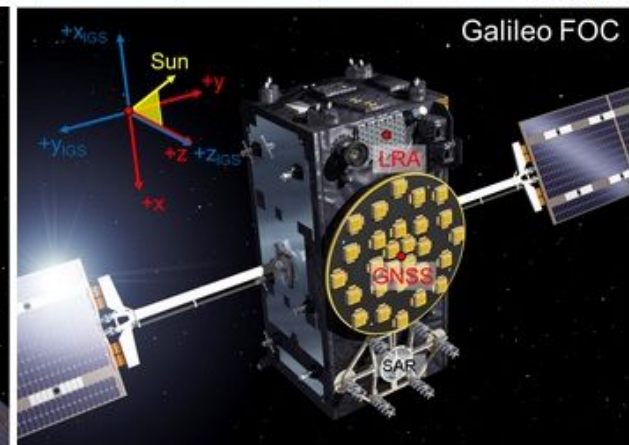
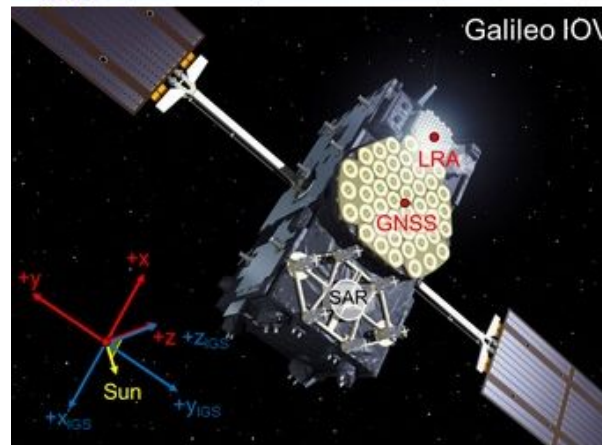
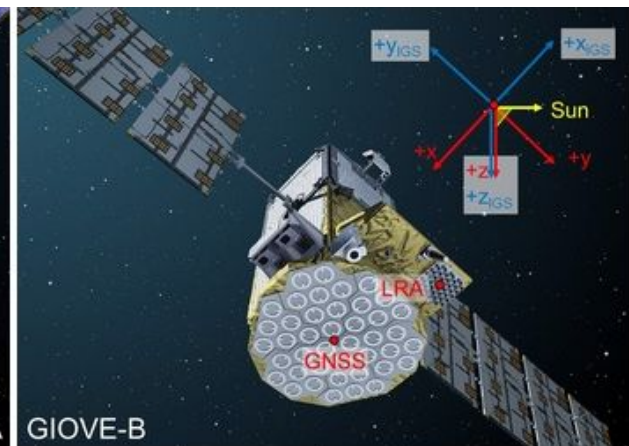
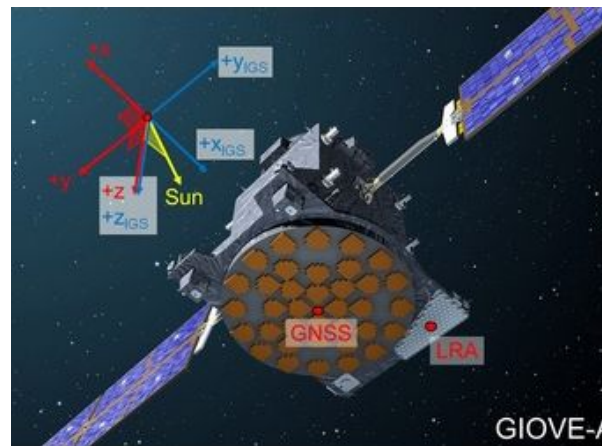
# Satélites Galileo

## Generaciones de satélites Galileo

- 1x **GIOVE-A** (Galileo In-Orbit Validation Element - A): 2005 (retirado 2009)
- 1x **GIOVE-B** (Galileo In-Orbit Validation Element - B): 2008 (retirado 2012)
- 4x **IOV** (In-Orbit Validation): 2011 - 2012
- 22x **FOC** (Full Operation Capability) (12 más en preparación): 2014 - 2018
- **G2G** (Galileo Second Generation): En desarrollo

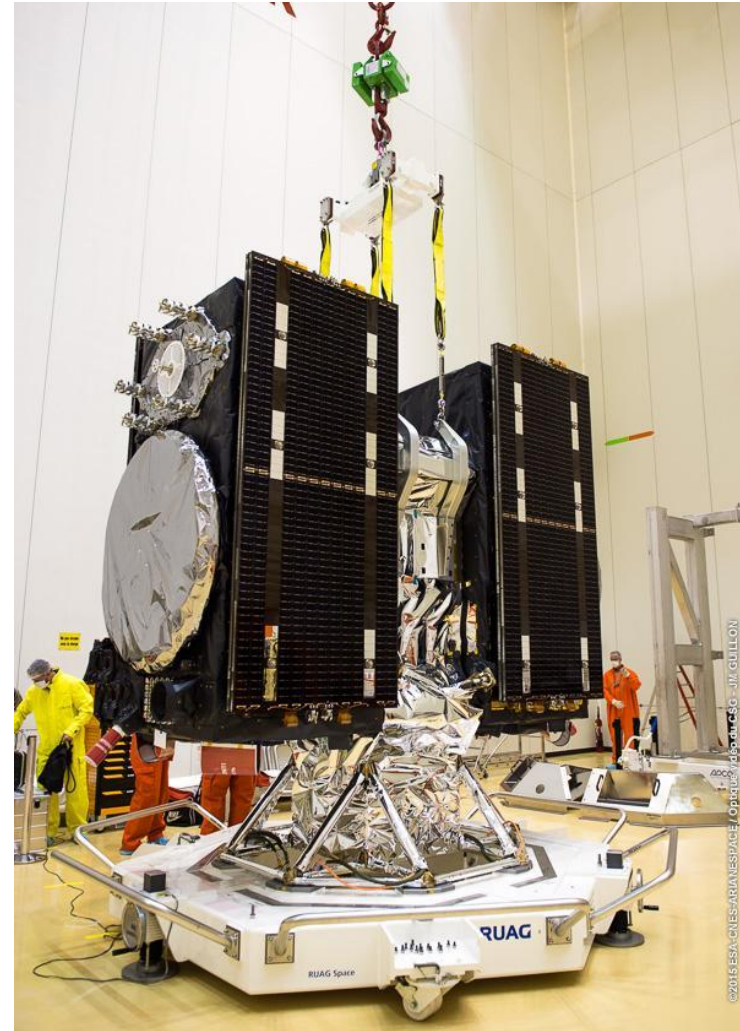
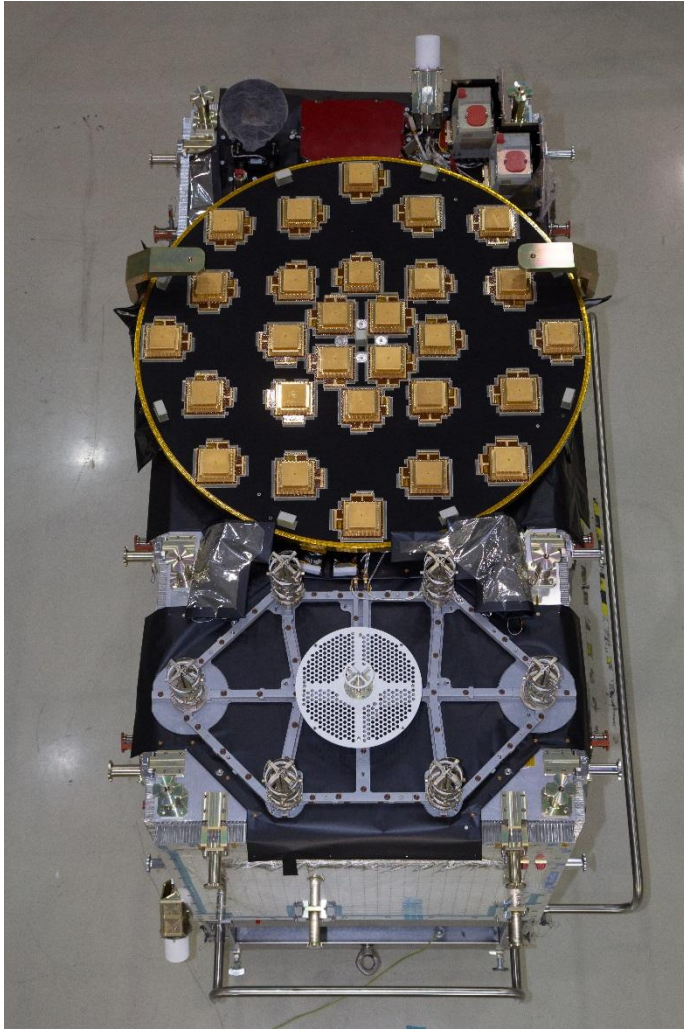
|                | Masa   |
|----------------|--------|
| <b>GIOVE-A</b> | 602 kg |
| <b>GIOVE-B</b> | 530 kg |
| <b>IOV</b>     | 700 kg |
| <b>FOC</b>     | 733 kg |

El tamaño es similar a una cabina de teléfonos o la Tardis (solo por fuera ;-)





# Galileo FOC Satellite

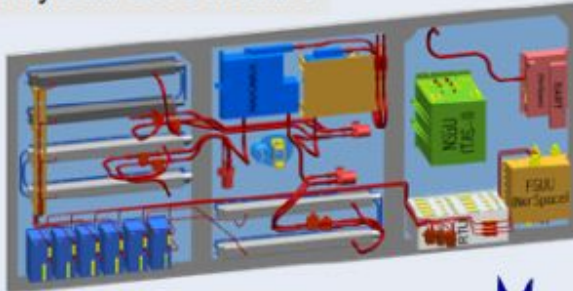


## FOC Sat. (OHV):

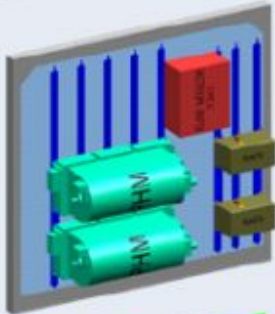
- Mass 733 Kg
- Size 2.5mx1.1mx1.1m or 14.7m (wings stowed or deployed)
- Power consumption: 1900 W
- MEO: 29600 Km (14h 4m 42s / rev.)
- Lifespan: 12 y

# Módulos

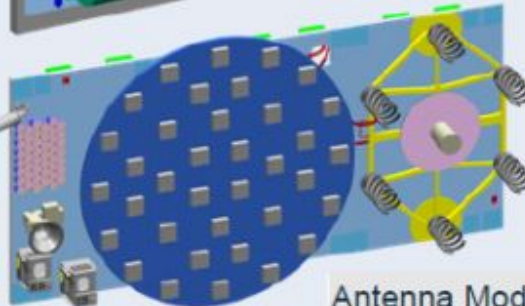
Payload Core Module



Clock Module



Antenna Module

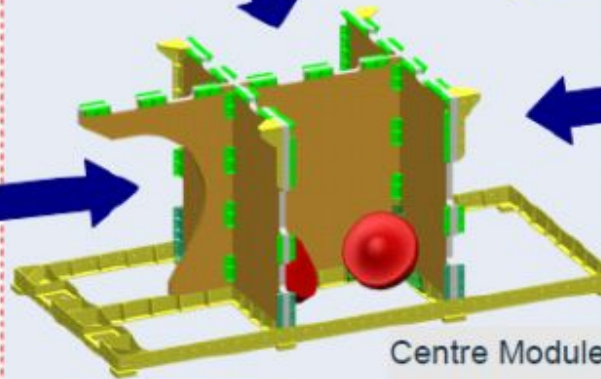


**SSTL**

Platform Core Module



Centre Module



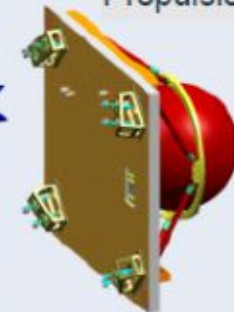
**OHB**

Solar Generator Module



**SA Supplier**

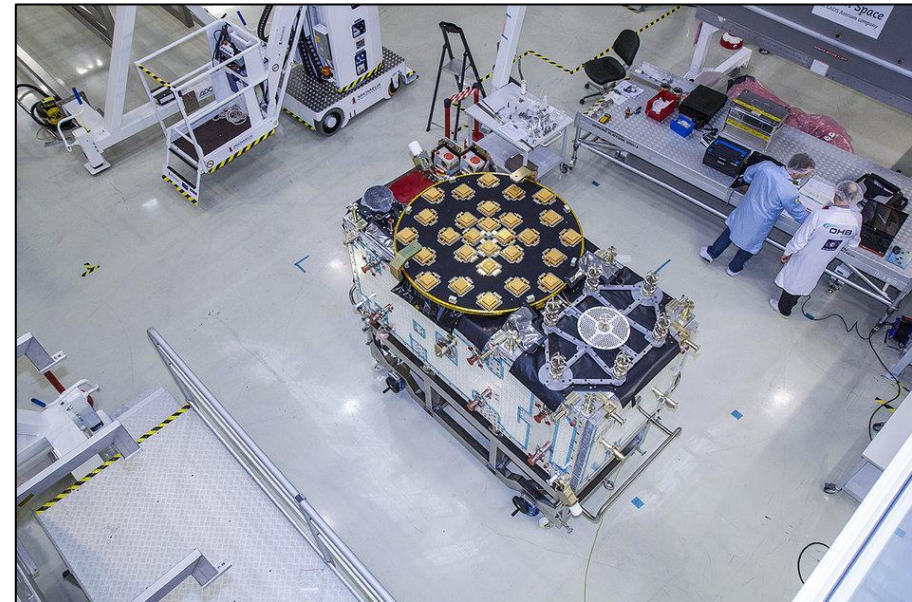
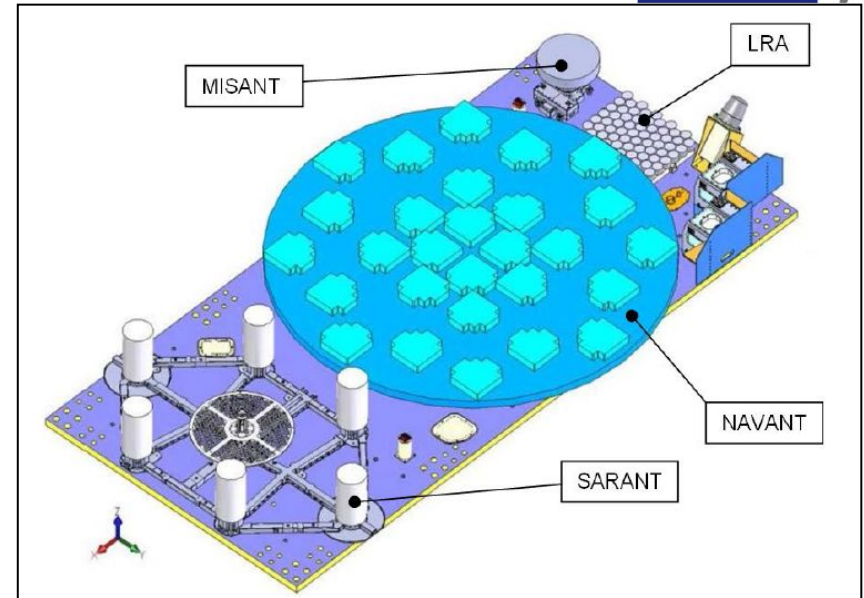
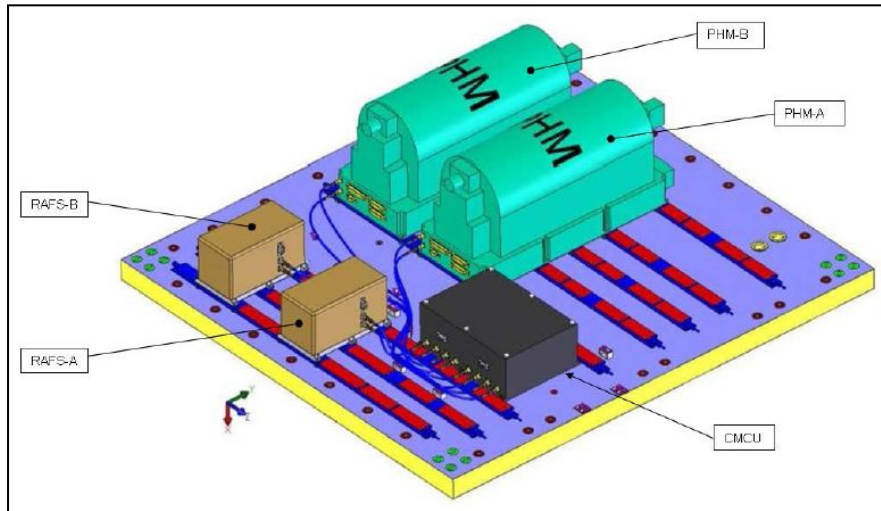
Propulsion Module



**Propulsion  
Module Supplier**



# Carga útil



# Propulsión y movimiento

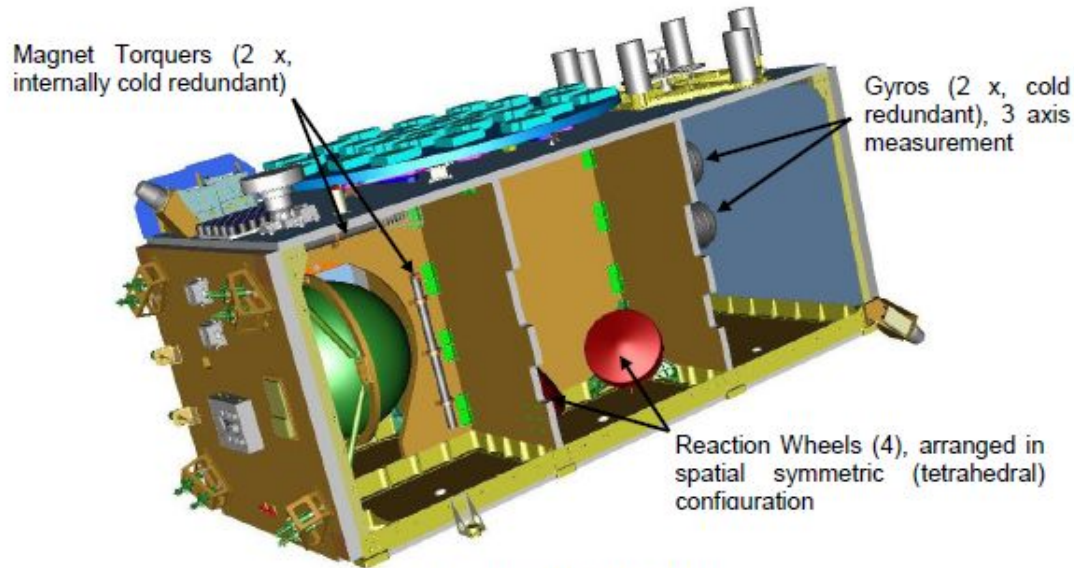


Figure 3-35 Accommodation of AOCS Units

The magnet torquers are mounted next to the propulsion module. The location of the magnet torquers is shown in Figure 3-42.

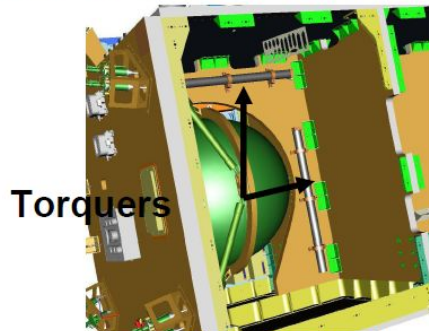


Figure 3-42 Magnet Torquer accommodation

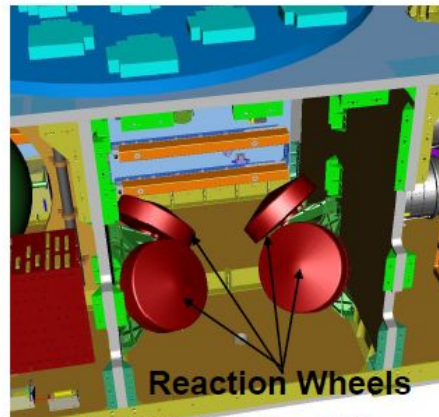


Figure 3-41 Reaction Wheel Accommodation

The fuel mass at lift-off is around 68 kg, and the consumption to move it to the destination orbit is around 8 kg.

## 3.5 PROPULSION COMPONENTS ACCOMMODATION

All propulsion components are accommodated on the propulsion module. Figure 3-43 and Figure 3-44 give a coarse overview without MLI:



Figure 3-43 Propulsion Module

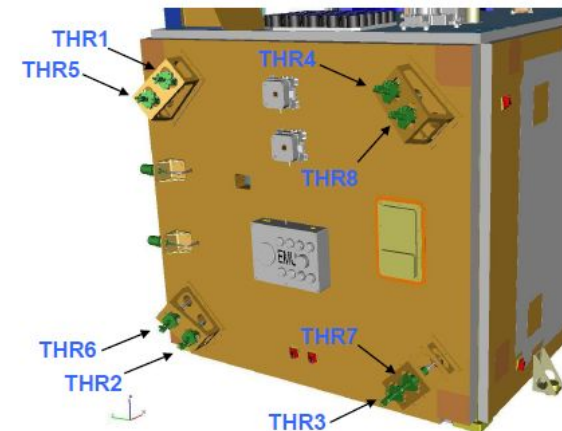


Figure 3-44 Thruster Accommodation

All propulsion-related elements are arranged on the propulsion panel on the -x face of the satellite. The (redundant) thrusters are located at the four corners of this panel. They are inclined around their diagonal axes in order to provide torque capability around the x axis.



# AGENDA



- Introducción a GNSS y Galileo
- Segmento Usuario
- Segmento Espacio
- Segmento Tierra
- Segmento Lanzamiento



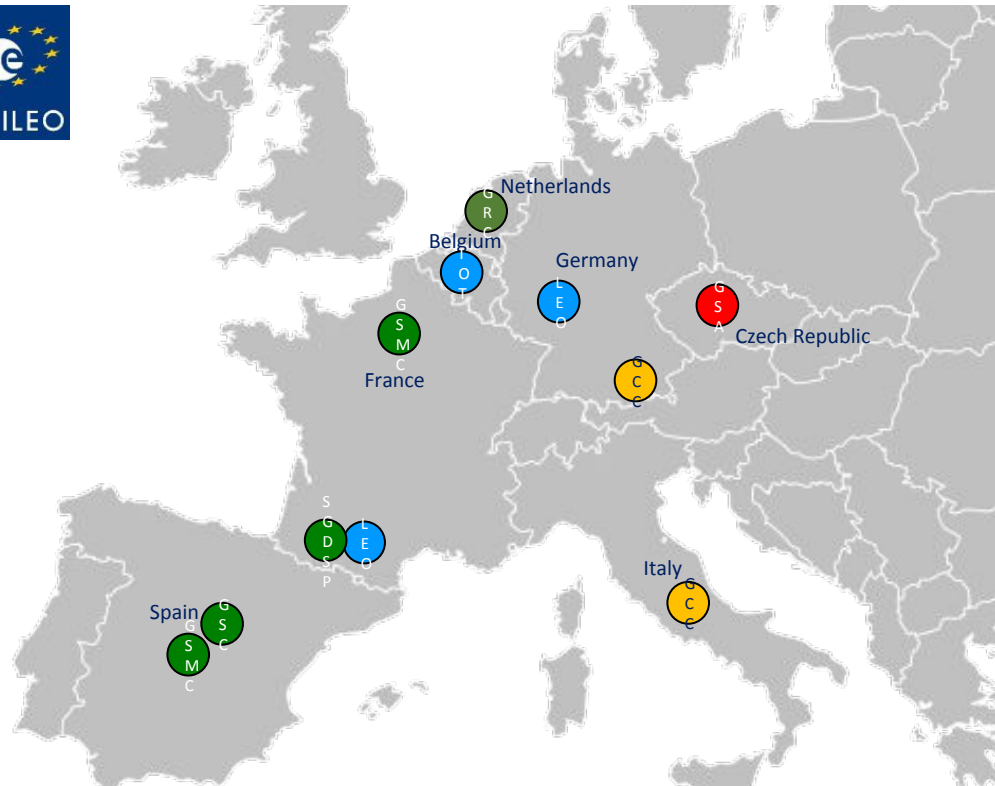


# Centros en Europa continental



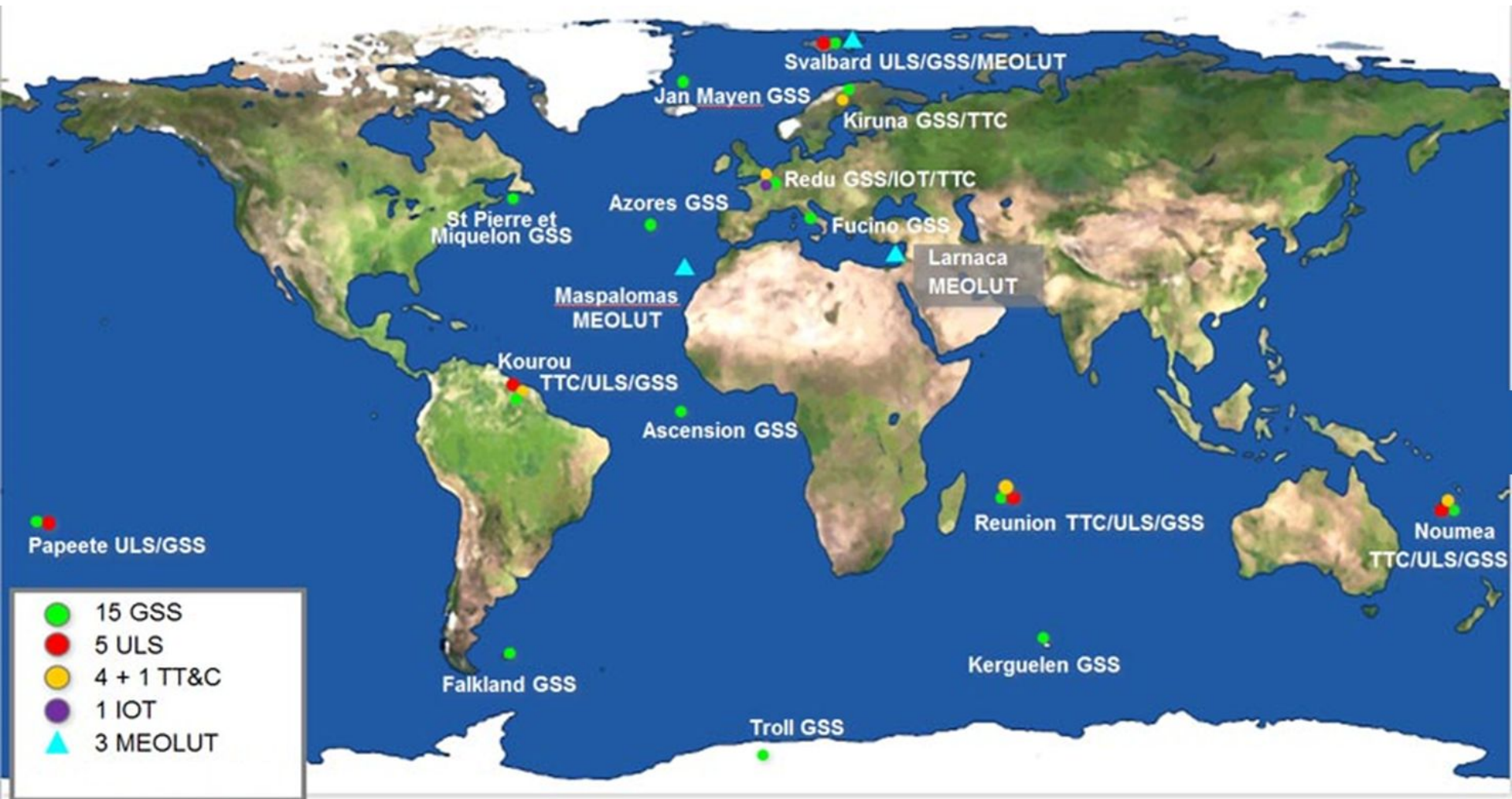
Todas las instalaciones deben estar en territorio de la EU (o Noruega) incluyendo territorios de ultramar:  
Belgium, France (i. overseas), Germany, Italy, Netherlands, Norway (i. Antarctica), Portugal (Azores), Spain, Sweden & UK\* (i. Ascension, Falkland)

[\*] Status to be re-defined after Brexit



-  European GNSS Agency HQ
-  Galileo Control Centre (G Control Sys / G Mission Sys) (redundancy)
-  Galileo In-Orbit Testing Centre
-  Launch and Early Orbit Phase Centre (shift each launch)
-  Galileo Security Monitoring Centre (PRS) (redundancy)
-  Galileo Service Centre (OS/CS)
-  Search and Rescue / Galileo Data Service Provider
-  Galileo Reference Centre (OS/CS/PRS)

# Centros en el mundo (territorio europeo)



# Jan Mayen



Jan Mayen (Noruega) es una pequeña isla volcánica parcialmente cubierta por glaciares, situada en el mar de Noruega y conocida por tener uno de los peores climas del mundo.

Esta isla no posee recursos naturales explotables. Su actividad económica se limita a proveer servicios a los empleados de las estaciones de radio y meteorológicas noruegas ubicadas en la isla. Tiene una pista aérea sin pavimentar utilizada por vuelos militares unas pocas veces al año. Carece de puertos o muelles.

La isla está habitada por menos de 30 personas. La GSS se sitúa en una playa de arena negra volcánica que es la única parte plana de la isla.





# Polar



Svalbard (un lugar donde está prohibido morir!)



Kiruna



Troll  
I



Jan Mayen



# Noumea



No existen aeropuertos en este area conocida como Islas de la Desolación. Sólo un barco la visita 4 veces al año. La isla mayor, Grande Terre, está casi cubierta por glaciares y es el hogar de aves marinas, gatos salvajes y unos 100 científicos.



Noumea



# Maspalomas



En las islas canarias, Maspalomas es un centro MEOLUT del programa Cospas–Sarsat.





# Galileo Control Centers



Fucino  
Italia



Oberpfaffenhofen  
Alemania

# AGENDA



- Introducción a GNSS y Galileo
- Segmento Usuario
- Segmento Espacio
- Segmento Tierra
- Segmento Lanzamiento

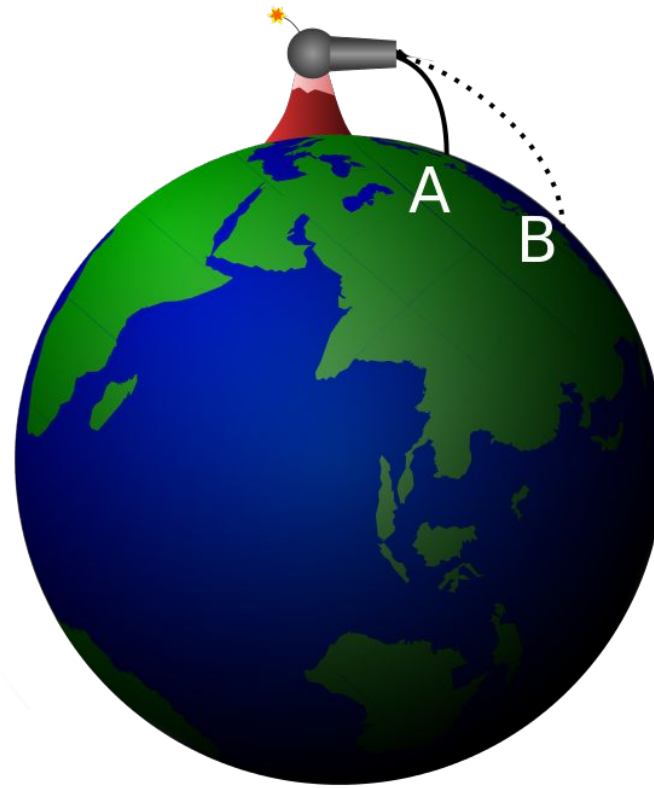


POR QUÉ NO CAEN?

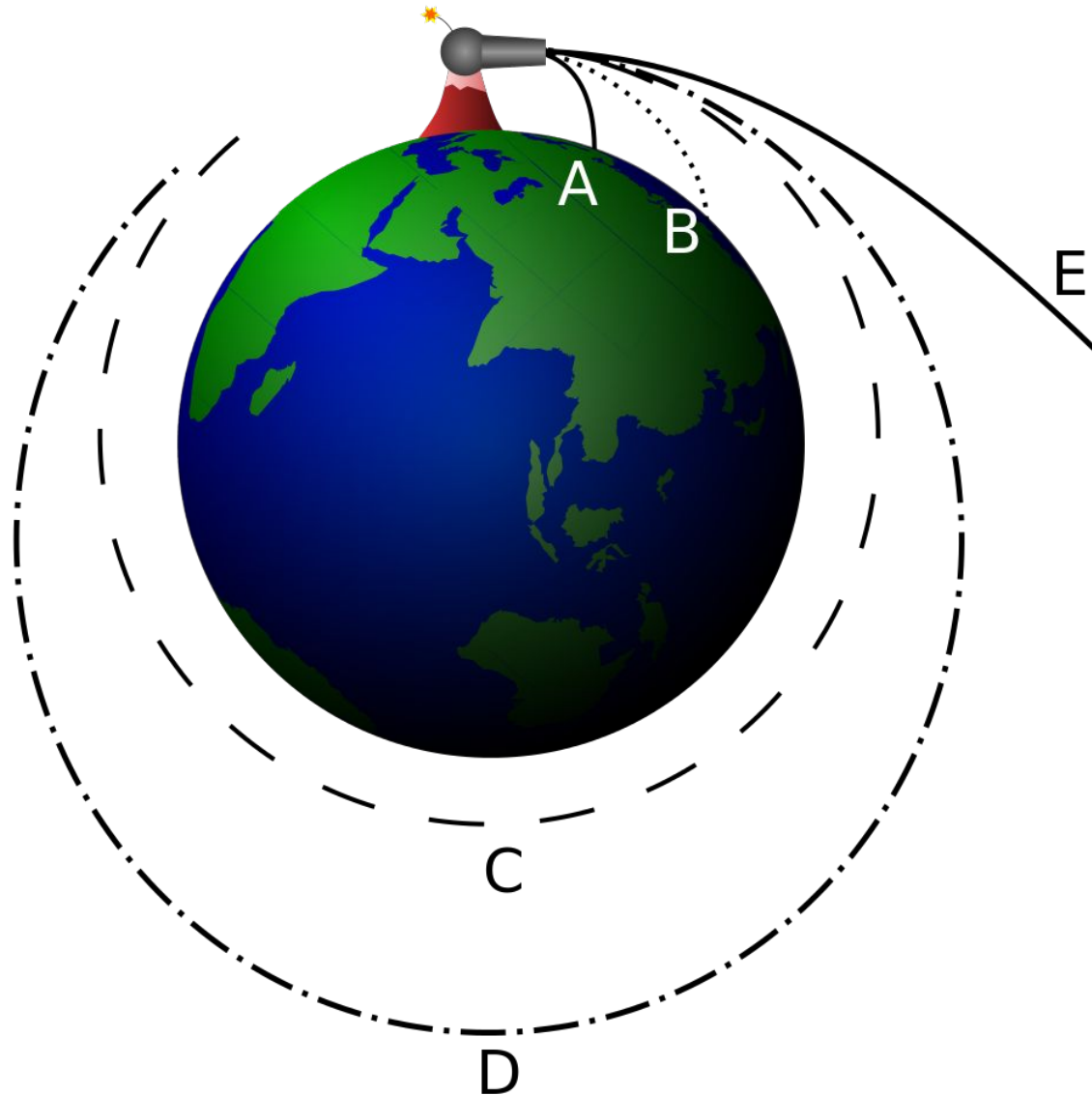




# POR QUÉ NO CAEN?



# POR QUÉ NO CAEN?



## HUBBLE

Altitude: 530 Km

Speed: 27,300 Km/h

Period: 95 min

Dónde está la luna?

Muy lejos: 380,000 Km



## ISS

Altitude: 400 Km

Speed: 27,600 Km/h

Period: 92 min

## A-Train

Altitude: 705 Km

Speed: 27,000 Km/h

Period: 98 min

## Galileo

Altitude: 23,200 Km

Speed: 13,200 Km/h

Period: 14 h

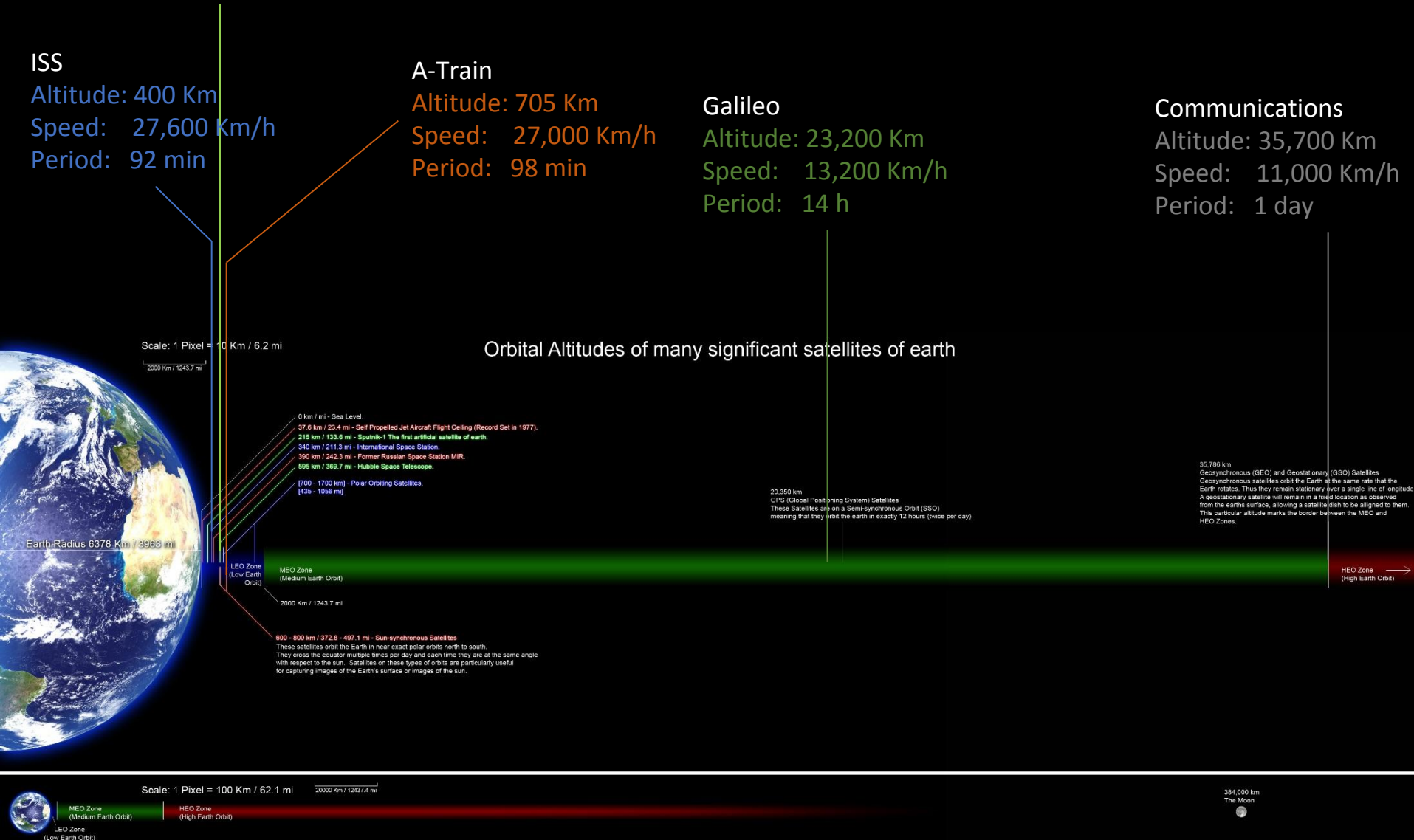
## Communications

Altitude: 35,700 Km

Speed: 11,000 Km/h

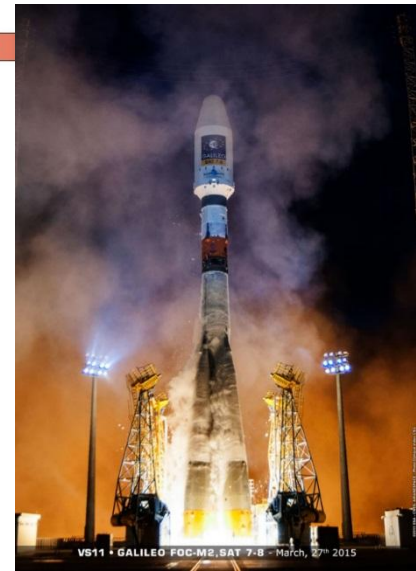
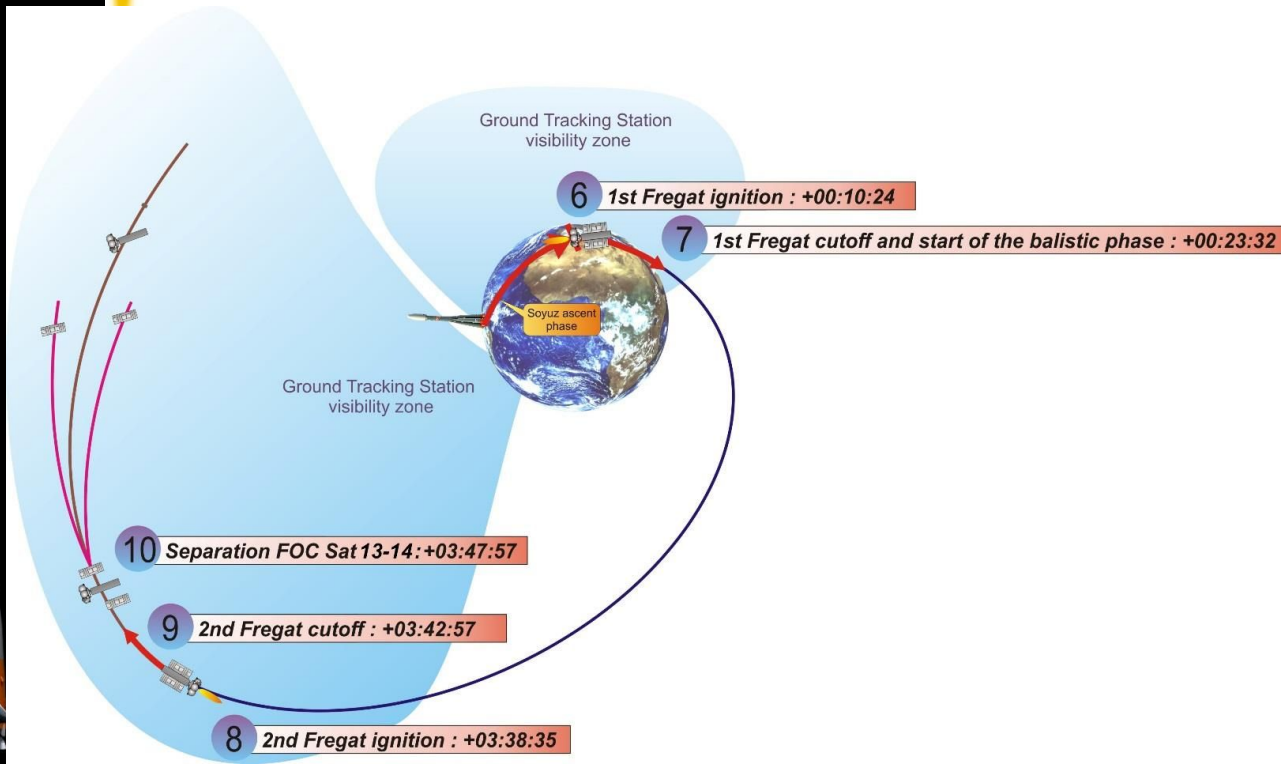
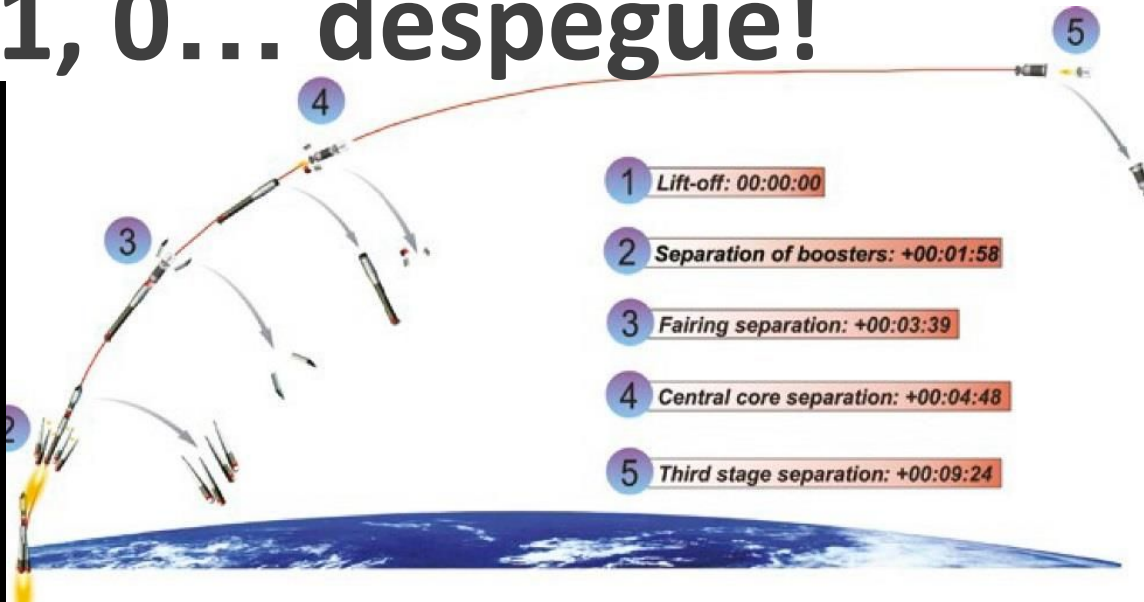
Period: 1 day

## Orbital Altitudes of many significant satellites of earth





# 3, 2, 1, 0... despegue!



# LEOP



Los **LEOP** (Launch & Early Orbit Phase) se controlan desde los **LOCC** (LEOP Operations Control Centre), que son diferentes de los centros de lanzamiento (Kourou, French Guyana).

Los satélites se sitúan inicialmente en una órbita inferior ( $\sim 29300 \text{ km}^*$ ).

Tras las fases init (SAM), post-init (EAM) y maniobras (drift start and stop) se sitúan en la órbita destino ( $\sim 29600 \text{ km}^*$ ).

Al retirarlos se sitúan en una órbita cementerio ( $\sim 29700 \text{ Km}^*$ ).

[\*] Orbit radius.

orbit radius ( $\sim 29600 \text{ km}$ ) – earth radius ( $\sim 6300 \text{ km}$ ) = distance to earth ( $\sim 23300 \text{ km}$ )



- Soyuz (2 S/Cs)
- Ariane 5 (4 S/Cs)
- Ariane 6 (2 S/Cs)



SOYUZ

ARIANE 5 ES/ATV  
Lancement ATV Jules Verne

Ariane 6A

| Launch           | Launcher            |
|------------------|---------------------|
| L1 (21/10/2011)  | Soyuz-STB Fregat-MT |
| L2 (12/10/2012)  | Soyuz-STB Fregat-MT |
| L3 (22/08/2014)  | Soyuz-STB Fregat-MT |
| L4 (27/03/2015)  | Soyuz-STB Fregat-MT |
| L5 (11/09/2015)  | Soyuz-STB Fregat-MT |
| L6 (17/12/2015)  | Soyuz-STB Fregat-MT |
| L7 (24/05/2015)  | Soyuz-STB Fregat-MT |
| L8 (2016/11/17)  | Ariane 5 ES         |
| L9 (2017/12/12)  | Ariane 5 ES         |
| L10 (2018/07/25) | Ariane 5 ES         |
| 2020 (tbc)       | Ariane 6 A62        |
| 2021 (tbc)       | Ariane 6 A62        |



# NO OS OLVIDÉIS DE NOSOTROS!



# Preparación de Galileo para el despegue



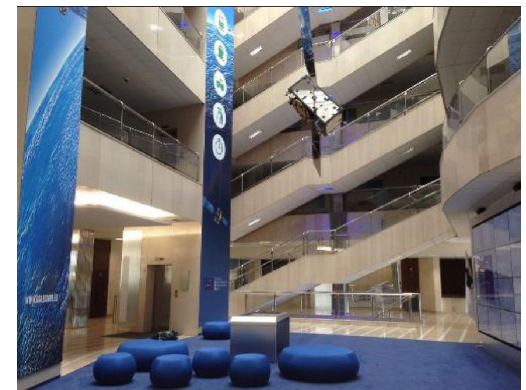
[http://www.esa.int/esatv/Videos/2016/12/Galileo\\_satellites\\_15\\_18\\_prepared\\_for\\_liftoff](http://www.esa.int/esatv/Videos/2016/12/Galileo_satellites_15_18_prepared_for_liftoff)



# ¡TRABAJA CON NOSOTROS!



GSA in Prague: September 2012



<https://www.gsa.europa.eu/gsa/jobs-opportunities>

# Linking space to user needs



Get in touch:



[www.GSA.europa.eu](http://www.GSA.europa.eu)



[EGNOS-portal.eu](http://EGNOS-portal.eu)



GALILEO

[GSC-europa.eu](http://GSC-europa.eu)



[UseGalileo.eu](http://UseGalileo.eu)



The European GNSS Agency is hiring!

**Apply today** and help shape the future of satellite navigation!

