



GNSS



Global Navigation Satellite System



Global Positioning System



Global Navigation Satellite System

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GNSS)



1: Introducción.

2: Sistemas existentes

3: Global Navigation Satellite System

GPS, GALILEO, GLONASS, BEIDOU

4: Funcionamiento de los sistemas GNSS

5: Cálculo de la posición

6: Fuentes de error

7: Factores que influyen en la exactitud

1: Introducción



- 1950. Guerra fría. EEUU necesita posicionar de forma precisa sus ejércitos de forma global.
- 1957. URSS lanza el Sputnik. EEUU detecta necesidad de rastrear Satélites.
- 1973. DoD EEUU desarrolla un sistema de satélites para determinar posiciones terrestres. **Navstar (GPS)**. Uso militar.
- 1982. Unión Soviética desarrolla **GLONASS**. Uso militar.
- 1983. Cazas soviéticos derriban un Boeing (Korean Airlines) por error invadió espacio aéreo ruso. Ronald Reagan, revisa las políticas de navegación y seguridad. Uso civil un año después del incidente.

1: Introducción



- 2000. China desarrolla **Compass (Beidou)**.
- 2001. Japón desarrolla Quasi-Zenith Satellite System (**QZSS**).
Sólo Asia-Pacífico.
- 2003. La Unión Europea desarrolla **Galileo**.
- 2006. India lanza Indian Regional Navigation Satellite System (**IRNSS**).
Sólo India y alrededores.
- Actualidad. Todas las constelaciones se están actualizando y modernizando.

GNSS engloba a los distintos sistemas de navegación desarrollados.



CONSTELACIONES GLOBALES



GPS



(Global Positioning System)



GLONASS

**(Global'naya Navigatsionnaya
Sputnikonaya Sistema)**



2: Sistemas Existentes



CONSTELACIONES GLOBALES

GALILEO +
"Celeste"



Beidou o
Compass



2: Sistemas Existentes



CONSTELACIONES REGIONALES



QZSS



(Quasi-Zenith Satellite System)

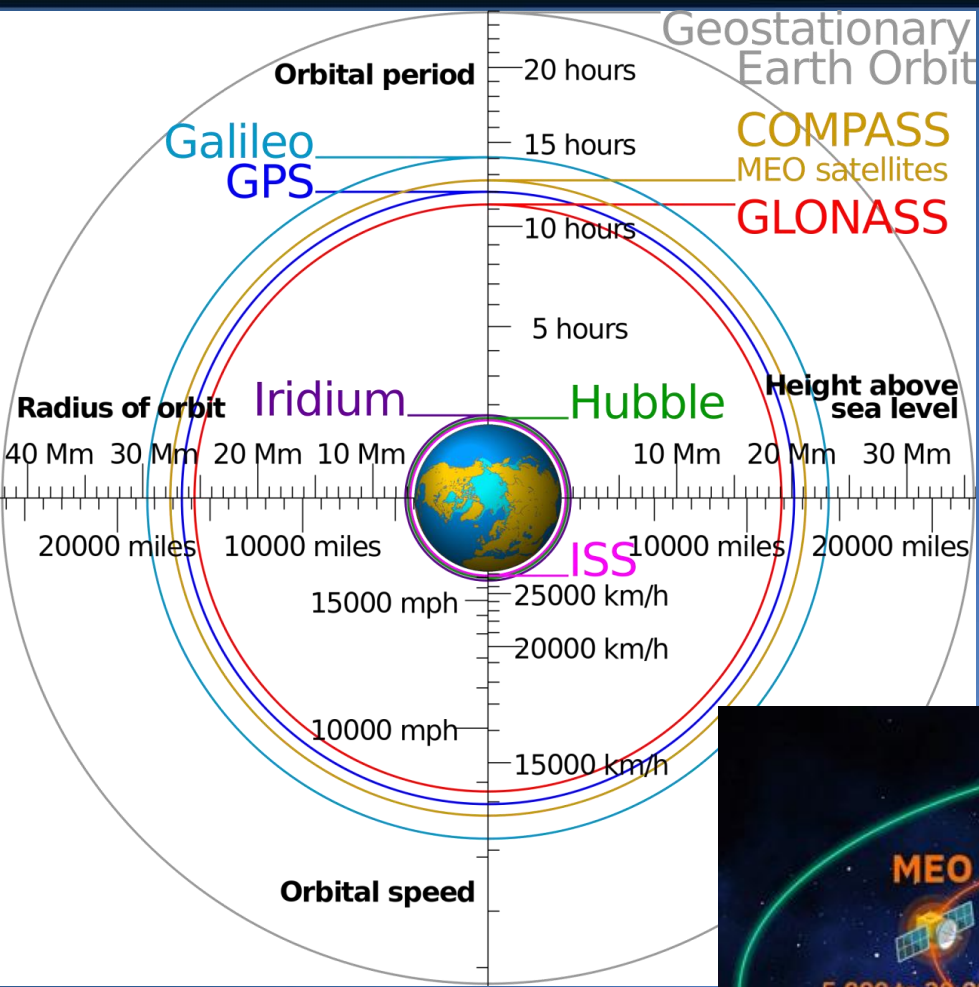


IRSS

(Indian Regional Navigation Satellite System)



2: Sistemas Existentes



2: Sistemas Existentes



GPS

(Estados Unidos)



- 1957:** Rusia lanza el *Sputnik I*. Monitorizando la frecuencia de radio transmitida y midiendo el efecto Doppler predicen la órbita.
- 1960:** Marina estadounidense. **TRANSIT**. Posicionar los submarinos en 2D. 15 ' Antena en superficie. 6 satélites orbitando a 1.074 km. Emiten 2 frecuencias. Precisión de 250 m.
- 1964:** USAF plantea cobertura global 24 horas al día y en 3D. Desarrollo de **621B**.
- 1967:** Marina inicia programa **TIMATION** incorpora relojes más precisos en los satélites.
- 1973:** Nace **GPS/NAVSTAR**: Estructura de la señal del 621B; órbitas del TRANSIT y los relojes de TIMATION.
- 1978:** Lanzamiento primer satélite **GPS**. Constelación completa 8 años. Retrasos e incidente del Challenger.
- 1983:** DoD. Fase operativa inicial. Posicionarse de forma autónoma, pasiva, globalmente todo el Tiempo.

2: Sistemas Existentes



GPS

(Estados Unidos)



Tipo de satélites:

4 IIA (91-97), 12 IIR (98-04), 7 IIR-M (05-09) , 8 IIF (10-14), 2 IIF(15), 1 IIF (16).

1 III (18).

3 IIA + 2 IIB (19)

34 satélites. Altitud: 20.200 km aprox.

Situados en 6 planos orbitales a 55° desde el Ecuador.

Periodo: 12 horas (a 3,9 km/s)

Peso: 400 aprox.

Equipados con relojes atómicos:

Rubidio y Cesio (exactitud de 3sg en 1 millón de años)

Máser P. de Hidrógeno (exactitud de 1sg en 3 millones de años)

Estados Unidos lanzó más de 60 satélites GPS en el periodo 1990 – 2025


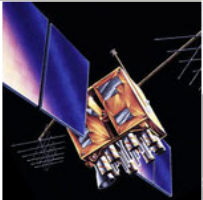

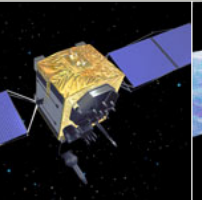



Current and Future Satellite Generations

The GPS constellation is a mix of old and new satellites. The following table summarizes the features of the current and future generations of GPS satellites, including Block IIA (2nd generation, "Advanced"), Block IIR ("Replenishment"), Block IIR-M ("Modernized"), Block IIF ("Follow-on"), GPS III, and GPS IIIIF ("Follow-on").

[Learn about GPS modernization →](#)

[View full-size images →](#)

LEGACY SATELLITES		MODERNIZED SATELLITES		
				
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR-M	BLOCK IIF	GPS III/IIIIF
0 operational	7 operational	7 operational	12 operational	4 operational
<ul style="list-style-type: none"> Coarse Acquisition (C/A) code on L1 frequency for civil users Precise P(Y) code on L1 & L2 frequencies for military users 7.5-year design lifespan Launched in 1990-1997 Last one decommissioned in 2019 	<ul style="list-style-type: none"> C/A code on L1 P(Y) code on L1 & L2 On-board clock monitoring 7.5-year design lifespan Launched in 1997-2004 	<ul style="list-style-type: none"> All legacy signals 2nd civil signal on L2 (L2C) LEARN MORE → New military M code signals for enhanced jam resistance Flexible power levels for military signals 7.5-year design lifespan Launched in 2005-2009 	<ul style="list-style-type: none"> All Block IIR-M signals 3rd civil signal on L5 frequency (L5) LEARN MORE → Advanced atomic clocks Improved accuracy, signal strength, and quality 12-year design lifespan Launched in 2010-2016 	<ul style="list-style-type: none"> All Block IIF signals 4th civil signal on L1 (L1C) LEARN MORE → Enhanced signal reliability, accuracy, and integrity No Selective Availability LEARN MORE → 15-year design lifespan IIIIF: laser reflectors; search & rescue payload First launch in 2018

As of February 2, 2022, there were a total of **30 operational satellites** in the GPS constellation, not including the decommissioned, on-orbit spares.

2: Sistemas Existentes



GLONASS

(Rusia)



1982-85: Inicio; **86-93:** Operativo 12 sat; **93-95:** Funcional

2002: 8 satélites operativos (situación económica)

2004: 11 satélites operativos

2007: 19 satélites operativos. Se permite el uso comercial.

2010: 24 satélites operativos. Actualización a Glonass-K hasta 2012.

2010: Dic – Fallo del cohete portador y pérdida de 3 satélites M. Puesta en órbita de 6M .

2011: Feb (1-K); Oct (1-M); Nov (4-M)

2013: Abr (1-M)

2014: Mar (3-M)

.....

24 satélites + 3 de reserva. Altitud: 19.100 km

Situados en 3 planos orbitales de 64.8° desde el Ecuador.

Periodo: 11 horas 15 min.

2: Sistemas Existentes

<https://www.glonass-iac.ru/>



Slot	Plano	Litera	#GC	Fecha de lanzamiento	Fecha de puesta en servicio en el sistema	Fecha de baja de servicio en el sistema	Existencia real (meses)	Idoneidad de los VE según los informes		Nota
								del almanaque	efemérides (UTC)	
1	1	730	01	14.12.09	30.01.10		146.9	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	2	747	-4	26.04.13	04.07.13		106.5	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	3	744	05	04.11.11	08.12.11		124.2	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	4	759	06	11.12.19	03.01.20		26.9	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	5	756	01	17.06.18	29.08.18		44.7	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	6	733	-4	14.12.09	24.01.10		146.9	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	7	745	05	04.11.11	18.12.11		124.2	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	8	743	06	04.11.11	20.09.12		124.2	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
2	9	702	-2	01.12.14	15.02.16		87.3	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	10	723	-7	25.12.07	22.01.08		170.5	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	12	758	-1	27.05.19	22.06.19		33.4	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	13	721	-2	25.12.07	08.02.08		170.5	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	14	752	-7	22.09.17	16.10.17		53.5	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	15	757	00	03.11.18	27.11.18		40.1	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
3	17	751	04	07.02.16	28.02.16		73.0	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	18	754	-3	24.03.14	14.04.14		95.5	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	19	720	03	26.10.07	25.11.07		172.5	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	20	719	02	26.10.07	27.11.07		172.5	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	21	755	04	14.06.14	03.08.14		92.8	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	22	735	-3	02.03.10	28.03.10		144.3	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	23	732	03	02.03.10	28.03.10		144.3	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
	24	760	02	16.03.20	14.04.20		23.7	+	+ 11:28 08.03.22	Se utiliza para el propósito previsto
2	11	753		29.05.16	27.06.16	19.11.20	69.3			Temporalmente separado para mantenimiento técnico
2	16	736	-1	02.09.10	04.10.10	12.12.21	138.2	-	- 11:28 08.03.22	Temporalmente separado para mantenimiento técnico
2	11	705	00	25.10.20			16.4	-	- 11:28 08.03.22	En la fase de pruebas de vuelo

2: Sistemas Existentes



GALILEO

(Unión Europea - ESA)



- 2000:** Inicio: Comisión Europea - ESA
- 2002:** Desarrollo del segmento de tierra
- 2003:** Inicio de Galileo In-Orbit Validation Element
- 2005:** Puesta en órbita del Giove-A
- 2008:** Puesta en órbita del Giove-B
- 2011:** Puesta en órbita de 2 satélites operativos (1er Plano Orbital)
- 2012:** Puesta en órbita de 2 satélites operativos (2º Plano Orbital)
- 2014:** Sat 5 y 6
- 2015:** Sat 7, 8, 9, 10, 11 y 12
- 2016:** 1 Soyuz (x2) + 1 Ariane 5 (x4)
- 2017:** 1 Ariane 5 (x4)
- 2018:** 1 Ariane 5 (x4) (julio)
- 2020:** 26+3 satélites operativos

26 satélites. Altitud: 23.600 km aprox.

Situados en 3 planos orbitales a 56º desde el Ecuador.

Periodo: 14 horas

2: Sistemas Existentes



GALILEO

(Unión Europea - ESA)



Razones para el desarrollo de un sistema propio europeo:

- Los sistemas GPS y GLONASS no satisfacen todos los requisitos de navegación para aviación civil en precisión, fiabilidad e integridad.
- Bajo control militar, que en caso de conflicto bélico puede afectar a su disponibilidad.
- No hay garantía legal ni seguridad sobre el funcionamiento del sistema.

2: Sistemas Existentes

<https://www.gsc-europa.eu/>



Satellite Name	SV ID (PRN)	Cospas-Sarsat ID	Operating Mode [kHz]	FLS Operational Status	RLS Operational Status
GSAT0101 ¹	E11	N/A	-	N/A	USABLE
GSAT0102 ¹	E12	N/A	-	N/A	USABLE
GSAT0103	E19	419	ALC90	F	USABLE
GSAT0104 ²	E20	420	ALC90	F	NOT AVAILABLE
GSAT0201	E18	418	ALC90	F	USABLE
GSAT0202	E14	414	ALC90	F	USABLE
GSAT0203	E26	426	ALC90	F	USABLE
GSAT0204 ³	E22	422	ALC90	F	NOT USABLE
GSAT0205	E24	424	ALC90	OFF	NOT USABLE
GSAT0206	E30	430	ALC90	F	USABLE
GSAT0207	E07	407	ALC90	F	USABLE
GSAT0208	E08	408	ALC90	F	USABLE
GSAT0209	E09	409	ALC90	F	USABLE
GSAT0210	E01	401	ALC90	F	USABLE
GSAT0211	E02	402	ALC90	F	USABLE
GSAT0212	E03	403	ALC90	F	USABLE
GSAT0213	E04	404	ALC90	F	USABLE
GSAT0214	E05	405	ALC90	F	USABLE
GSAT0215	E21	421	ALC90	F	USABLE
GSAT0216	E25	425	ALC90	F	USABLE
GSAT0217	E27	427	ALC90	F	USABLE
GSAT0218	E31	431	ALC90	F	USABLE
GSAT0219	E36	436	ALC90	F	USABLE
GSAT0220	E13	413	ALC90	F	USABLE
GSAT0221	E15	415	ALC90	F	USABLE
GSAT0222	E33	433	ALC90	F	USABLE
GSAT0223	E34	434	OFF	OFF	NOT AVAILABLE
GSAT0224	E10	410	OFF	OFF	NOT AVAILABLE

FOC satellites

The first pair of Galileo's FOC phase, **GSAT0201** and **GSAT0202**, was launched in August 2014. Despite having been injected into an incorrect orbit, these were moved to an improved orbit at the end of 2014 and the beginning of 2015.

Subsequent pairs of FOC satellites were launched as follows:

- › **GSAT0203** and **GSAT0204**, in March 2015;
- › **GSAT0205** and **GSAT0206**, in September 2015;
- › **GSAT0208** and **GSAT0209**, in December 2015;
- › **GSAT0210** and **GSAT0211**, in May 2016;
- › **GSAT0207**, **GSAT0212**, **GSAT0213** and **GSAT0214**, in November 2016;
- › **GSAT0215**, **GSAT0216**, **GSAT0217** and **GSAT0218**, in December 2017;
- › **GSAT0219**, **GSAT0220**, **GSAT0221** and **GSAT0222**, in July 2018;
- › **GSAT0223** and **GSAT0224**, in December 2021.

The Galileo FOC satellites provide the same capabilities as the previous IOV satellites, but with improved performance, such as higher transmit power.

The Galileo FOC satellite

Mass	about 733 kg
Size with solar wings stowed	2.91 x 1.7 x 1.4 m
Size with solar wings deployed	2.5 x 1.2 x 1.1 m
Design life	more than 12 years
Available power	1900 W

2: Sistemas Existentes



COMPASS

Beidou-3

(China)



2000: Inicio BeiDou-1

2007: Final de BeiDou-1 (4 satélites geoestacionarios)

2007: Lanzamiento del Compass-M1 para validar las frecuencias de BeiDou-2

2009: Lanzamiento del Compass-G2 (no operativo)

2010: Lanzamiento del Compass-G1;G3;G4 y IGSO1;IGSO2

2011: Lanzamiento IGSO3; IGSO4; IGSO5.

2012: Lanzamiento G5;G6 y M3;M4;M5;M6

2015: Lanzamiento 4 satélites

2016: Lanzamiento satélites 18º y 19º

2017: Lanzamiento 2 satélites

2018: Lanzamiento 6 satélites

2019: Lanzamiento 1 satélite

2020: 34 satélites operativos Global

19 satélites + 5 geosincronos. Altitud: 21.500 km
Situados en 6 planos orbitales a 55º desde el Ecuador.
Periodo: 12 horas

2: Sistemas Existentes

<http://en.beidou.gov.cn/>



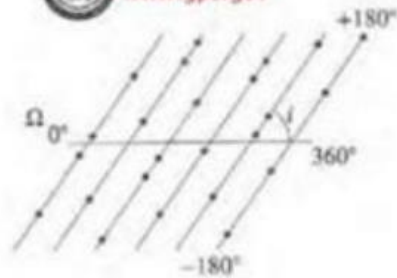
Type of service		Signal frequency	Satellite
Basic navigation services		B1I, B3I, B1C, B2a	3IGSO+24MEO
		B1I, B3I	3GEO
SBAS		BDSBAS-B1C, BDSBAS-B2a	3GEO
Short-message communication services	Regional	L (uplink) S (downlink)	3GEO
	Global	L (uplink)	14MEO
		B2b (downlink)	3IGSO+24MEO
International search and rescue services		UHF (uplink)	6MEO
		B2b (downlink)	3IGSO+24MEO
Precise Point Positioning service		B2b	3GEO

Frecuencias y satélites del sistema Beidou (Xinhua).

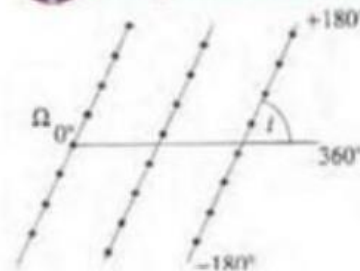
2: Sistemas Existentes



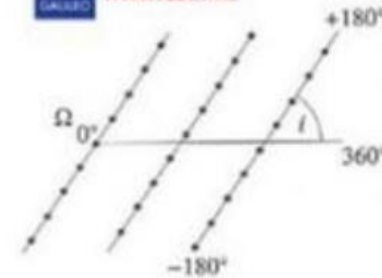
NAVSTAR-GPS



GLONASS



GALILEO

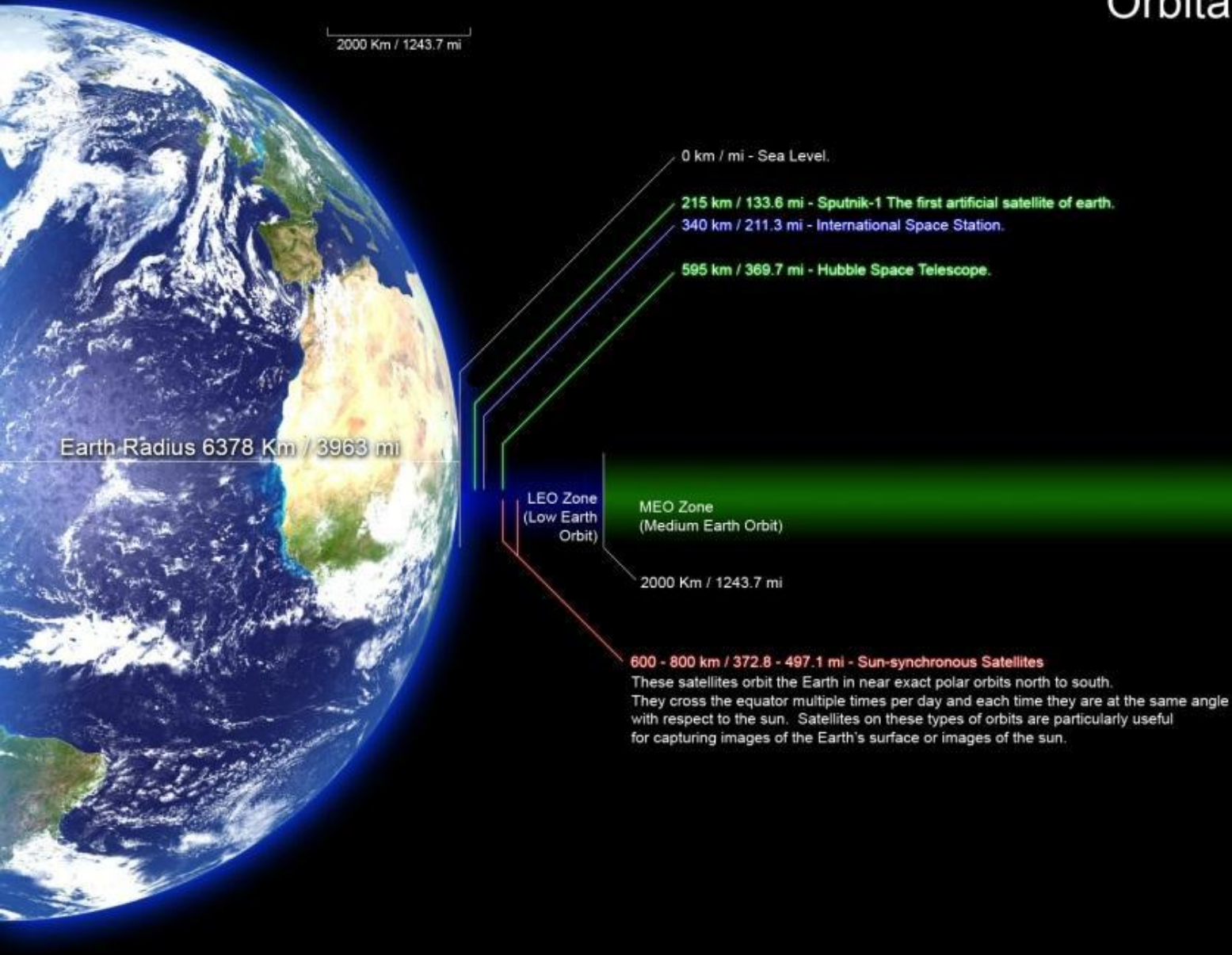


# de satélites	24 (+3)*	24 (+3)	27 (+3)
Planos orbitales	6	3	3
Inclinacion	55°	64,8°	56°
Altura	20 200 km	19 140 km	23 222 km
Separacion planos	60°	120°	120°
Sistema de tiempo	GPS, UTC (USNO)	GLONASS, UTC (SU)	GALILEO (GST)



2: Sistemas Existentes

Orbital



2: Sistemas Existentes



2000 Km / 1243.7 mi

Earth Radius 6378 Km / 3963 mi

- 0 km / mi - Sea Level.
- 215 km / 133.6 mi - Sputnik-1 The first artificial satellite of earth.
- 340 km / 211.3 mi - International Space Station.
- 595 km / 369.7 mi - Hubble Space Telescope.

LEO Zone
(Low Earth Orbit)

MEO Zone
(Medium Earth Orbit)

2000 Km / 1243.7 mi

600 - 800 km / 372.8 - 497.1 mi - Sun-synchronous Satellites
These satellites orbit the Earth in near exact polar orbits north to south. They cross the equator multiple times per day and each time they are at the same angle with respect to the sun. Satellites on these types of orbits are particularly useful for capturing images of the Earth's surface or images of the sun.

GPS (Global Positioning System) Satellites
These Satellites are on a Semi-synchronous Orbit (SSO)

2: Sistemas Existentes



35,786 km
 Geosynchronous (GEO) and Geostationary (GSO) Satellites
 Geosynchronous satellites orbit the Earth at the same rate that the Earth rotates. Thus they remain stationary over a single line of longitude. A geostationary satellite will remain in a fixed location as observed from the earth's surface, allowing a satellite dish to be aligned to them. This particular altitude marks the border between the MEO and HEO Zones.



- 0 km / mi - Sea Level.
- 215 km / 133.6 mi - Sputnik-1 The first artificial satellite of earth.
- 340 km / 211.3 mi - International Space Station.
- 595 km / 369.7 mi - Hubble Space Telescope.
- 2000 Km / 1243.7 mi
- 600 - 800 km / 372.6 - 497.1 mi - Sun-synchronous Satellites
 These satellites orbit the Earth in near exact polar orbits north to south. They cross the equator multiple times per day and each time they are at the same angle with respect to the sun. Satellites on these types of orbits are particularly useful for capturing images of the Earth's surface or images of the sun.

Earth Radius 6378 Km / 3963 mi

GPS (Global Positioning System) Satellites:
 These Satellites are on a Semi-synchronous Orbit (SSO)

35,786 km
 Geosynchronous (GEO) and Geostationary (GSO) Satellites
 Geosynchronous satellites orbit the Earth at the same rate that the Earth rotates. Thus they remain stationary over a single line of longitude. A geostationary satellite will remain in a fixed location as observed from the earth's surface, allowing a satellite dish to be aligned to them. This particular altitude marks the border between the MEO and HEO Zones.



384,000 km
 The Moon

2: Sistemas Existentes



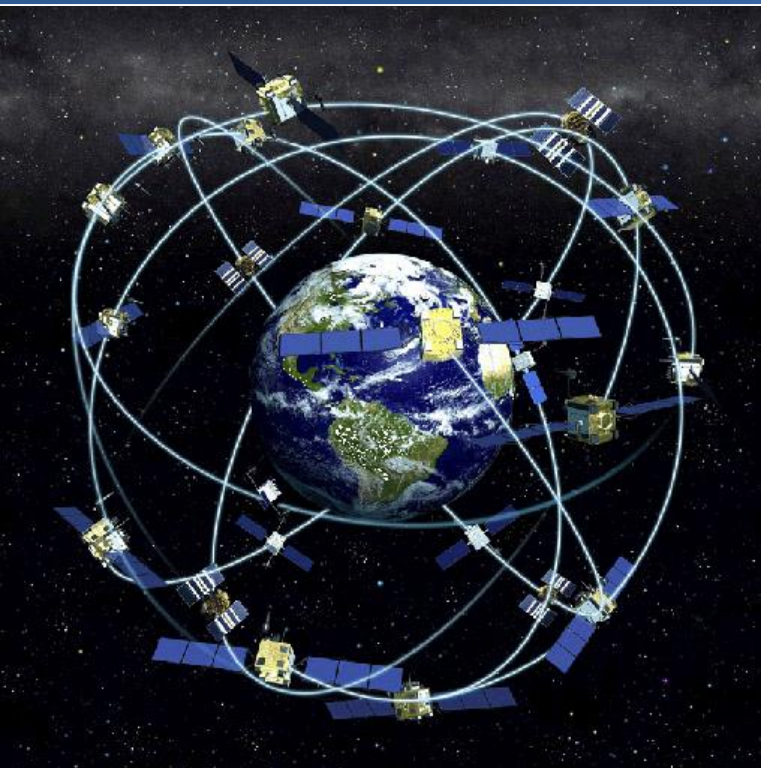
IRIDIUM 26	24903
IRIDIUM 22	24907
IRIDIUM 29	24944
IRIDIUM 33	24946
IRIDIUM 28	24948
IRIDIUM 36	24967
IRIDIUM 39	25042
IRIDIUM 38	25043
IRIDIUM 42	25077
IRIDIUM 44	25078
IRIDIUM 45	25104
IRIDIUM 24	2510
IRIDIUM 1	252
IRIDIUM 106	2527
	2532
	2534
	25467
	41017

KeepTrack

3 : Global Navigation Satellite System



El Sistema de Posicionamiento Global (**GPS**) se compone de 3 segmentos:



1.- Espacial

Constelación de satélites

(vida media 5-10 años)

3 : Global Navigation Satellite System



El Sistema de Posicionamiento Global (**GPS**) se compone de 3 segmentos:



2.- Usuario

Cualquiera que reciba las señales con un receptor.

El receptor consta de una antena, decodificador de la señal y una unidad de gestión.



3 : Global Navigation Satellite System

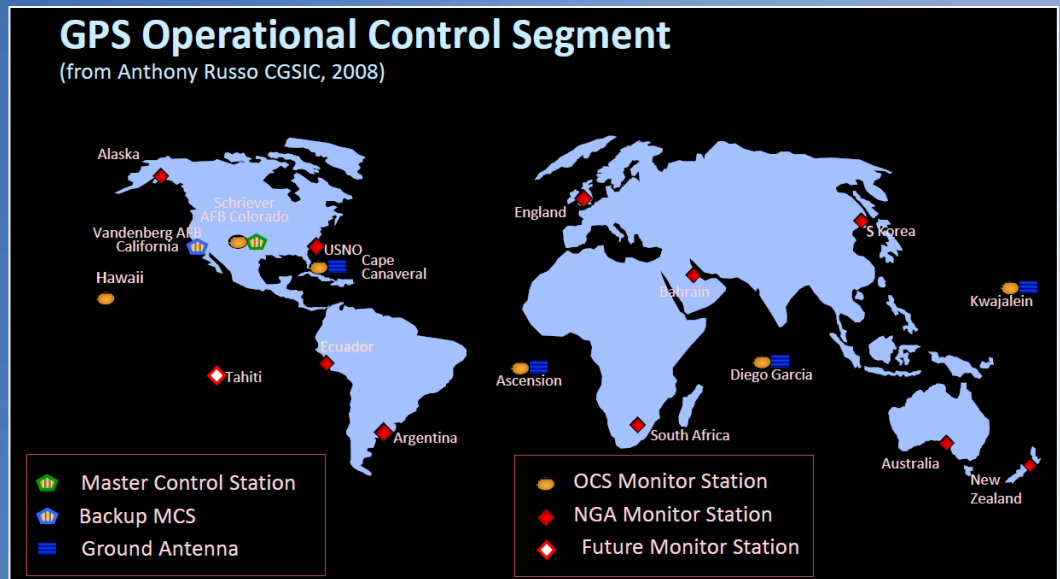


El Sistema de Posicionamiento Global (**GPS**) se compone de 3 segmentos:

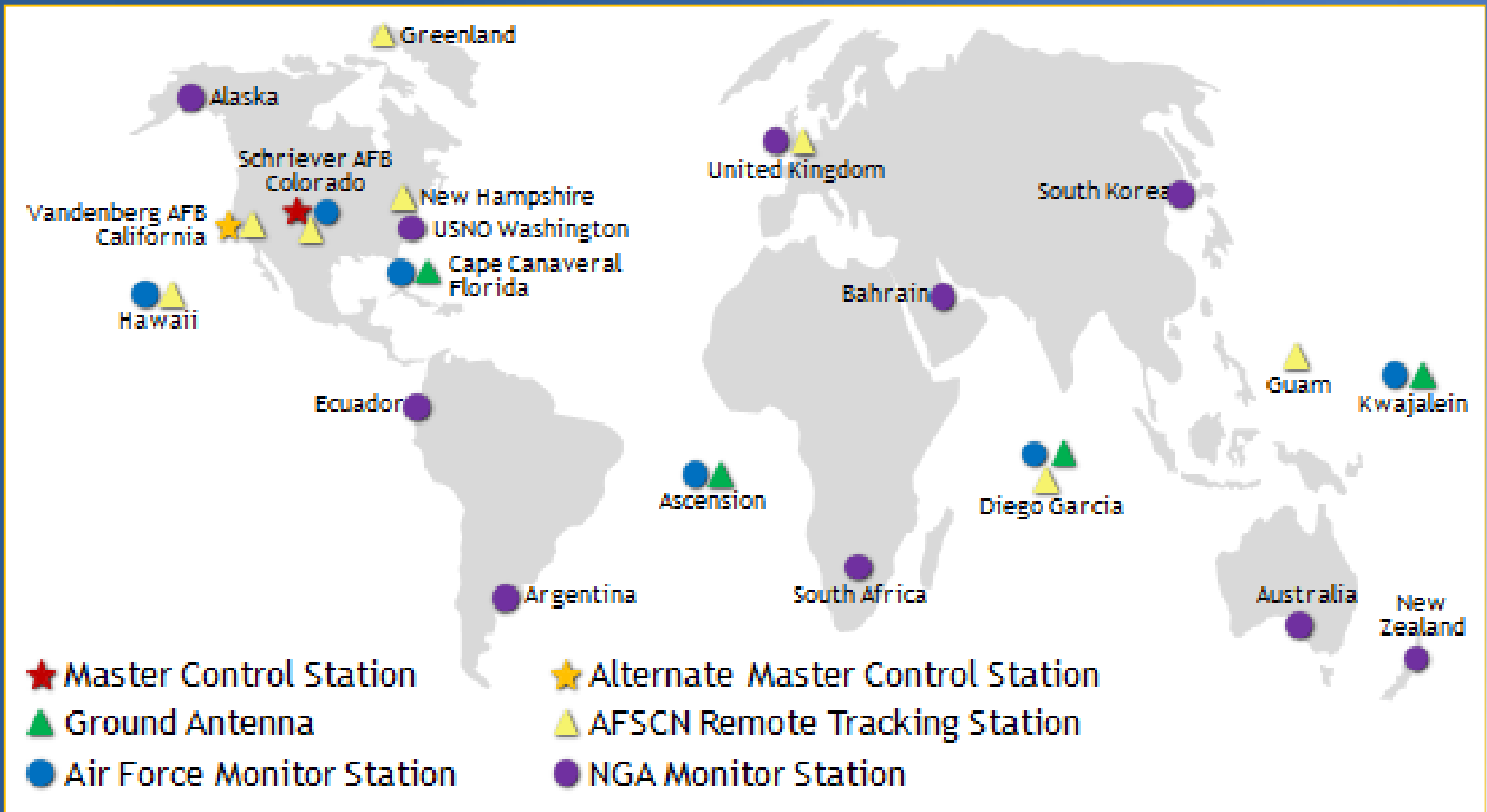


3.- Control

Seguimiento continuo de los satélites



3.1 : GNSS - GPS





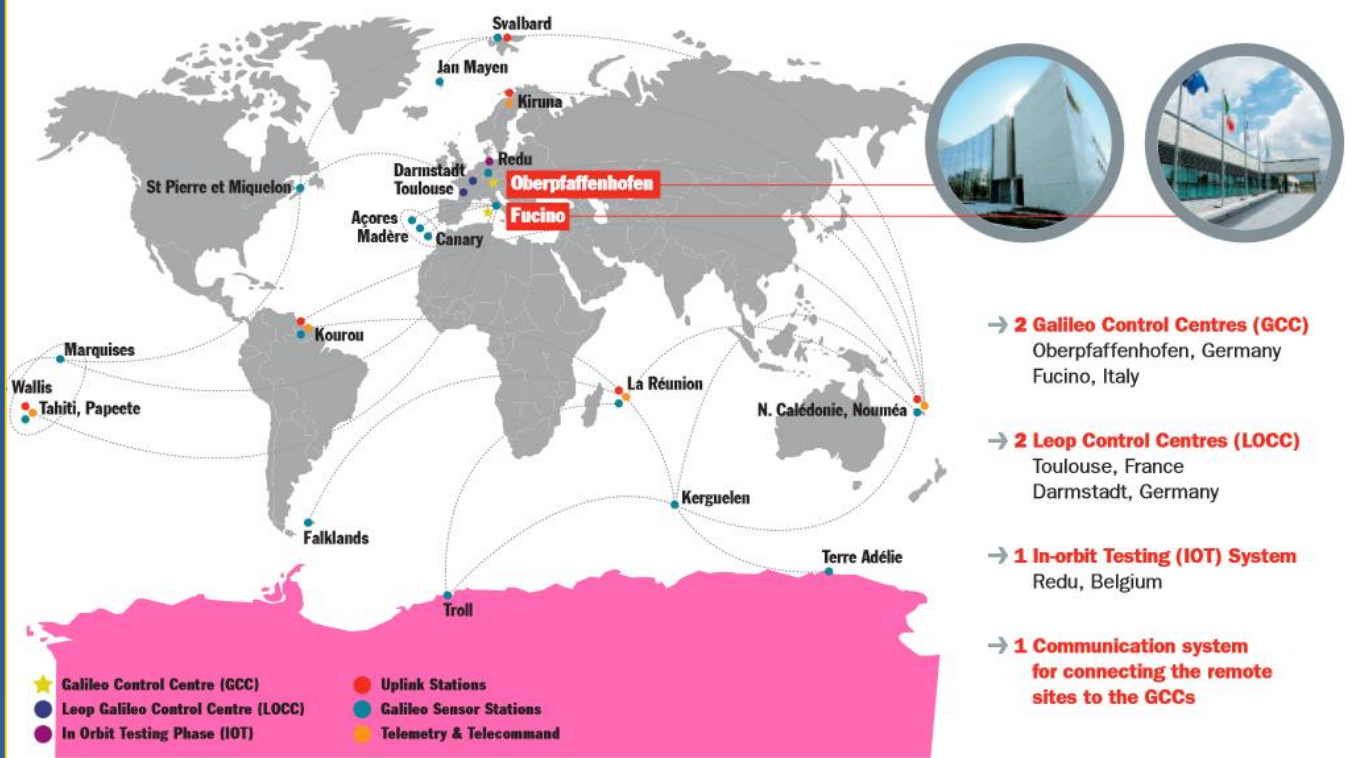
3.2 : GNSS - GALILEO

ARCHITECTURE OF THE GALILEO SYSTEM

1. Space Segment

↓
Constellation of 30 satellites

2. Ground Segment



3. User infrastructure

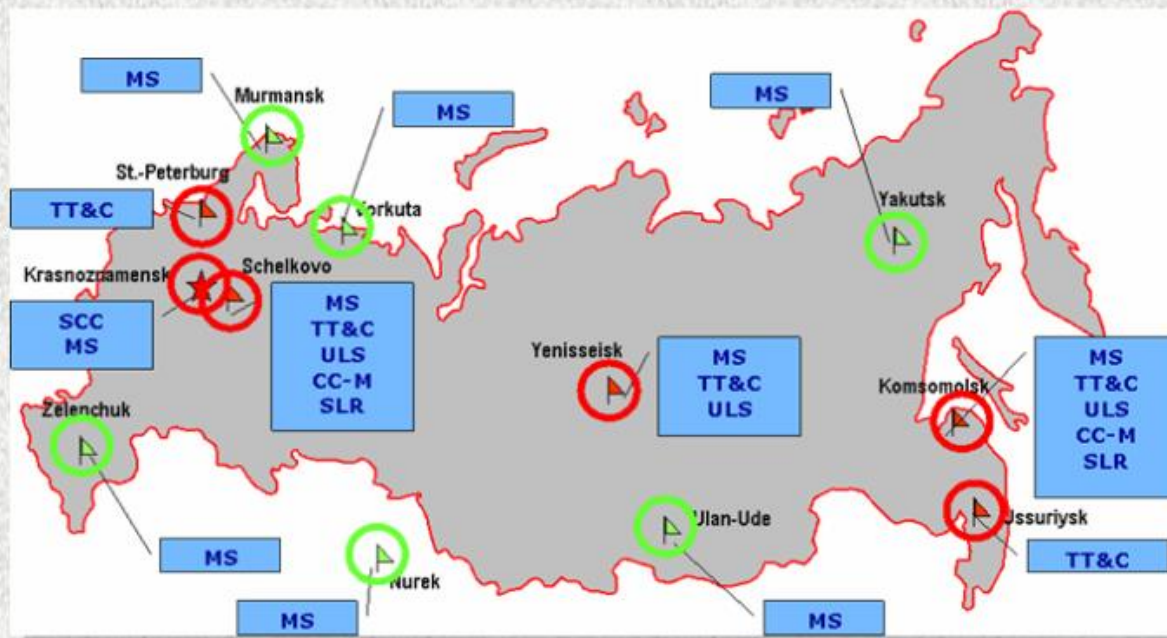




Ground Control Segment Architecture



- **SCC** – system control center
- **TT&C** – telemetry, tracking, commanding station
- **ULS** – uplink station
- **MS** – monitoring station
- **CC** – central clock
- **SLR** – laser tracking station



4: Funcionamiento de los Sistemas GNSS



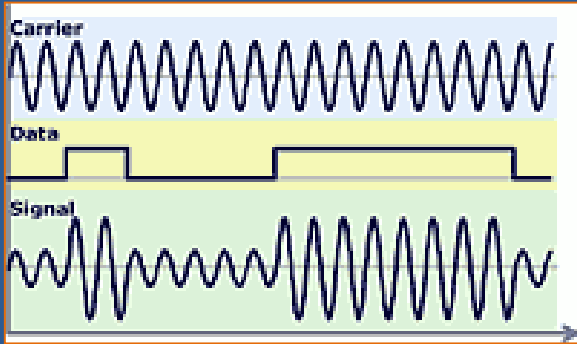
Funcionamiento de los Sistemas GNSS

- Los satélites emiten de forma continua señales de radio (radiofrecuencias) en la banda “L” (1 a 2 Ghz) del espectro electromagnético.
- La zona del espectro electromagnético en la que se emiten esta regulada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ONU).
- A las ondas emitidas se las denomina “**portadoras**” y están **moduladas** por la señal que se quiere transmitir.

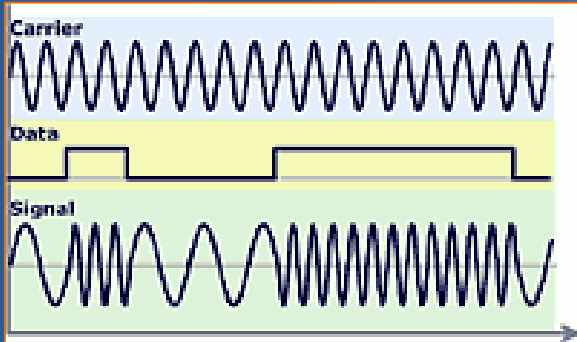
(Modular es el conjunto de técnicas que permiten transportar información sobre la onda variando alguno de sus parámetros.)



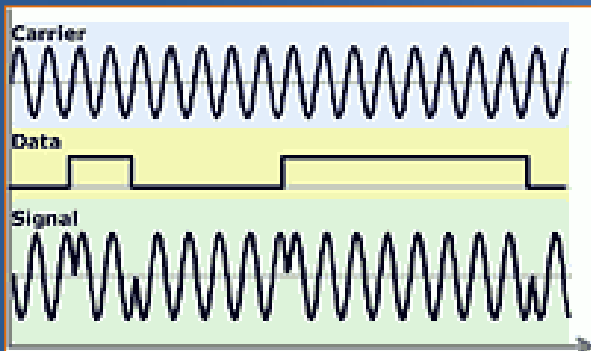
4: Funcionamiento de los Sistemas GNSS



Modulación de Amplitud de onda (AM)



Modulación de Frecuencia de onda (FM)



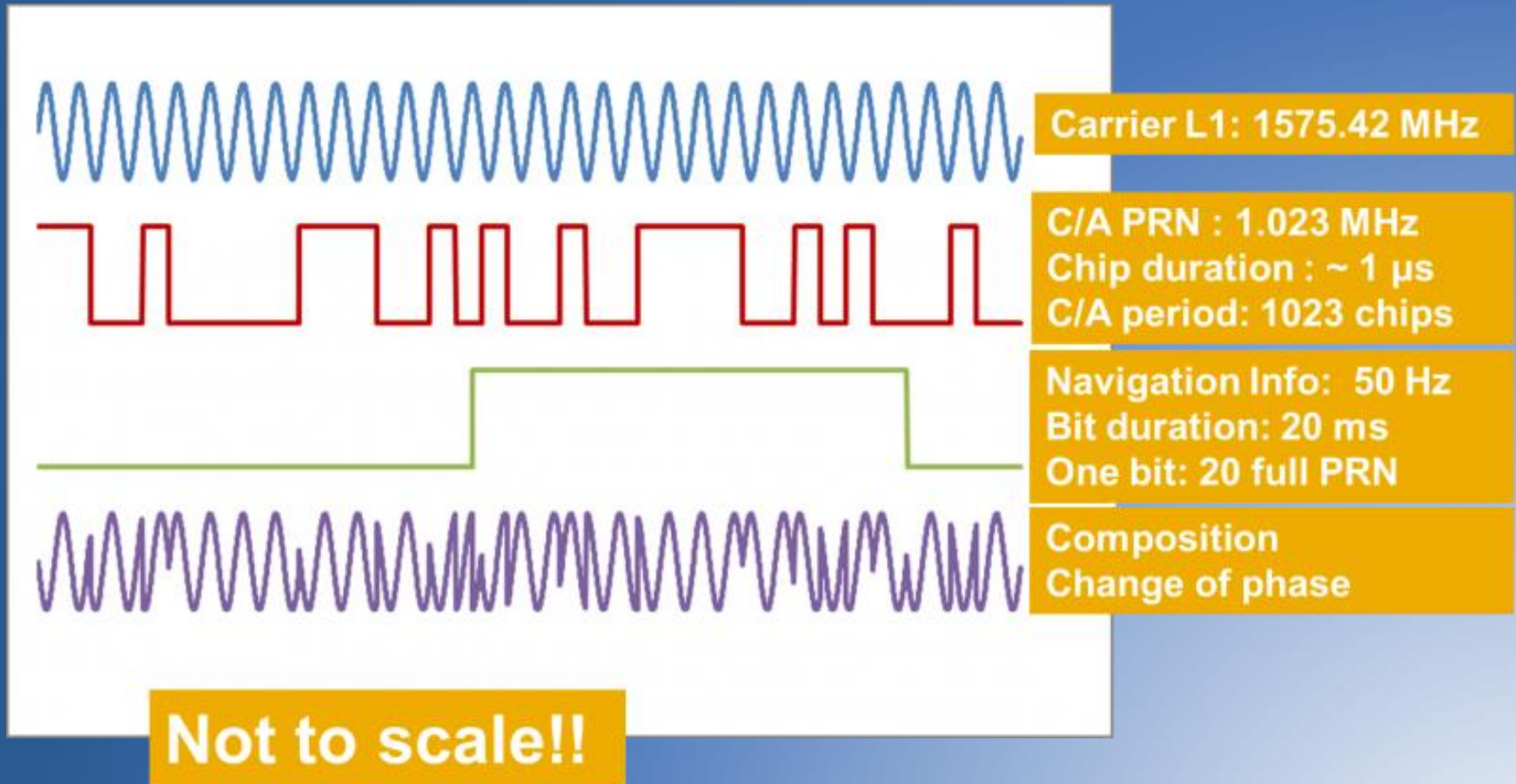
Modulación de Fase de onda.

El seno de oscilación se interrumpe y se inicia con una diferencia de fase de 180° .



4: Funcionamiento de los Sistemas GNSS

Componentes de la señal "L" emitida:



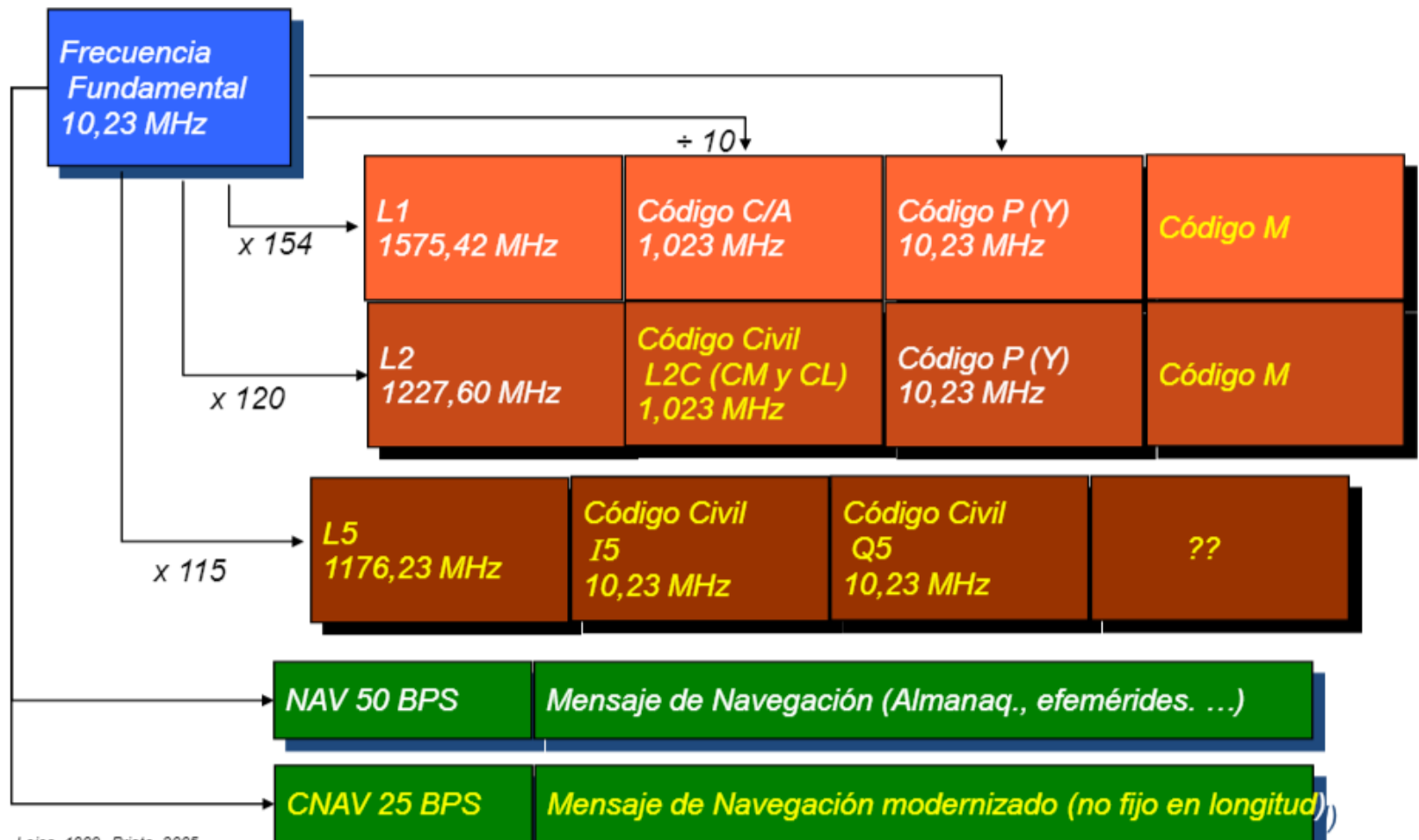
- El desplazamiento de Fase es reconocido por el receptor adecuado y el dato puede ser reconstruido.



4: Funcionamiento de los Sistemas GNSS

Estructura señales

Sistema GPS Evolución de las señales



4: Funcionamiento de los Sistemas GNSS



Estructura señales

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

1 Hz = 1 oscilación / seg

1 MHz = 1.000.000 oscilaciones / seg

$\lambda = 300.000 \text{ (km/s)} / 1 \text{ (Hz/s)} = 300.000 \text{ km}$

L1 = 1575.42 Mhz

L1 = 300.000 km / 1.575,42 MHz

L1 = 30.000.000.000 cm / 1.575.420.000 Hz = 19,04 cm

L1 = 19,04 cm

L2 = 24,44 cm

L5 = 25,50 cm

4: Funcionamiento de los Sistemas GNSS



L1 – (1575.42 Mhz)

Mensaje de navegación (almanaque y efemérides)

Código C/A (coarse-acquisition)

Código encriptado preciso P(Y)

L2 – (1227.60 Mhz)

Código encriptado preciso P(Y)

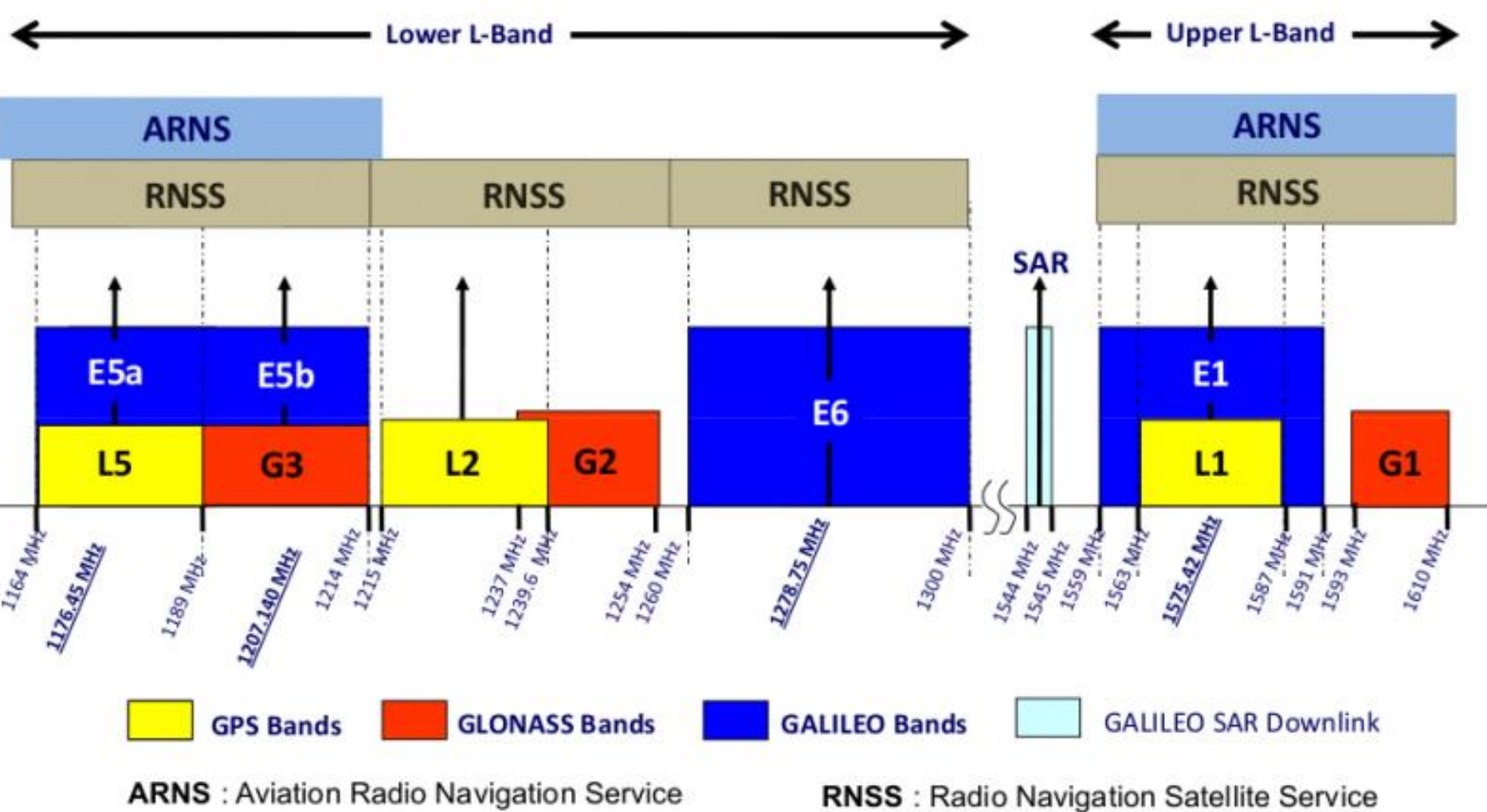
Código L2C (civil) a partir de Block-IIR-M



4: Funcionamiento de los Sistemas GNSS

Asignación de frecuencias y bandas.

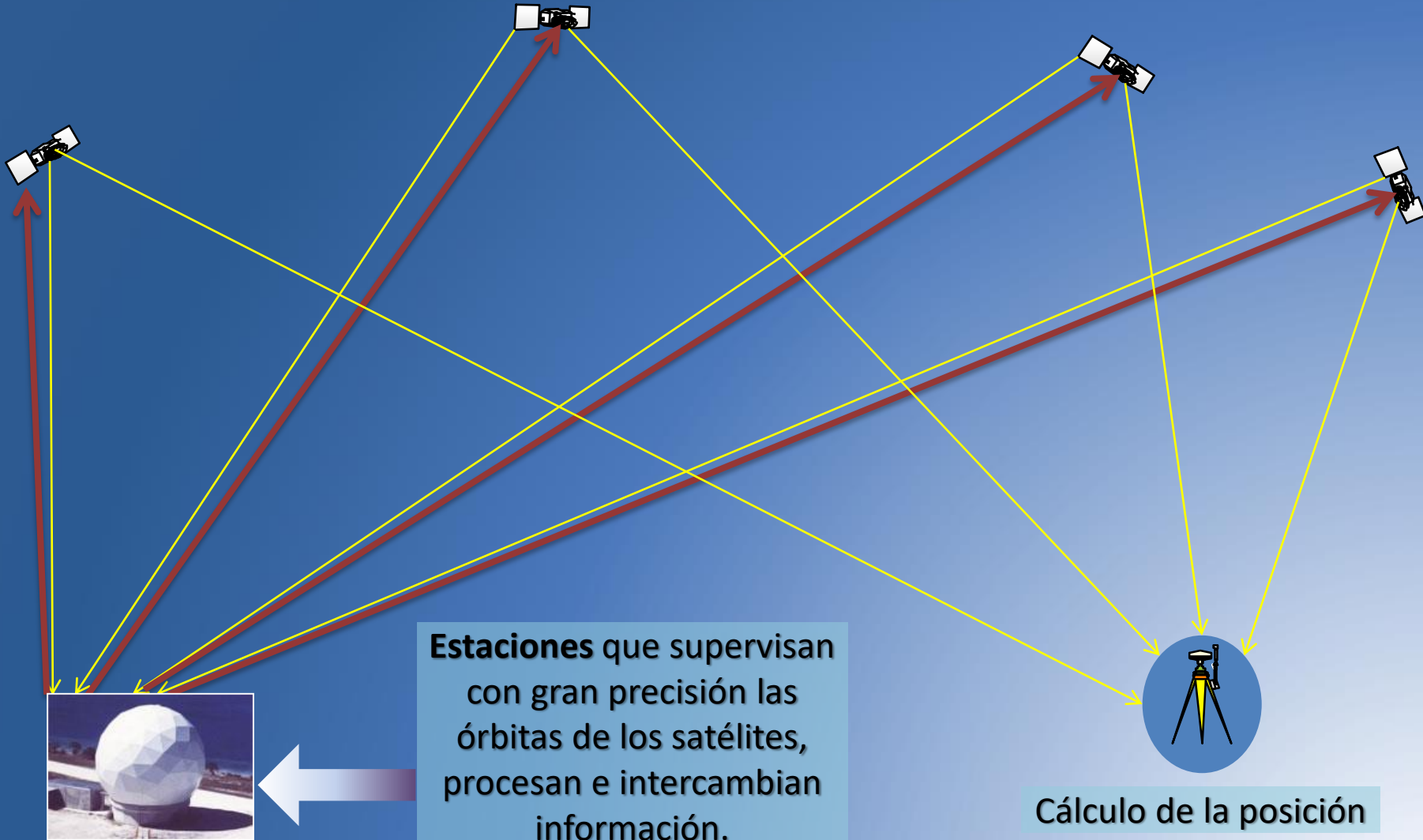
Múltiples servicios y usuarios coexisten en el mismo rango





5: Cálculo de la posición

Las posiciones instantáneas de los satélites son siempre conocidas



5: Cálculo de la posición



Los mensajes de radio enviados por los satélites son captados por los receptores en tierra

Fundamento de la medición:

Tiempo de desplazamiento de la señal de radio entre satélite y receptor.

$$\text{Distancia} = V * T$$

- V:** Velocidad ondas
(V. Luz=299.792 km/s)
- T:** tº transcurrido en el trayecto del mensaje



¿Cuánto tiempo tarda en llegar la señal del satélite?

$$20.200 \text{ (km)} / 299.792 \text{ (km/s)} = \mathbf{0,067 \text{ s}}$$

$$\text{Error de 1 microsegundo } \mu\text{s} (10^{-6} \text{ s}) * 299.792 \text{ km/s} = \mathbf{300 \text{ m}}$$

IMPORTANCIA de la medición del Tiempo

Satélites : RELOJES MUY PRECISOS. ATÓMICOS E HIDRÓGENO
(menos nanosegundos (10^{-9} s))

Receptores: MENOS PRECISO. CUARZO (nanosegundos)

Tipo de Oscilador	Estabilidad	Tiempo para peder 1 Seg
Cristal de Cuarzo	10^{-9}	30 años
Rubidio	10^{-12}	30.000 años
Cesio	10^{-13}	300.000 años
Maser de Hidrógeno	10^{-14}	30.000.000 años



Procesado de los datos

El receptor tiene que:

- Cada satélite GNSS transmite una señal que está **modulada con un código único para cada satélite, código de pseudorange** - C/A code (Coarse acquisition). – Código e información satélite (reloj y parámetros orbitales).
- Cuando el receptor recibe la señal, busca este código y lo compara con las secuencias de códigos almacenadas en su base de datos. Busca una **coincidencia**.
- Determinación del tiempo - El **código C/A** tiene una estructura **repetitiva**, lo que significa que se puede usar para medir el **desfase temporal** entre el código que el satélite ha transmitido y el que el receptor recibe. La clave aquí es que el receptor debe **sincronizar su reloj** con el código C/A que está recibiendo.



¿Cómo se mide el tiempo de viaje de la señal?

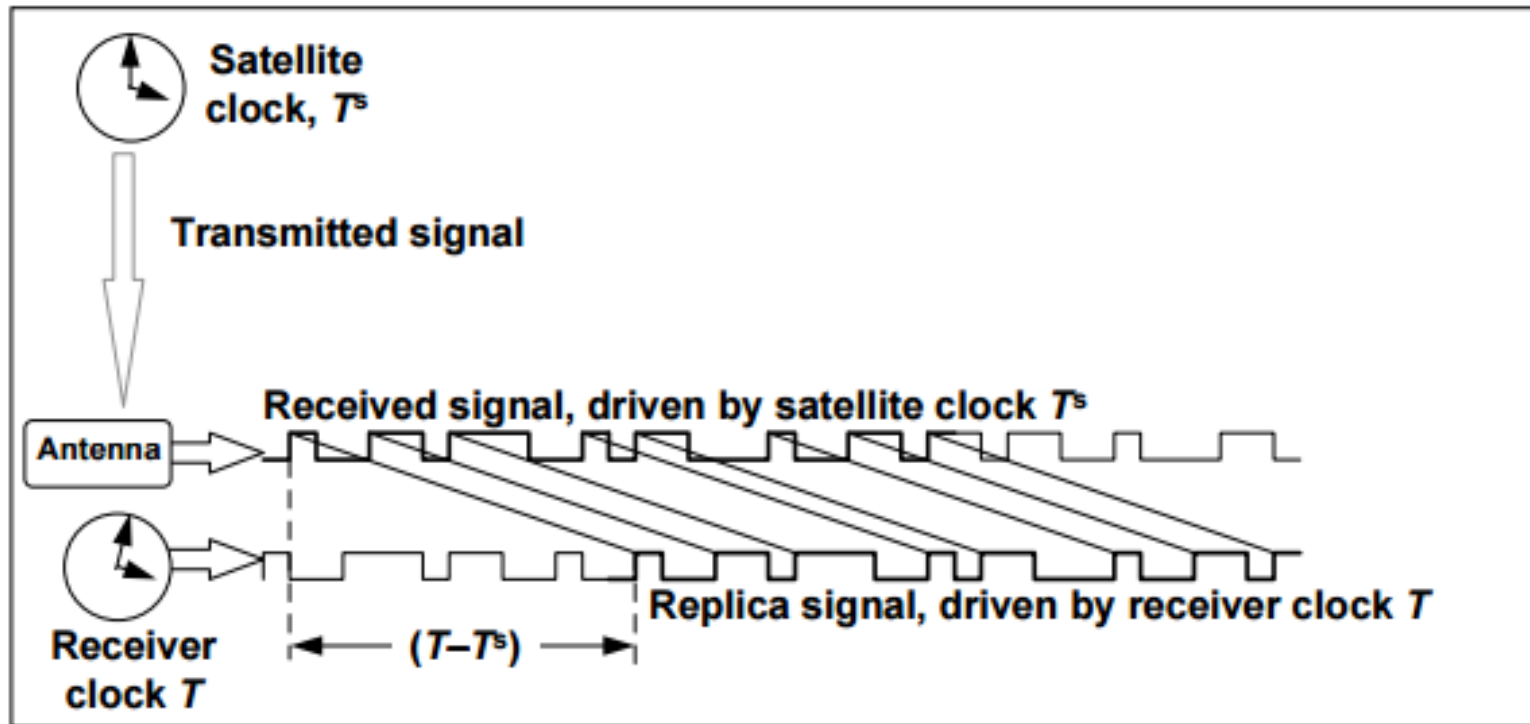
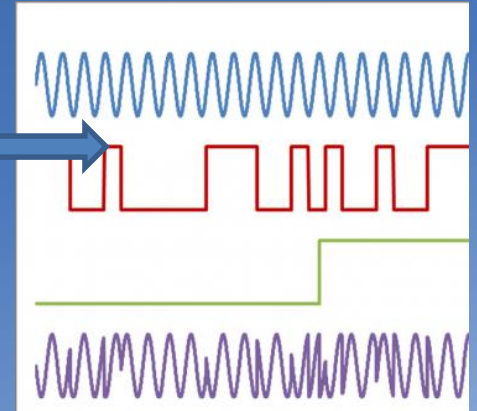


Figure 1: A schematic diagram showing how the GPS pseudorange observation is related to the satellite and receiver clocks.

5: Cálculo de la posición



Código C/A (Coarse Acquisition):
Unidad del código "Chip"



Código C/A (Coarse Acquisition):
Tiempo de repetición 1 mseg (0,001seg)

Código C/A (Coarse Acquisition):
La distancia mínima identificable sería la correspondiente a 1 chip.
 $299,792 \text{ km/seg} * 0,001 \text{ seg} = 300 \text{ m}.$

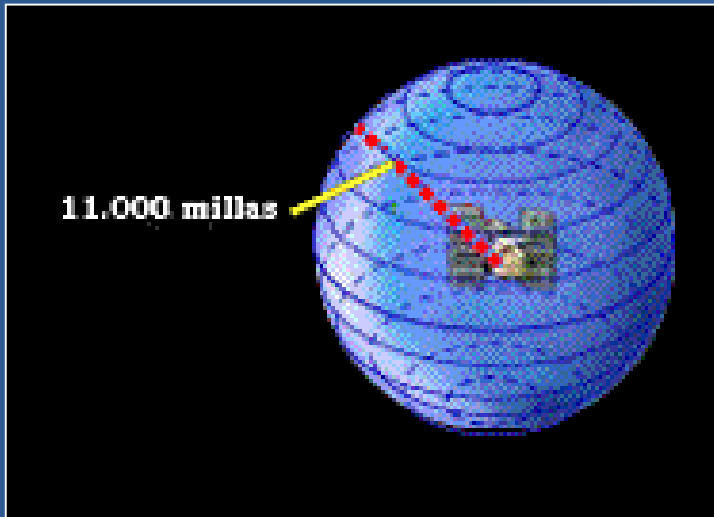
Código C/A (Coarse Acquisition):
El receptor puede ajustar la medida en el Chip hasta 1%.
 $300 \text{ m} * 0,01 = 3 \text{ m}.$



5: Cálculo de la posición

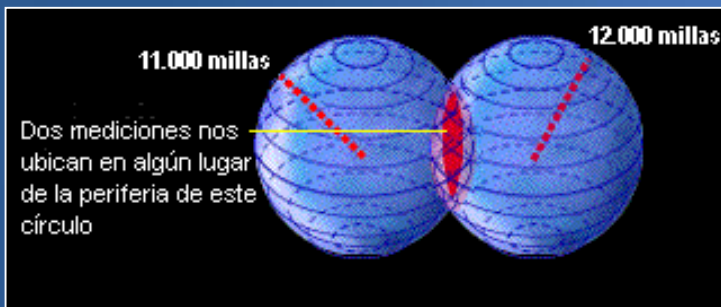
Fijación de la posición

Son necesario, al menos, **cuatro satélites** para fijar la posición correcta.



Un satélite captado:

El receptor sabe que se encuentra en algún lugar de esta esfera.



Dos satélites captados:

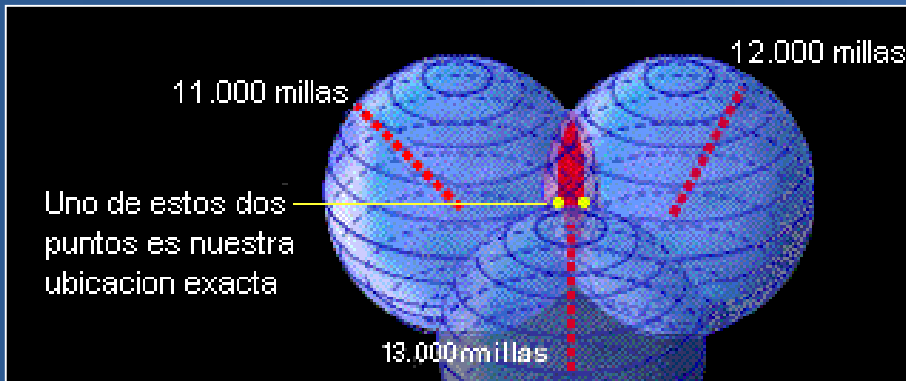
Dos mediciones nos sitúan en algún lugar de esta circunferencia.



5: Cálculo de la posición

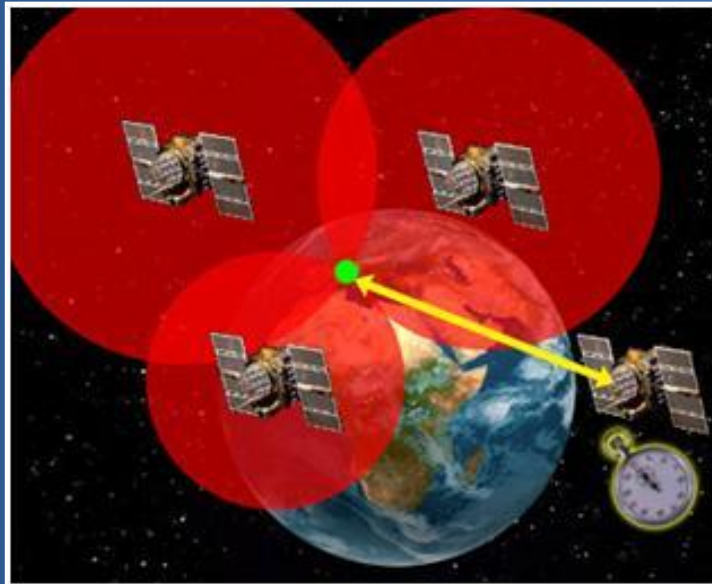
Fijación de la posición

Son necesario, al menos, **cuatro satélites** para fijar la posición correcta.



Tres satélites captados:

Tres mediciones nos sitúan en uno de estos dos puntos, uno de ellos de coordenadas fuera de rango.



Cuatro satélites captados:

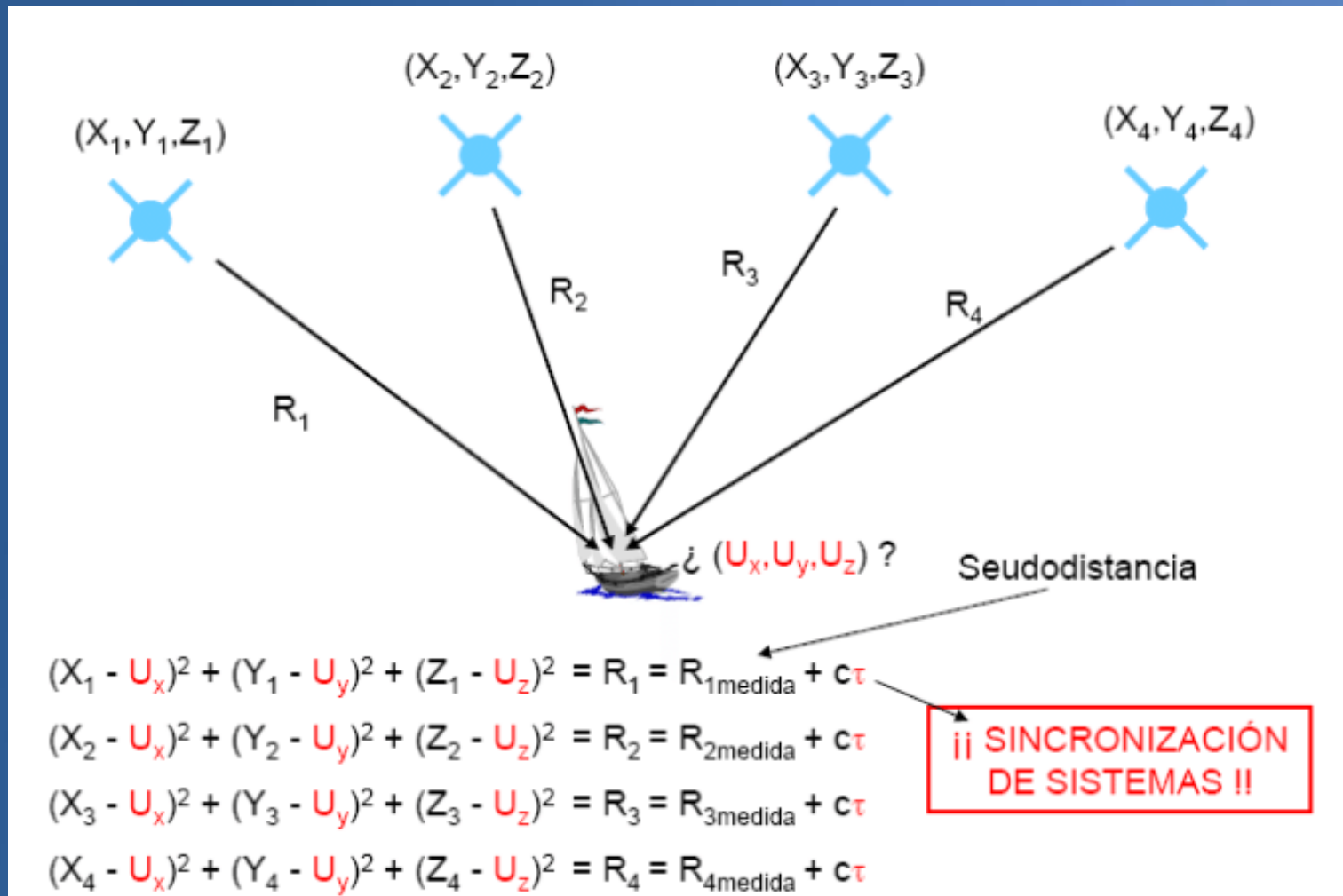
El cuarto satélite resuelve la incógnita del sincronismo. Es necesario para corregir los relojes de los receptores.



5: Cálculo de la posición

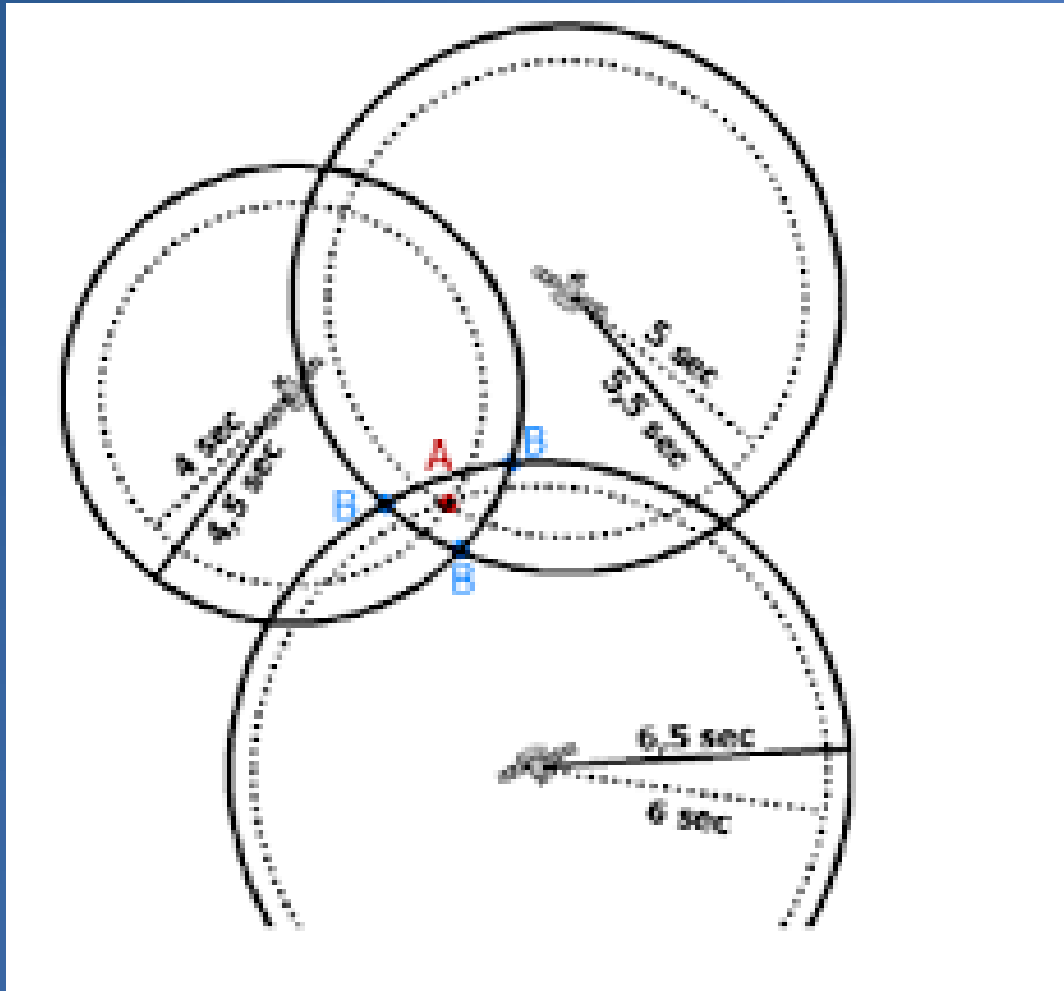
Fijación de la posición

Son necesario, al menos, **cuatro satélites** para fijar la posición correcta.





IMPORTANCIA DE MEDIR EL TIEMPO DE FORMA EXACTA





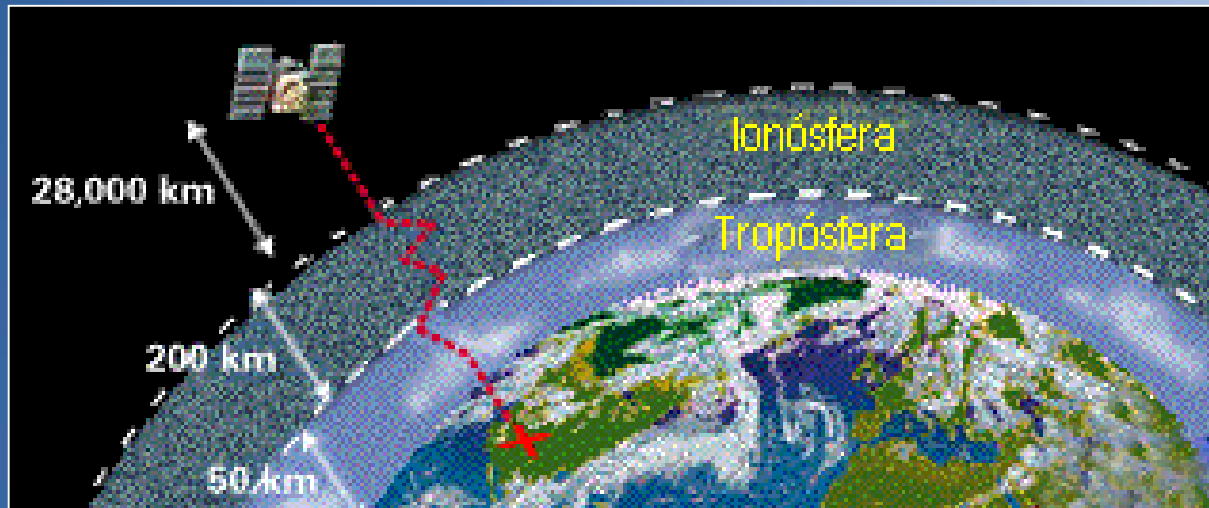
Fuentes de Error

En los Satélites

- Debido al reloj
- Debidos al desplazamiento orbital

En la Atmósfera

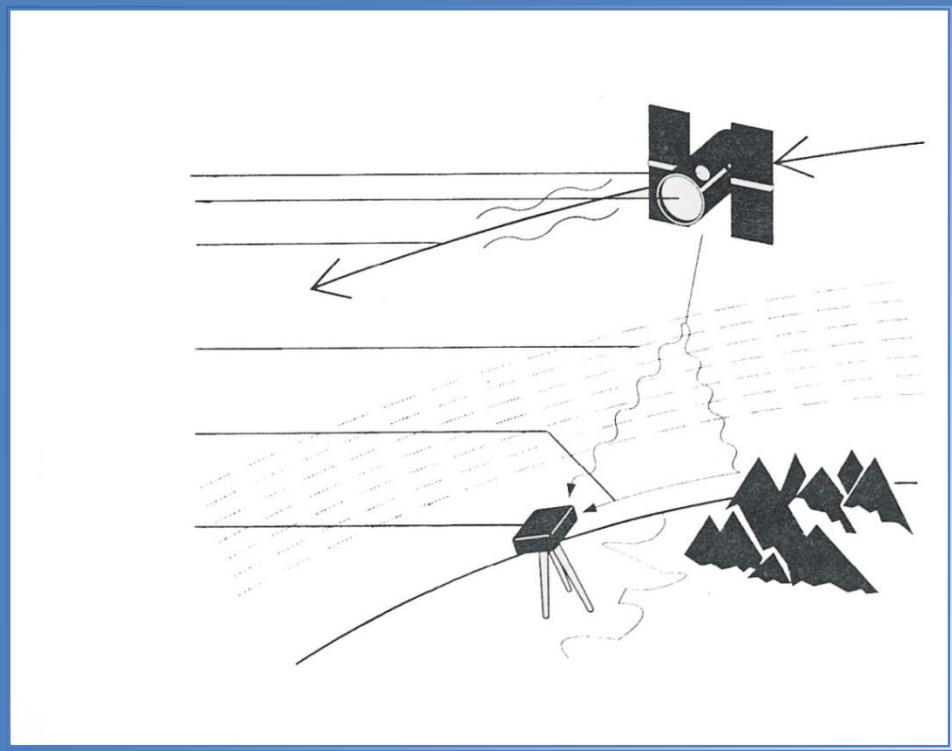
- Demora ionosférica
- Demora troposférica
- Interferencias naturales
- Interferencias provocadas (jamming)





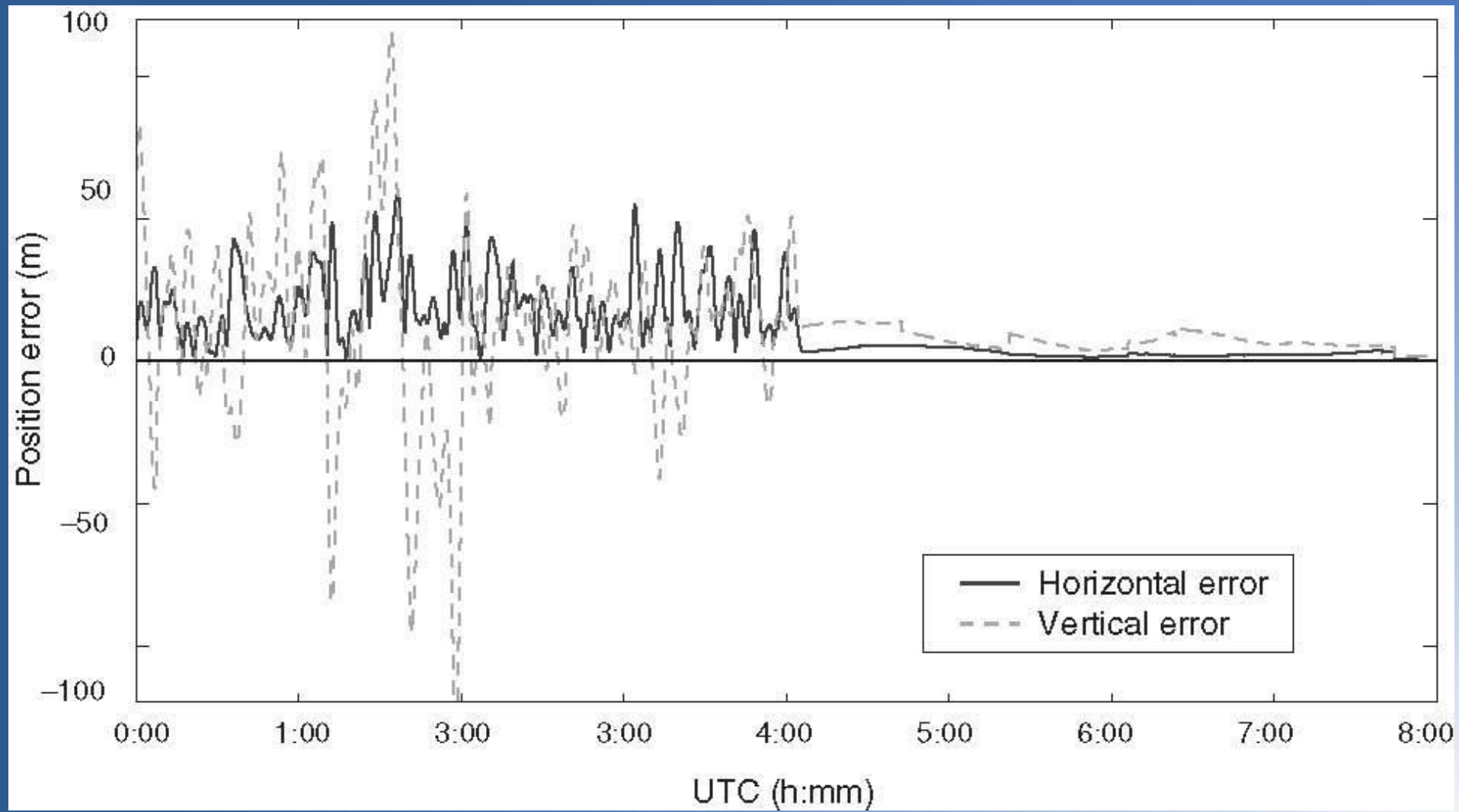
En la recepción

- Trayectoria múltiple (multipath)
- Posición relativa de los satélites
- Calidad del receptor
- Disponibilidad selectiva hasta mayo de 2000

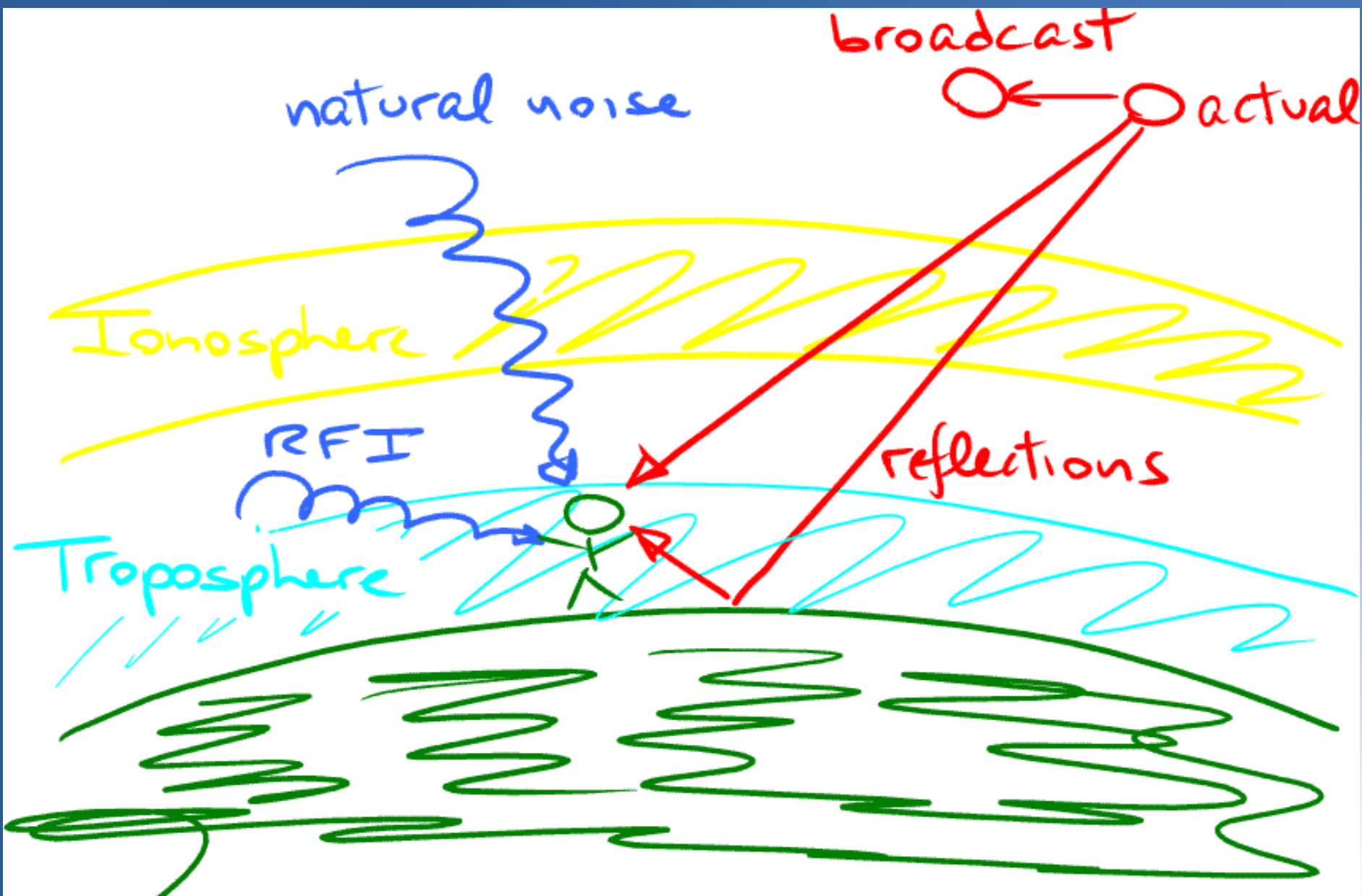




6: Fuentes de Error



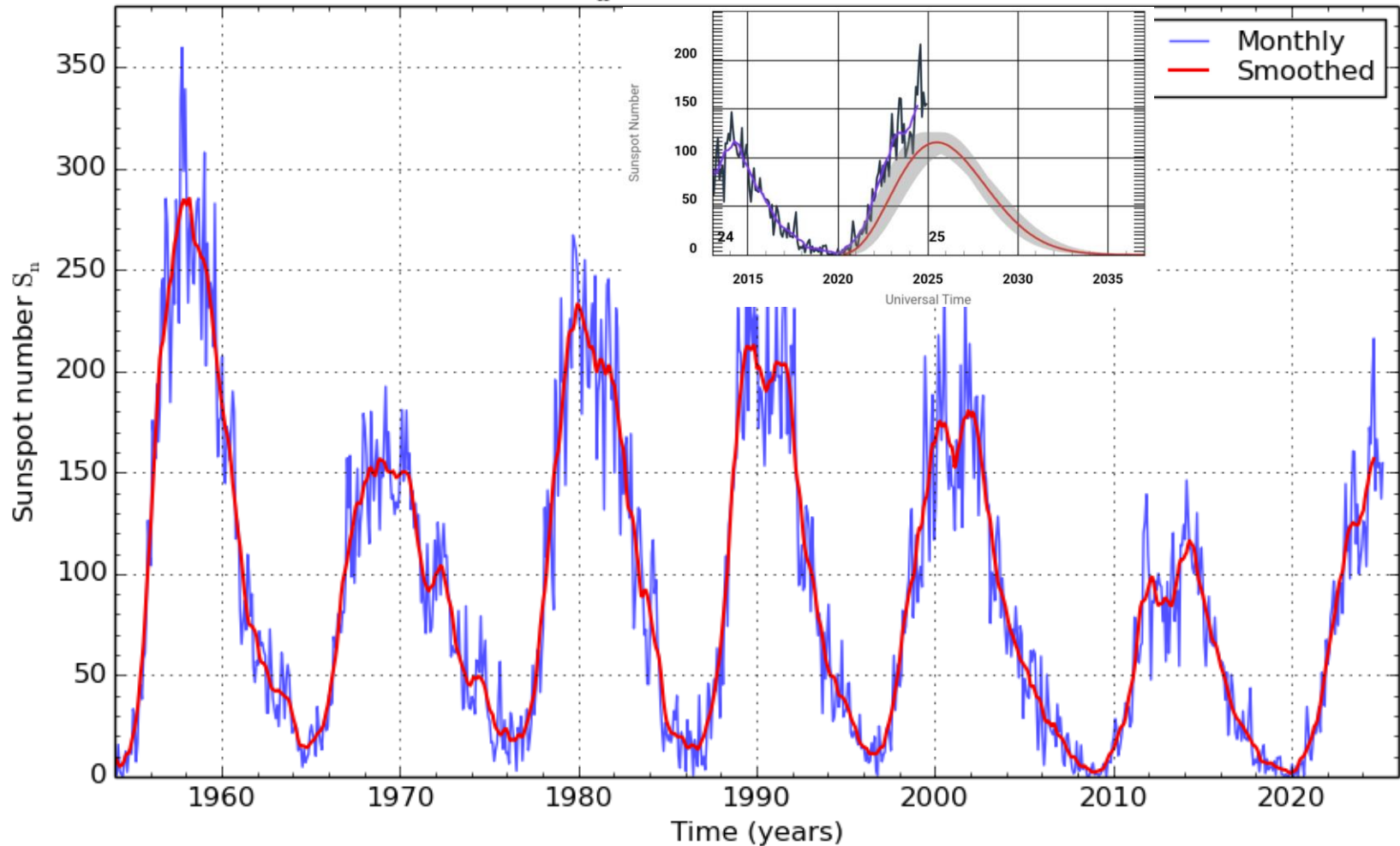
6: Fuentes de Error





6: Fuentes de Error

International sunspot number S_{11} : monthly mean and 13-month smoothed number





6: Fuentes de Error

CAUSA	GPS autónomo (m)	Diferencial (m)
Reloj de satélite	1,5	0
Error orbital	2,5	0
Ionosfera	5	0,4
Troposfera	0,5	0,2
Receptor	0,3	0,3
Multisenda	0,6	0,6
Interferencias	0,3	0,3
*SA	>100	0



Exactitud y Precisión

Exactitud: Cercanía al valor real / Precisión: mismo resultado

La exactitud varía desde menos de **1 cm** a más de **10 m**.

Las mediciones horizontales son de **2 a 5** veces más exactas que las verticales.

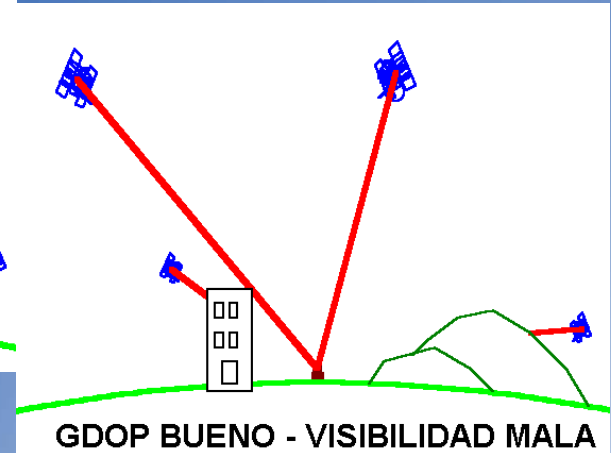
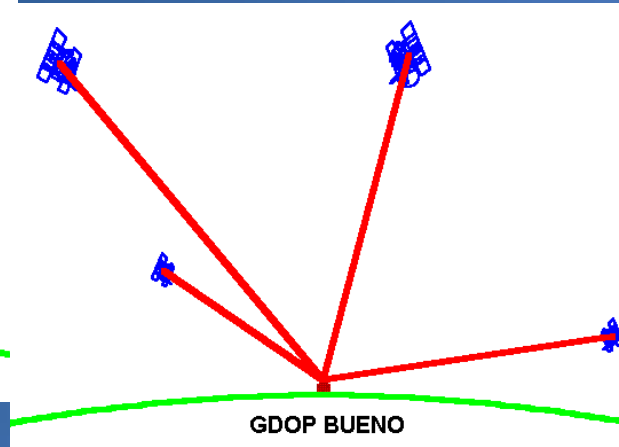
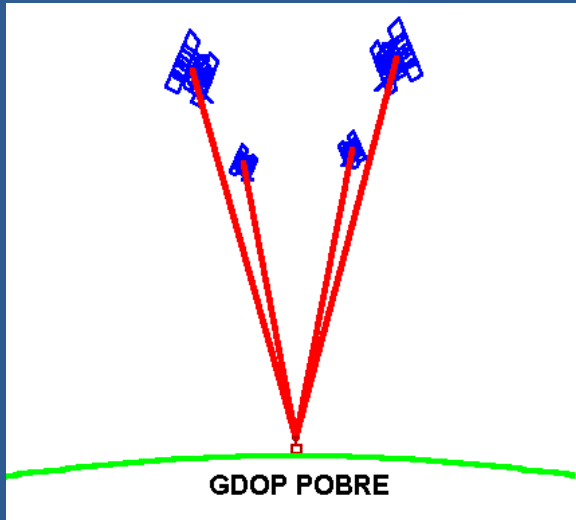
Factores que afectan:

- *Disponibilidad de satélites y su situación*
- *Calidad y tipo del equipo*
- *Procedimientos de la colección de datos*
- *Configuración de parámetros de colección de datos*
- *Postprocesamiento de datos*



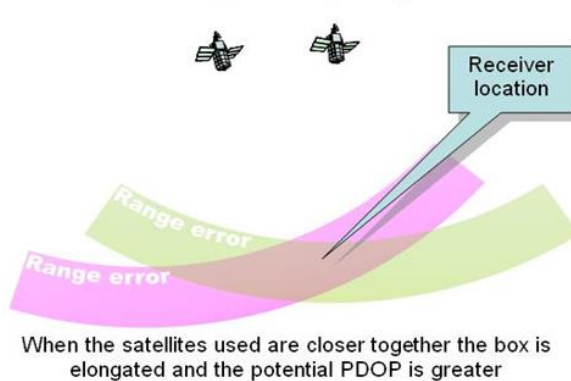
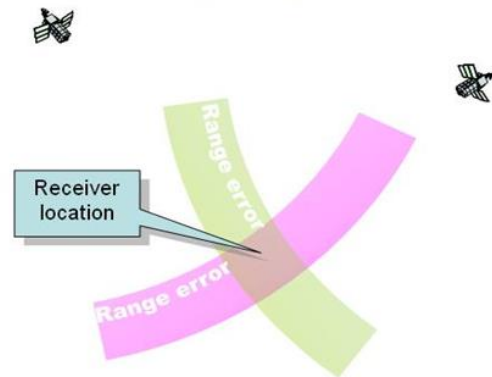
7: Factores que influyen en la Exactitud

Disponibilidad de satélites y su situación



Good satellite geometry = low PDOP

Poor satellite geometry = High PDOP





Calidad y Tipo de Equipo

Calidad de los receptores. Depende del fin al que se destine.
(Navegación, GIS, Topográfico, Geodésico)

Número de canales simultáneos
(número de satélites que es capaz de seguir a la vez)

Utilización simultánea de varias constelaciones de satélites:
(GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU)



Técnicas de Observación

Según las observaciones registradas:

- Pseudodistancias - Código C/A

- Medida de Fase portadora

Según el tipo de observación:

- Absoluta

- Diferencial

Dependiendo del movimiento de los receptores:

- Estático

- Cinemático

Dependiendo del momento en que se efectúa el cálculo:

- Postproceso

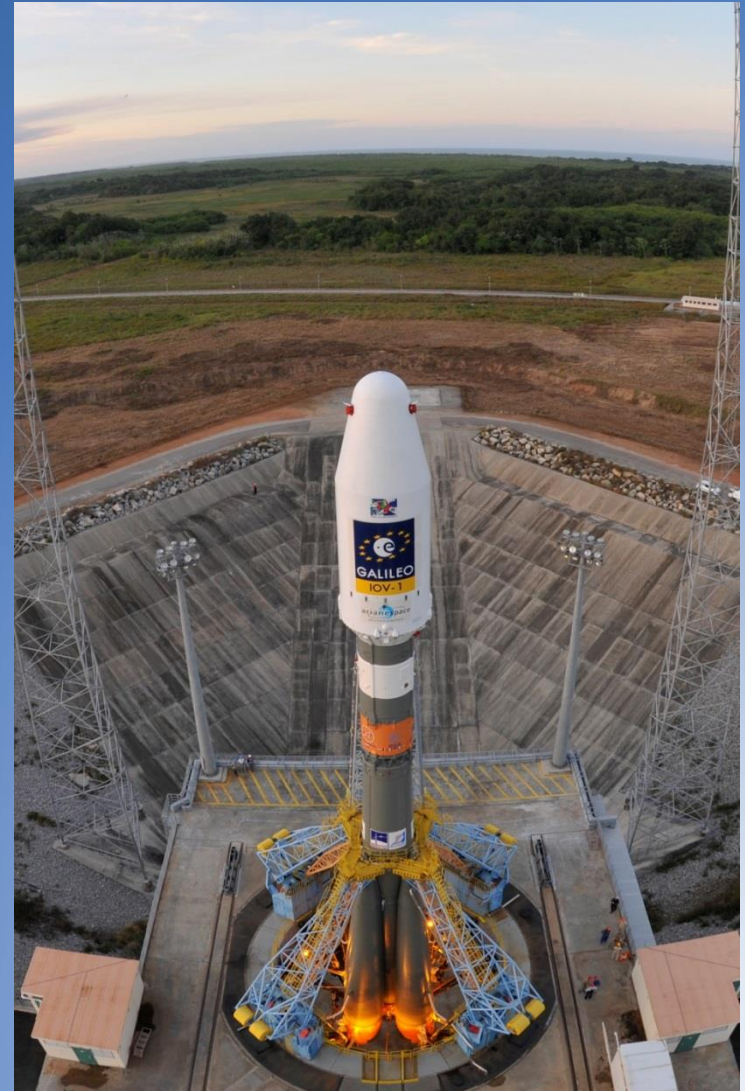
- Tiempo Real



Ariane 5



Soyuz



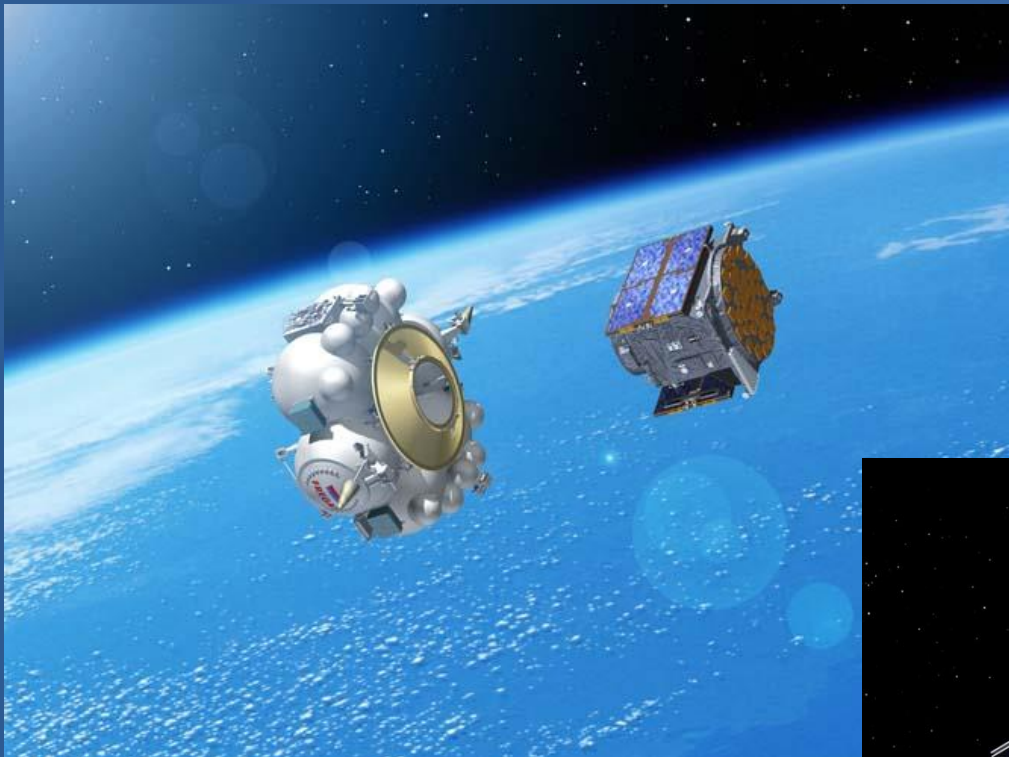


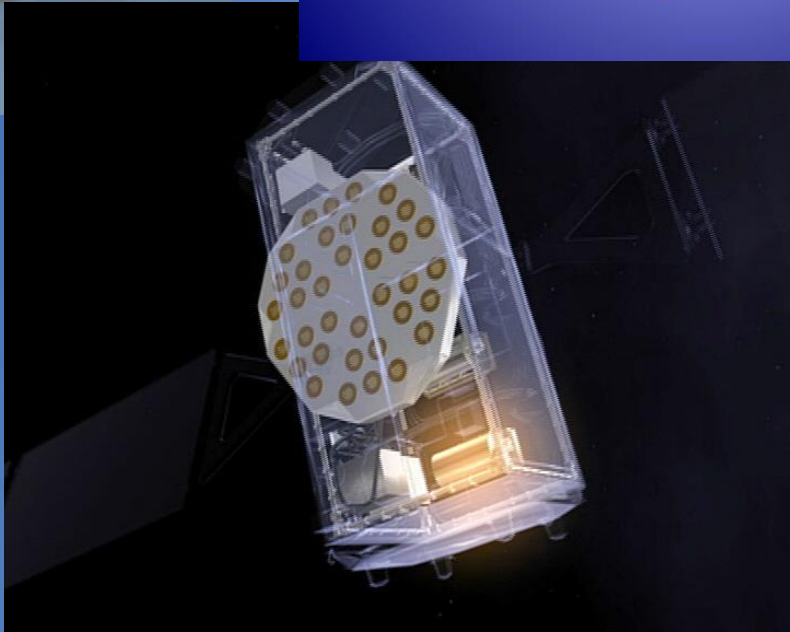


© 2012 ESA. All rights reserved. For more information, visit esa.int





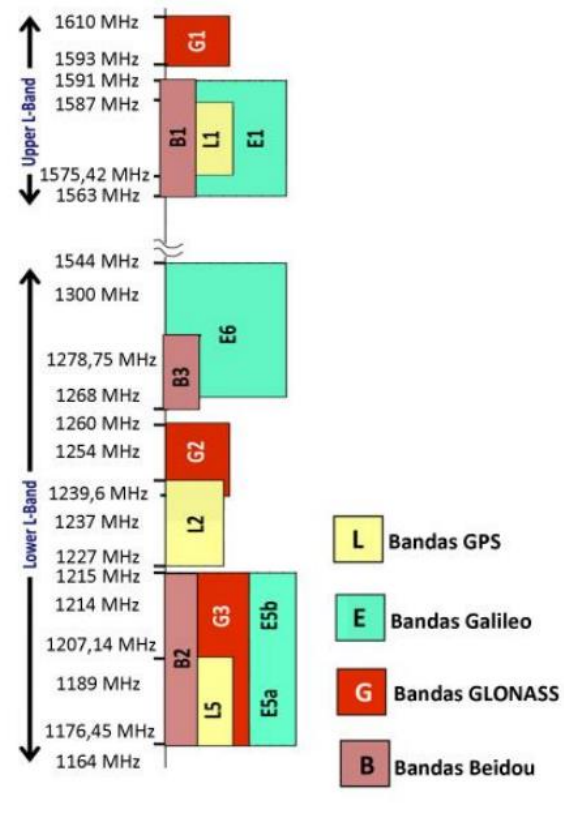
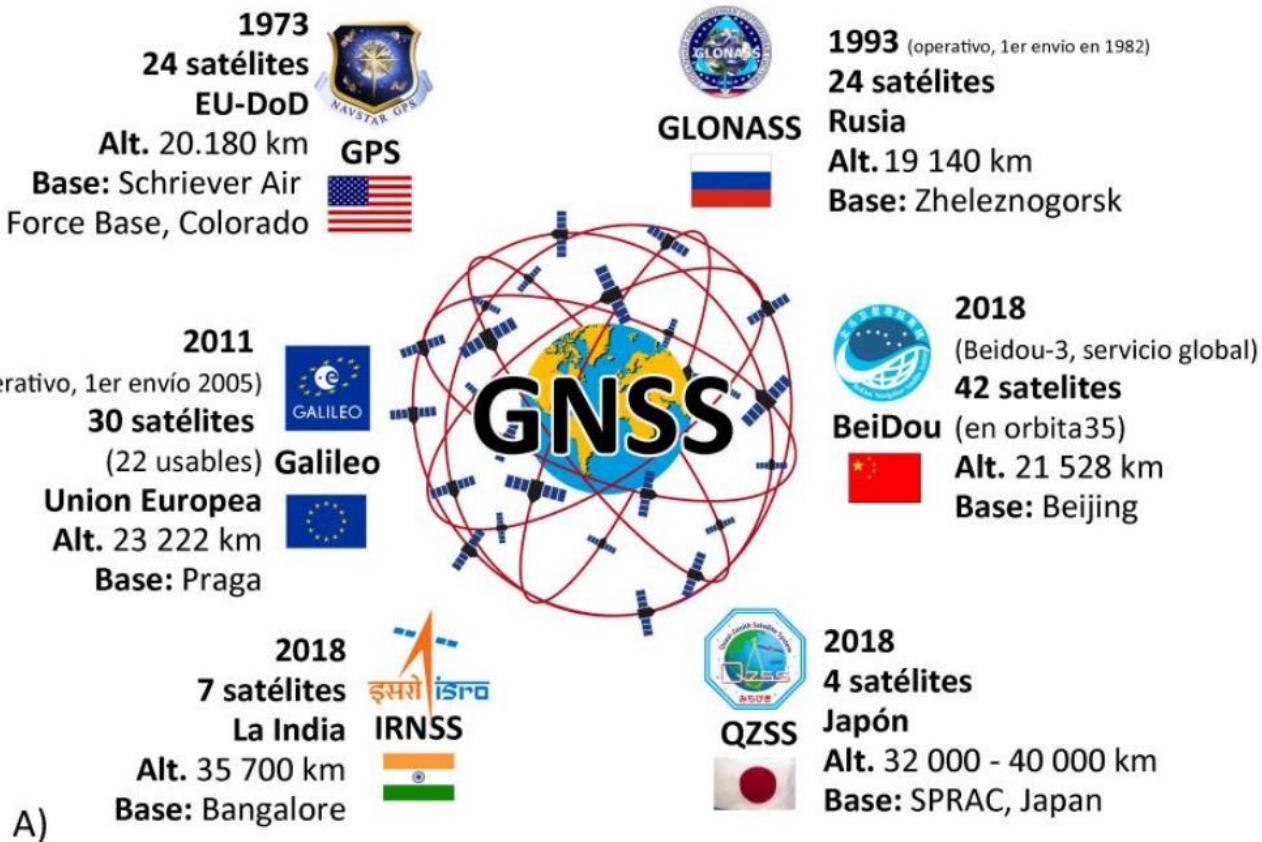






Launch order of winners of the Galileo Children's Drawing Competition

<u>N°</u>	Country	Winning Child	N°	Country	Winning Child
1	Belgium	Thijs	15	Luxembourg	Alizée
2	Bulgaria	Natalia	16	Hungary	Lisa
3	Czech Republic	David	17	Malta	Kimberley
4	Denmark	Sif	18	The Netherlands	Tijmen
5	Germany	Doresa	19	Austria	Nicole
6	Estonia	Milena	20	Poland	Zofia
7	Ireland	Adam	21	Portugal	Alexandre
8	Greece	Anastasia	22	Romania	Irina
9	Spain	Alba	23	Slovenia	Tara
10	France	Oriana	24	Slovakia	Samuel
11	Italy	Antonianna	25	Finland	Anna
<u>12</u>	Cyprus	Andriana	26	Sweden	Ellen
13	Latvia	Liene	27	United Kingdom	Patrick
14	Lithuania	Danielè			



Celeste



La misión **Celeste** es una nueva iniciativa de la Agencia Espacial Europea (ESA) que intenta probar el uso de una constelación en **Órbita Terrestre Baja (LEO)** para geoposicionamiento mediante un sistema de navegación.

Satélites: (In Orbit Demonstration)

IOD-1 (12U) cubesat – GMV

IOD-2 (16U) cubesat – Thales Alenia

Lanzamiento:

28 marzo 2026

Recepción de la primera señal de navegación:

8 abril 2026

Constelación: 12 satélites (10 operativos + 2 reserva)

Orbita: 500 km

Despliegue: 2027-2028

Celeste



Su propósito principal es actuar como una capa complementaria para el sistema **Galileo** para:

- Aumentar la Resiliencia:** Proporcionar señales de navegación más difíciles de interferir o "hackear" (anti-spoofing) gracias a que, al estar más cerca, la señal llega con mucha más potencia.
- Mejorar la Navegación Urbana:** Facilitar que el GPS/Galileo funcione mejor en "cañones urbanos" (calles con edificios muy altos) donde las señales de los satélites lejanos suelen rebotar o perderse.
- Probar Nuevas Frecuencias:** Experimentar con bandas de radio diferentes (como la banda S o UHF) que no se usan en los sistemas actuales para ver si son más eficientes.
- Reducir el Tiempo de Convergencia:** Ayudar a que los dispositivos (como tu móvil o un coche autónomo) obtengan una posición precisa de forma mucho más rápida.
- Demostración Tecnológica:** Validar que es viable y económico mantener una constelación de satélites pequeños para tareas de posicionamiento global.



Algunas diferencias entre Galileo y Celeste:

○ 1. La Ley del Cuadrado Inverso (Potencia)

Como los satélites de Celeste están a solo 500 km de altura frente a los más de 23.000 km de Galileo, la señal tiene que recorrer una distancia muchísimo menor.

Tiempo de viaje: 0,07 segundos Galileo – 0,002 segundos Celeste.

Resultado: La señal de Celeste llega a la Tierra con una potencia hasta 100 veces superior. Esto permite que el receptor reciba la señal incluso dentro de edificios o bajo follaje denso, donde Galileo normalmente falla.

○ 2. Geometría Dinámica (Cambio de ángulo)

Los satélites de órbita media (Galileo) se mueven lentamente desde nuestra perspectiva en el suelo. Los satélites de órbita baja (Celeste) cruzan el cielo muy rápido.

Ventaja: Al cambiar de posición tan rápido, los satélites "ven" el entorno desde muchos ángulos en poco tiempo. Esto ayuda a resolver el problema de los rebotes de señal (multitrayecto) en las ciudades, permitiendo que el receptor calcule su posición mucho más rápido.



Algunas diferencias entre Galileo y Celeste:

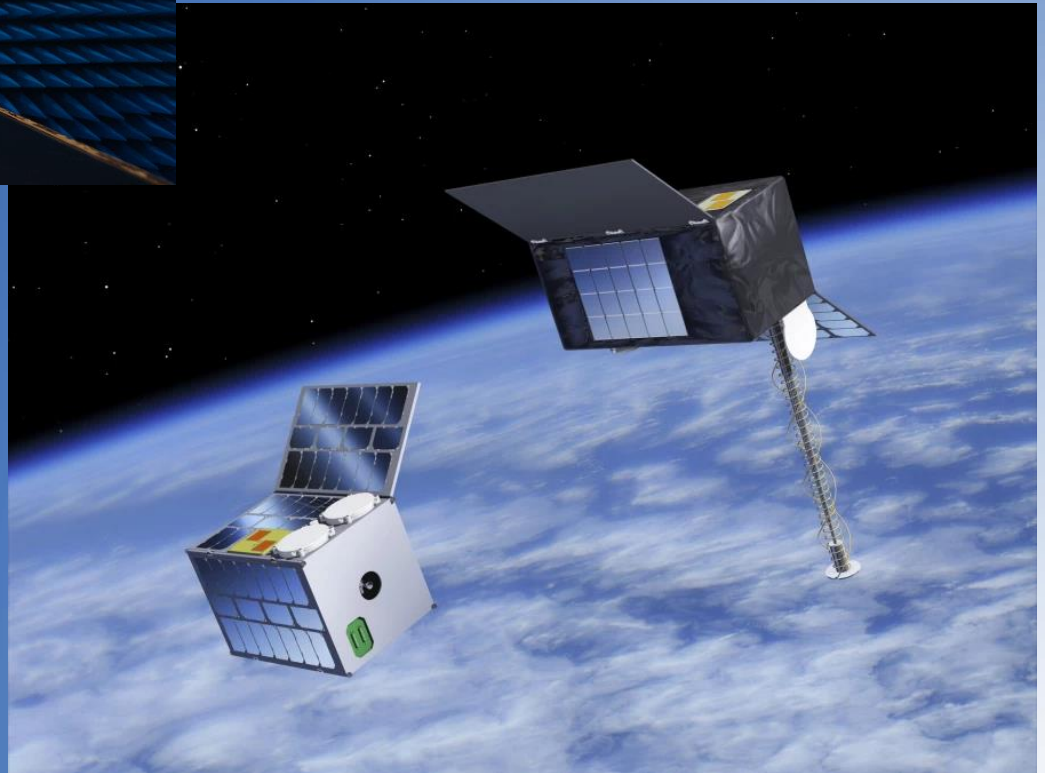
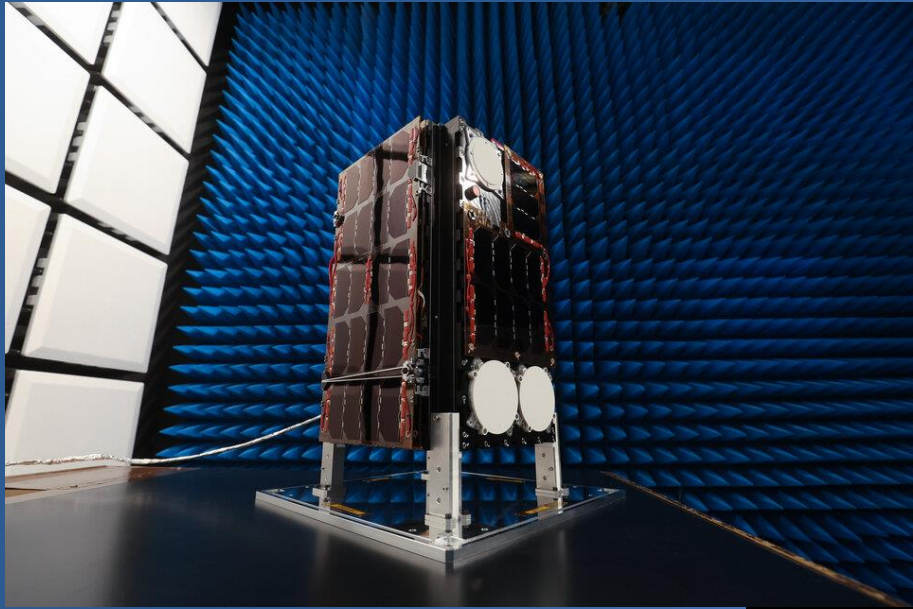
○ 3. Efecto Doppler (Velocidad)

Cada 90 min una vuelta a la Tierra.

Debido a su alta velocidad orbital (unos 27.000 km/h frente a 13.000 km/h), las señales de Celeste experimentan un Efecto Doppler muy marcado (el cambio de tono que escuchas cuando pasa una ambulancia).

Utilidad: Este cambio de frecuencia tan drástico es una firma única. Hace más difícil de falsificar por un atacante en tierra, lo que convierte a Celeste en un escudo contra spoofing (señales falsas de GPS).

Celeste



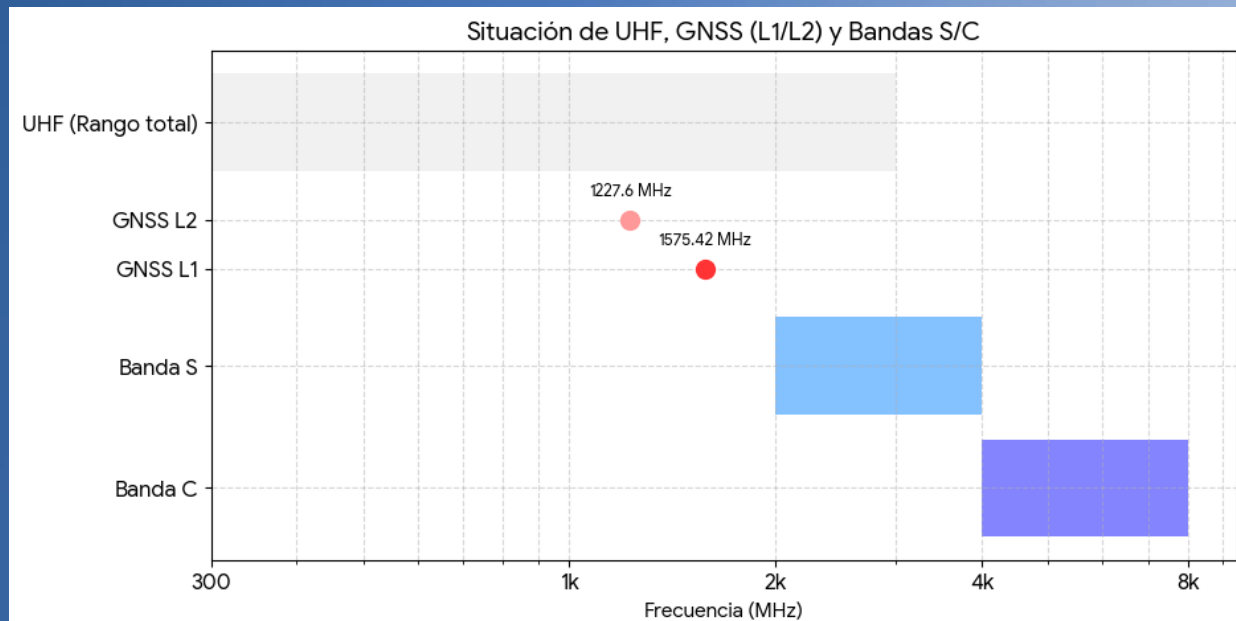


Frecuencias de las señales:

S-band: Señales de navegación bidireccionales en banda S, para capacidades de posicionamiento avanzadas mediante ondas satelitales 5G.

C-band: Señales en banda C, para mayor resistencia a interferencias y bloqueos.

UHF: Señales en banda UHF, para una mayor penetración y posicionamiento en interiores.





<https://www.ipses.com/eng/in-depth-analysis/standard-of-time-definition/>

<http://www.leapsecond.com/m/gps.htm>

<https://share.google/MmBJixHQnGeIUS8cw>