

# Medi-Universo 2

## La Tierra (con satélites)

Autor:  
José Luis Valbuena



**Medimos la Tierra**

# **Medi-Universo 2**

# **La Tierra**

**(con satélites)**

# Parte 1

## Medición de la Tierra con satélites

La serie Medi-Universo describe cómo ha evolucionado nuestra capacidad de medida a partir de una Tierra evidentemente plana y alrededor de la que todo gira, hasta escudriñar los límites del Cosmos.

Consta de cuatro partes:

- 1- *Medición de la Tierra con medios terrestres*
- 2- **MEDICIÓN DE LA TIERRA CON SATÉLITES**
- 3- *Medición de la Tierra con cuásares*
- 4- *Medición del Cosmos*

He invertido muchas horas, desde hace mucho tiempo y poniendo mucha ilusión.  
Espero que lo disfrutes.

El Valbu

# **Geodesia espacial**

(con satélites)

# Geodesia espacial

En la Geodesia espacial con satélites en órbitas terrestres, hay una alternativa en la medición: direcciones o distancias

## Geodesia espacial con satélites

Globos en órbita.

Satélites mixtos prismas / emisión radioeléctrica.

Satélites pasivos con prismas: SLR.

Satélites con emisión radioeléctrica codificada.

La técnica más precisa utilizada en Geodesia -y Geofísica- es la interferometría de muy larga base VLBI, con observación distanciométrica radioastronómica por interferometría diferencial a cuásares extragalácticos, que se trata en la parte 3 de esta serie.

# Geodesia espacial con satélites

La utilización de satélites para posicionar una estación terrestre implica el conocimiento de los parámetros orbitales de los satélites observados, que sirven para calcular sus situaciones en el espacio en el momento de la observación.

Los parámetros orbitales sólo se pueden establecer desde unas estaciones terrestres de control de la constelación, que hagan seguimiento continuo de los satélites desde posiciones conocidas.

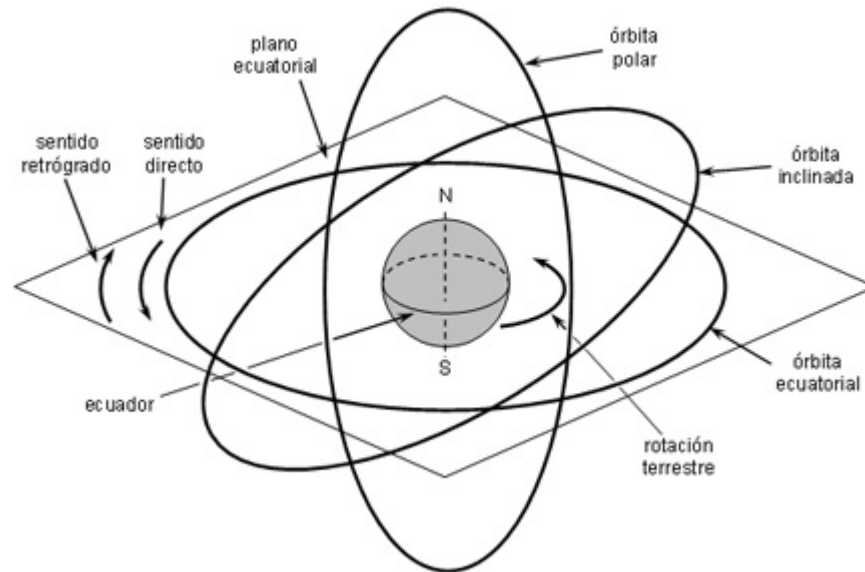
El problema es recurrente, pero se resuelve progresivamente con la iteración de observaciones hasta la convergencia, tanto de las coordenadas de las estaciones de control, inicialmente conocidas, como de los parámetros orbitales.

# Geodesia espacial con satélites

Las órbitas de los satélites de uso geodésico no se clasifican por su excentricidad, al tener órbitas casi circulares\*, ni por el sentido de giro, habitualmente directo para minimizar su movimiento aparente (salvo los que usan cuenta Doppler).

Se clasifican por su inclinación y por su altitud.

Su inclinación puede ser desde  $0^\circ$  en una órbita ecuatorial, hasta  $90^\circ$  en una polar.



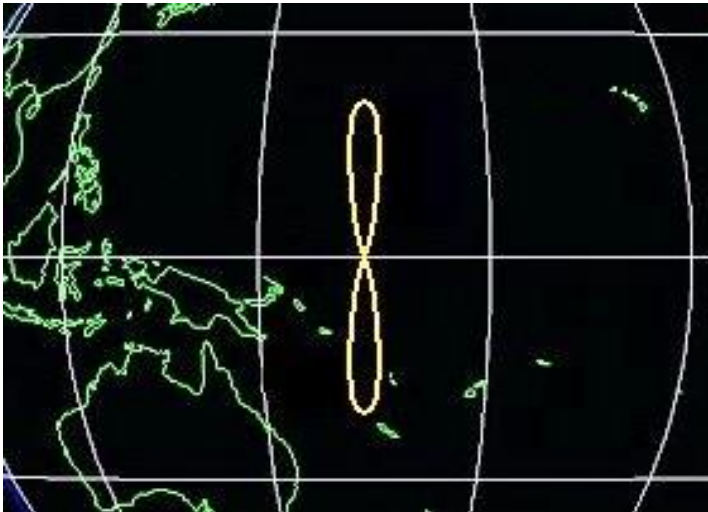
\* Rusia utiliza algunos satélites especiales con órbitas extremadamente excéntricas -los *Mólniya*- para cobertura de zonas polares de su territorio.

# Geodesia espacial con satélites

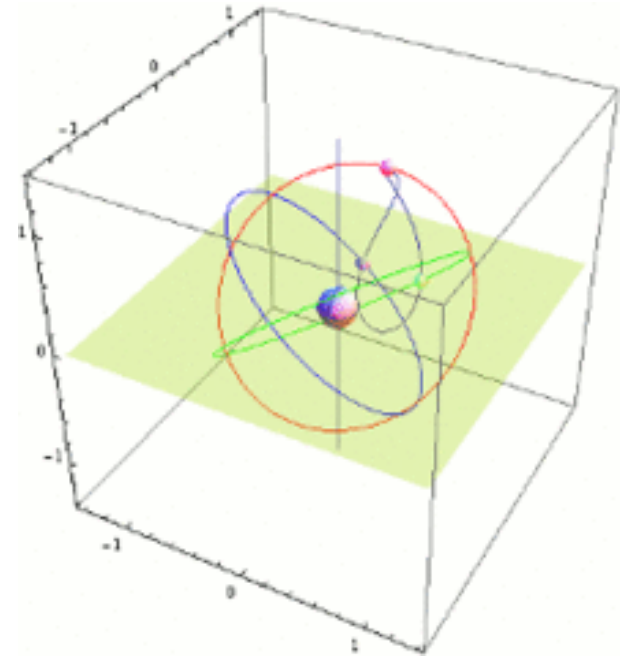
Por su altitud, las órbitas pueden ser:

- Baja -LEO (*Low Earth Orbit*)-, 200 hasta 2000 km
- Media -MEO (*Medium Earth Orbit*)-, 2000 hasta <35.786 km
- Geosincrónica -GSO (*Geo Synchronous Orbit*)-, a 35.786 km

Los geosincrónicos con órbita inclinada y giro directo trazan una analema simétrica, centrada en el Ecuador y orientada en un meridiano, con amplitud doble que la inclinación de su órbita.



centrada en el Ecuador y orientada en un meridiano, con amplitud doble que la inclinación de su órbita.

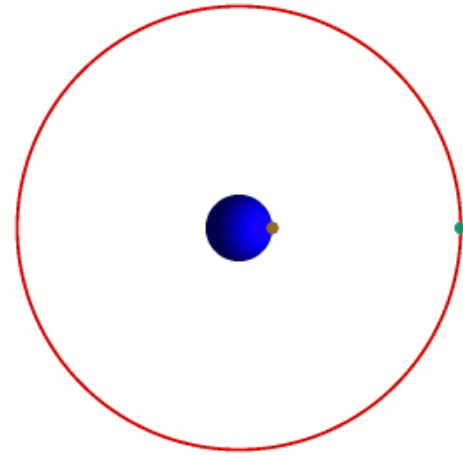
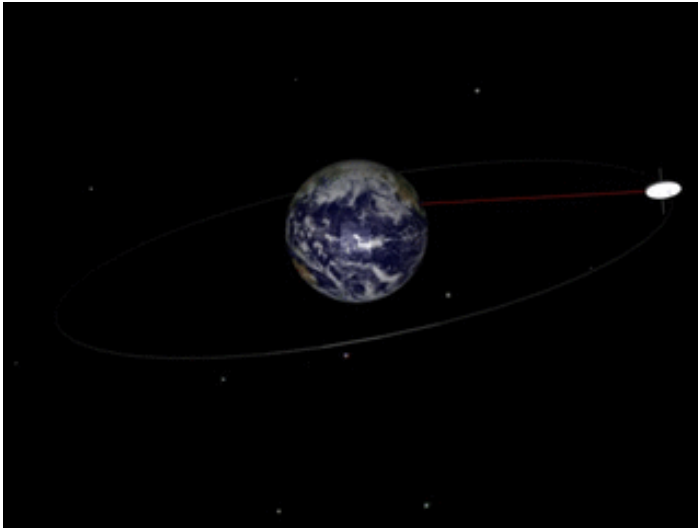


Con varias órbitas bien distribuidas pueden ofrecer buena cobertura zonal, con amplia variación de latitud.



# Geodesia espacial con satélites

La órbita geoestacionaria es una geosincrónica, con inclinación  $0^\circ$  (ecuatorial) y giro directo. Los satélites permanecen aparentemente inmóviles en el plano ecuatorial.



Ofrecen una posición estable y precisa en aplicaciones geodésicas. En uso comercial o telecomunicación, la antena terrestre puede mantener su orientación fija.

Las órbitas altas -*HEO (High Earth Orbit)*-, con altitud superior a 35.786 km, normalmente excéntricas, no se utilizan para satélites de uso geodésico sino en otras aplicaciones.

# Geodesia espacial con satélites

Todo comenzó observando globos en órbita, aunque originalmente no fueron concebidos para uso geodésico.

En 1960 la NASA desarrolló el proyecto ECHO, con satélites pasivos experimentales de comunicaciones. Serían grandes globos esféricos.

Su superficie aluminizada de Mylar, con espesor de 0,012 mm, reflejaría las microondas y permitiría la comunicación entre puntos de la Tierra muy distantes.

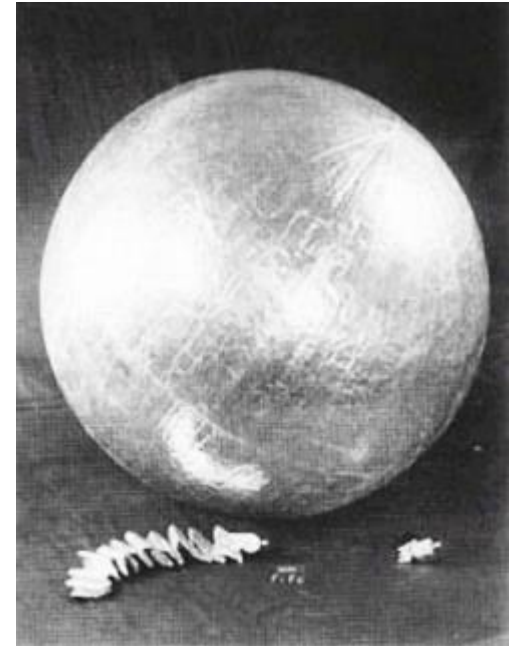
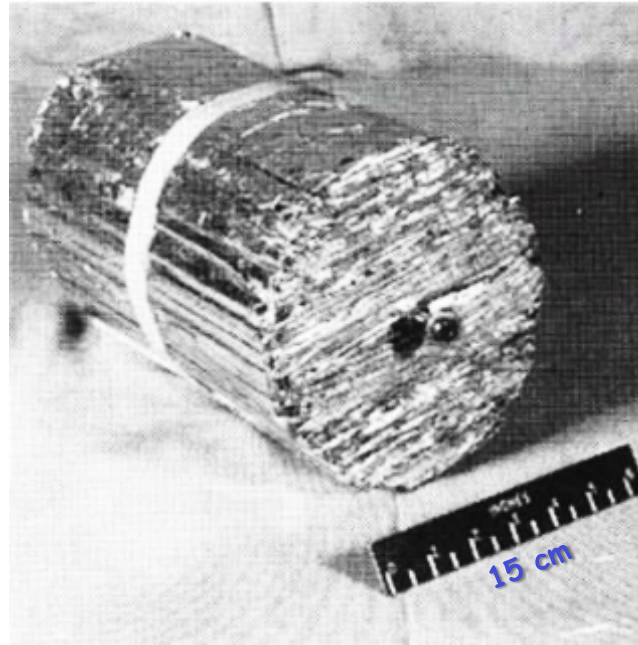


Los globos incluían pequeños transmisores telemétricos para su seguimiento desde las estaciones de control.

Se hicieron enlaces (breves) de TV muy largos, como el del continente americano con Hawái (a casi 4000 km).

# Globos ECHO

## Proceso de desarrollo de los globos ECHO



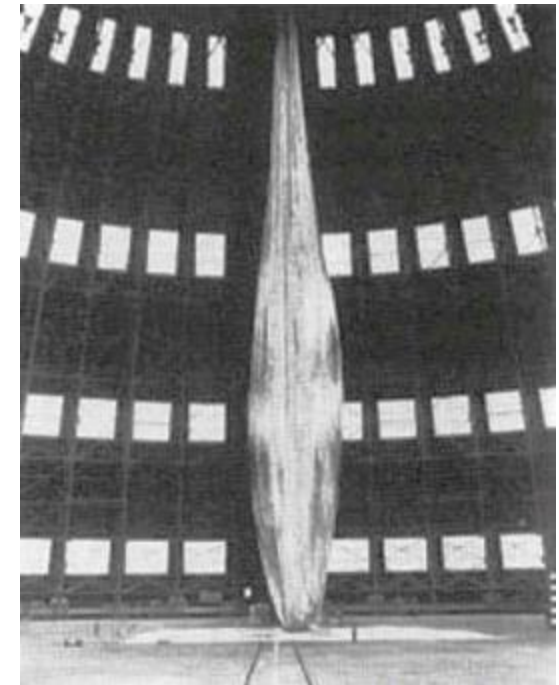
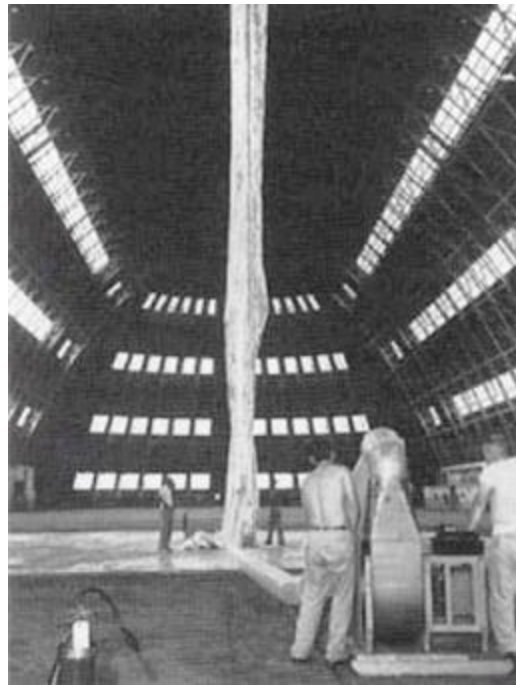
El globo experimental, plegado en un pequeño volumen, se inflaba con el gas liberado por la deflagración de una carga.

Tras las primeras pruebas se construyeron los satélites ECHO, de hasta 30 m de diámetro, que ya fueron puestos en órbita.



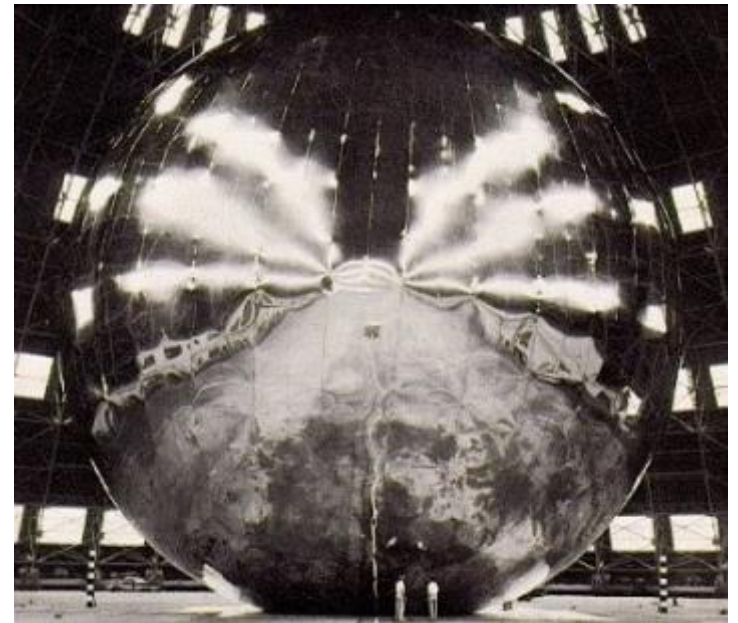
# Globos ECHO

Proceso de inflado  
del globo ECHO I



Diámetro de  
30,48 m

Estuvo en órbita, a 1600 km de  
altitud, desde 1960 hasta 1968





# Globos ECHO

El ECHO II, de 41,1 m de  $\emptyset$ , estuvo en órbita a 1100 km de altitud, desde 1964 hasta 1969



Posteriormente se utilizó el Pageos, de 30,5 m de diámetro, con órbita a 4000 km de altitud, en la que permaneció desde 1966 hasta 1975

Con su gran diámetro y baja masa eran muy sensibles al viento solar.

Sus parámetros orbitales tenían que actualizarse frecuentemente.



# Globos ECHO

La andadura de la Geodesia espacial empezó en 1960, fotografiando globos en órbita.

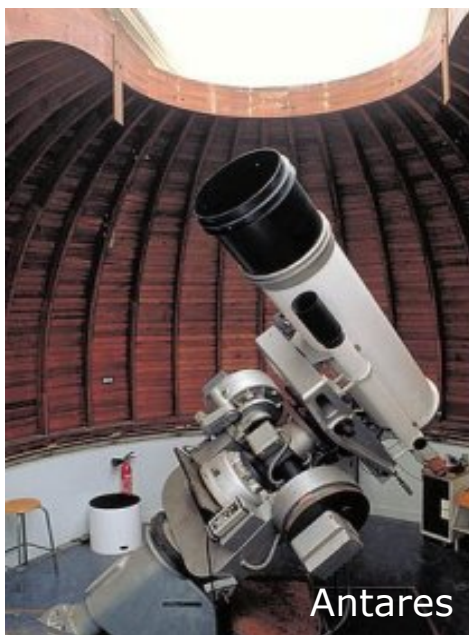
Esta foto con exposición, «*Congestión de tráfico en el espacio*», mostraba las trazas luminosas de los satélites (al reflejar la luz solar) sobre el fondo nocturno de estrellas.



Se hacían fotografías nocturnas del satélite mientras estaba iluminado por el Sol.

Conocidas las efemérides y con buen control de hora, se establecía la dirección del satélite midiendo en las placas fotográficas, mediante coordinómetros, la posición de su imagen sobre el fondo de estrellas. La situación de la estación terrestre se resolvía por múltiples triangulaciones inversas.

Se usaron  
diversos  
modelos de  
cámaras







WILD BC4

Las cámaras WILD BC4, muy utilizadas, se montaban en la enorme base y alidada del teodolito astrogeodésico WILD T4



Con fotos a globos se obtuvo, en un programa internacional, la primera RED MUNDIAL con precisión métrica



Tenía 45 vértices, sin cubrir las zonas polares

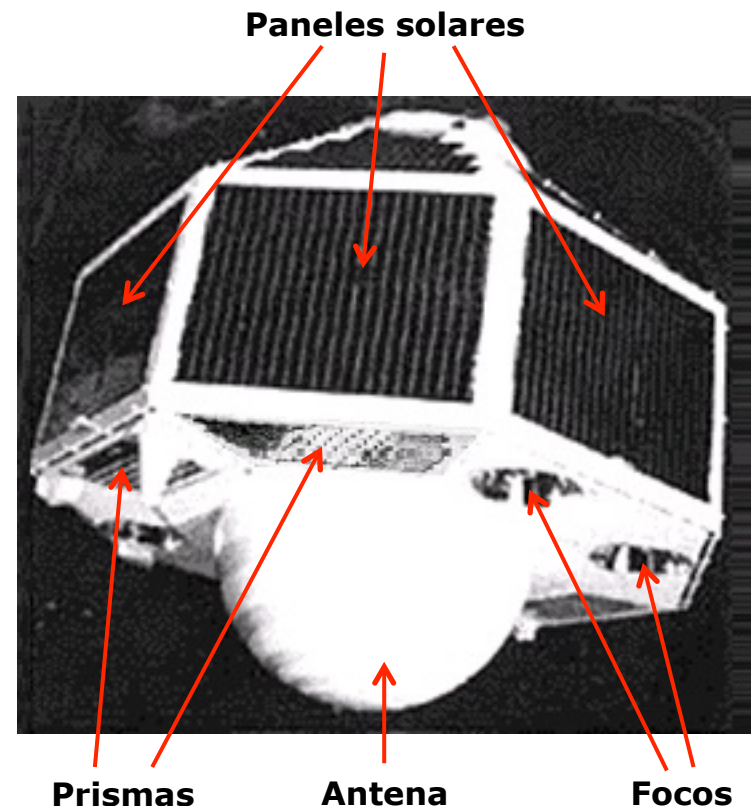


# Satélites geodésicos

La medición de direcciones a satélites pasivos se abandonó, pero en la transición, desde 1964, hubo sistemas que localizaban los satélites por radar, como la red terrestre MINITRACK.

Para satélites como los de la serie EXPLORER de BEACON, se utilizaban métodos mixtos. El muy versátil BE 29 permitía hacer medida nocturna de direcciones a sus focos eléctricos o a prismas retrorreflectores iluminados con flash desde tierra-, o cuenta Doppler de sus emisiones radioeléctricas no moduladas

También se pudo emplear para la técnica SLR (distanciometría láser a satélite), comentada a continuación.

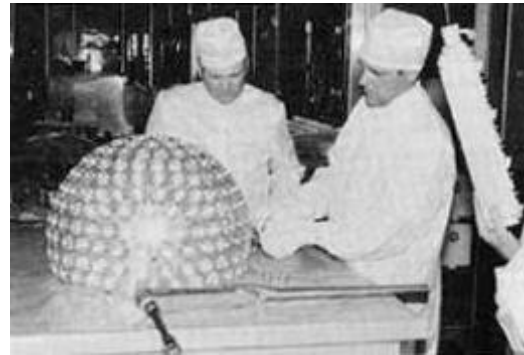


# Satélites geodésicos

El sistema SLR (*Satellite Laser Ranging*), emplea la distanciometría láser con modulación pulsante a satélites pasivos especiales. Actualmente en pleno uso, comenzó en 1964.



GFZ-1



70 cm Ø  
400 kg



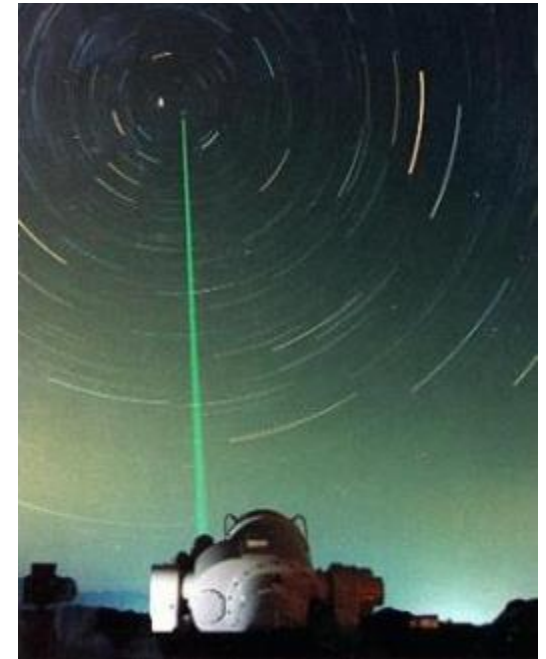
Lageos

Los satélites son esferas pesadas y de reducido diámetro, forradas de prismas.

La altísima relación masa/sección minimiza la acción del viento solar y el rozamiento con moléculas en libre flujo en la exosfera, ofreciendo una escasa degradación de su órbita.

# Satélites geodésicos

Midiendo a satélites desde estaciones conocidas, se establecen los parámetros orbitales. Conociéndolos, el SLR ofrece precisiones subdecimétricas de posicionamiento por multilateración de sucesivas posiciones, en cualquier punto de observación.



Las estaciones de observación de este sistema pueden ser fijas (en observatorios) o móviles (en remolques).

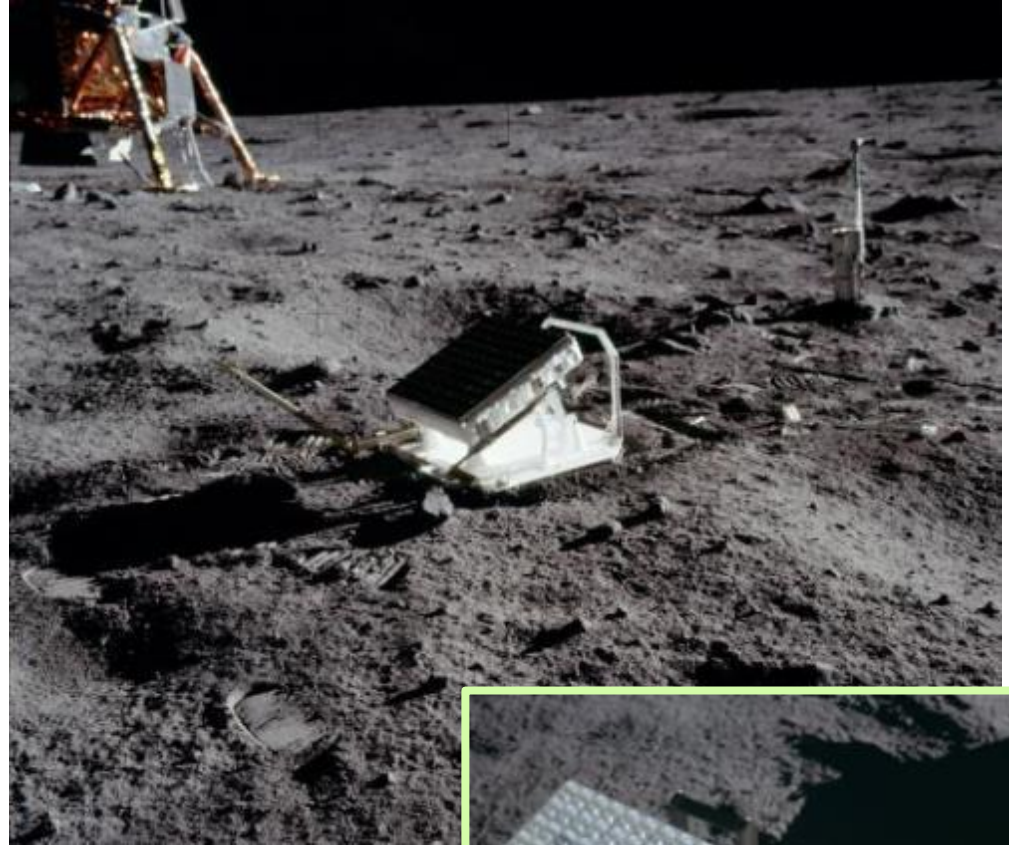


# Satélites geodésicos

A título informativo se menciona el sistema astrofísico LLR (Lunar Laser Ranging), de igual fundamento, que mide a prismas en la Luna.

Entre 1969 y 1973 las misiones Apolo 11, 14 y 15 de EE.UU. y las Lunojod 1 y 2 soviéticas depositaron una caja de prismas cada una. Hay 5 en total

Cada caja tiene 100 prismas (de cuarzo para soportar los choques térmicos día-noche).



# Satélites geodésicos

Los BEACON EXPLORER 22B y 27 son un ejemplo de satélites pioneros en la distanciometría láser.



Prismas del  
BE 22B



Conocidos los parámetros orbitales, se usaban para fines geofísicos y geodésicos.

# Satélites geodésicos

Los sistemas modernos más difundidos para uso general civil, topográfico, geodésico y geofísico, suelen tener origen militar.

Para poder posicionar los submarinos tipo Nautilus, lanzamisiles de crucero Polaris, EE.UU. puso en servicio, en la década de 1960, la pionera constelación Transit, sistema ya mencionado, también conocido como NNSS o NAVSAT (*Navy Navigation Satellite System*). El Tsikada ('cigarra' en ruso) fue el equivalente soviético.

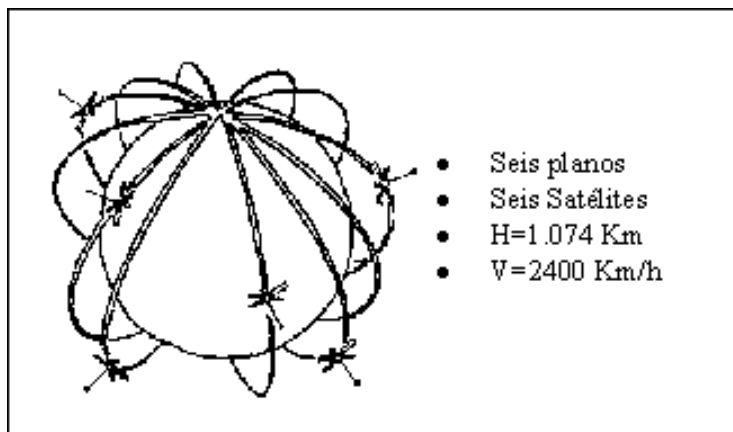
Para enviar un misil guiado inercialmente (los de entonces) a un objetivo de coordenadas conocidas, hace falta saber las del punto de lanzamiento.

El submarino tenía que emerger y, para situarse, observar los satélites por cuenta Doppler durante al menos una hora... espera tácticamente peligrosa.





# Uso militar + Geodesia: Constelación Transit



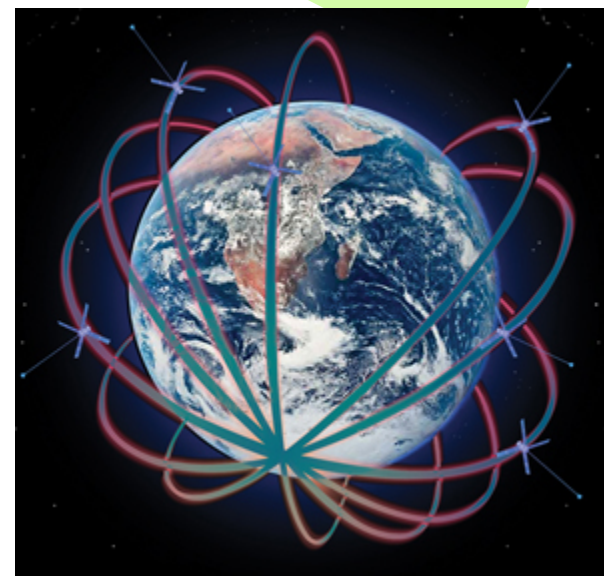
En uso desde  
1964 con seis  
satélites en seis  
planos orbitales  
polares



Aunque en posicionamiento aislado la precisión difícilmente mejoraba 100 m, en el método diferencial geodésico llamado 'translocación de arco corto' ofrecía, con observaciones largas, hasta 25 cm en lados de 100 km (2,5 ppm).

Hizo posible la sincronización horaria mundial con una precisión de  $\pm 0,05$  s.

El soviético Tsikada tenía órbitas con  $83^\circ$  de inclinación.



# Uso militar + Geodesia: Constelación Transit

Desclasificado en 1967



Receptores Magnavox y JMR



Registro de observaciones en casete



# Sistemas de navegación

Los sistemas modernos emiten señales moduladas. Se llaman genéricamente *GNSS* (*Global Navigation Satellite System*). Son de uso militar (posicionamiento métrico en tiempo real), pero también general: civil, topográfico y geodésico. Constelaciones en servicio:

GPS y GLONASS (norteamericana y rusa de cobertura mundial). Fueron de desarrollo militar para sustituir el sistema Doppler y evitar la espera en superficie del submarinos antes de lanzar misiles, que ya podían ser guiados directamente por satélite.

Posteriormente se implantaron los COMPASS -BeiDou- (regional china) e IRNSS (regional india).

Funcionan de modo comparable al pionero GPS. Ofrecen posicionamiento aislado y navegación en tiempo real; para uso geodésico, resolución diferencial centimétrica.

El sistema civil europeo GALILEO, operativo, no está todavía completo.

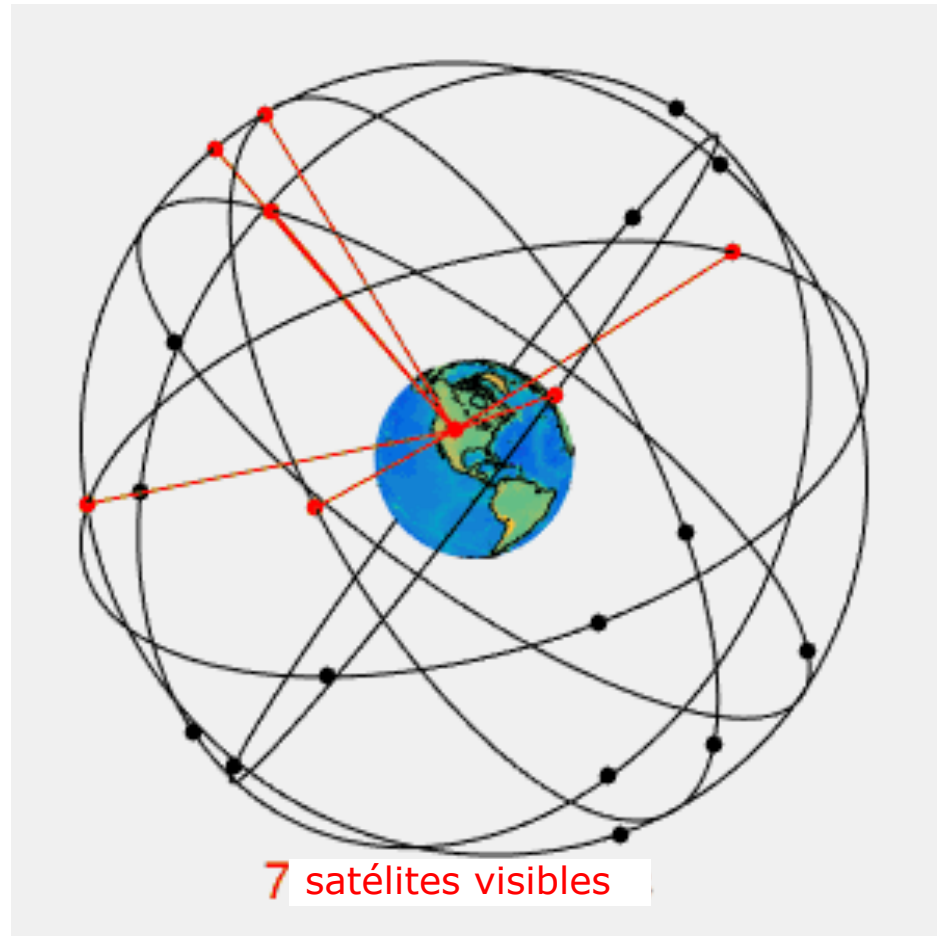
# Geodesia + utilidades: GPS (EE.UU.)

Uso militar desde 1980

Usos civiles desde 1985

Operativo oficial en 1995

Precisión multiusuario,  
hasta centimétrica en  
diferencial.

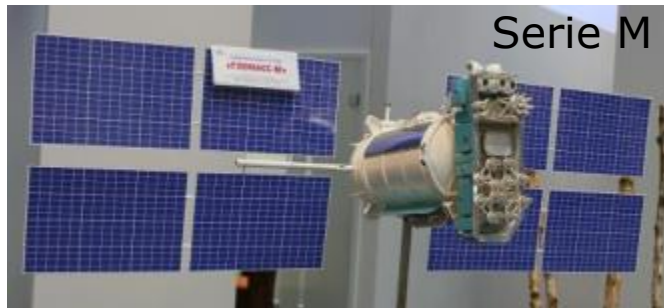


24 satélites distribuidos  
uniformemente en 6 órbitas con  
55° de inclinación

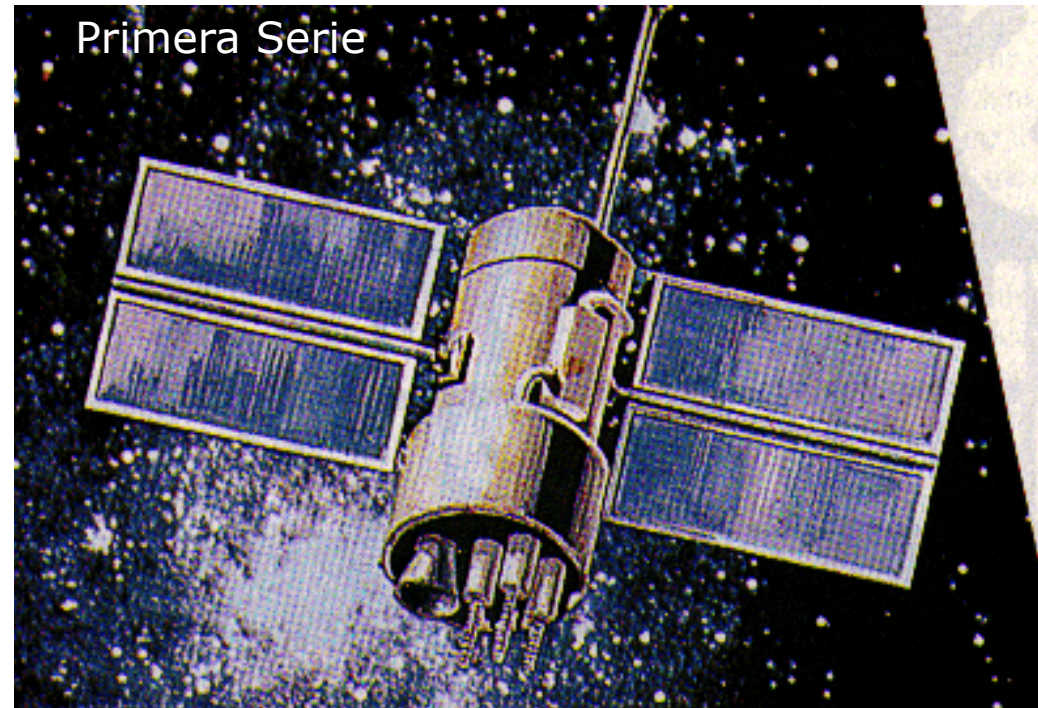
# Geodesia + utilidades: GLONASS (Rusia)

Uso militar desde 1996.  
Uso civil desde 2007.

Precisión multiusuario  
hasta centimétrica



También llevan prismas  
para hacer SLR

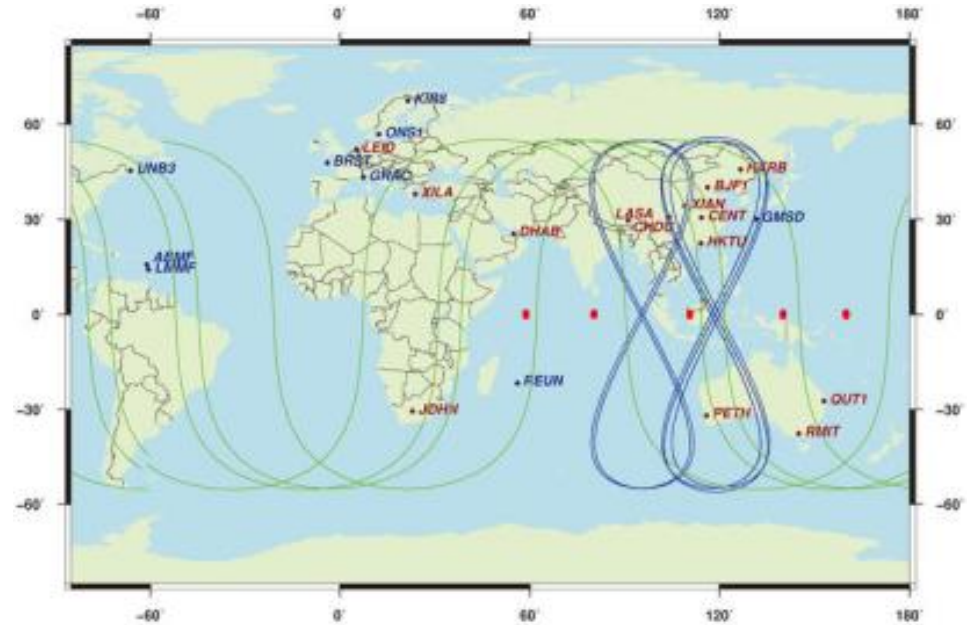


24 satélites distribuidos  
uniformemente en 3 órbitas con  
 $64,8^\circ$  de inclinación

# Geodesia + utilidades: COMPASS (China)



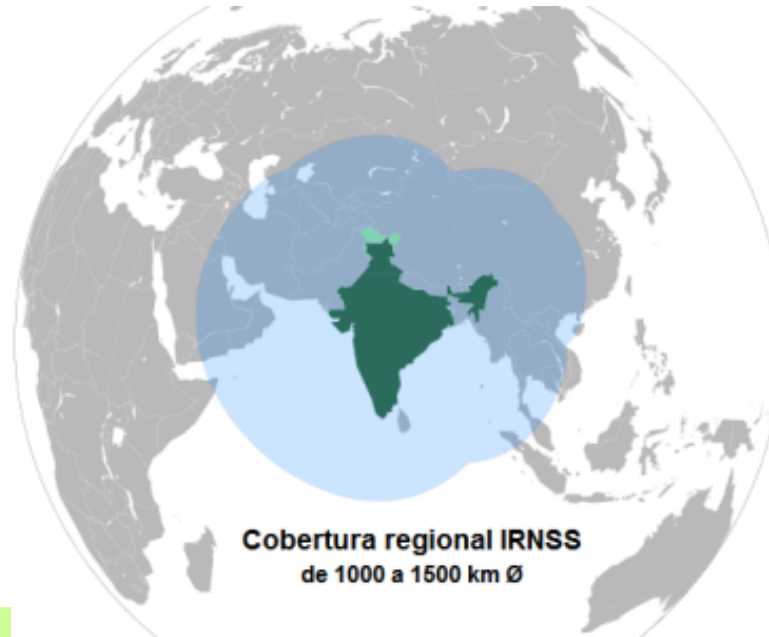
Con cobertura regional para China, ha ido creciendo con sucesivas constelaciones BEIDOU.



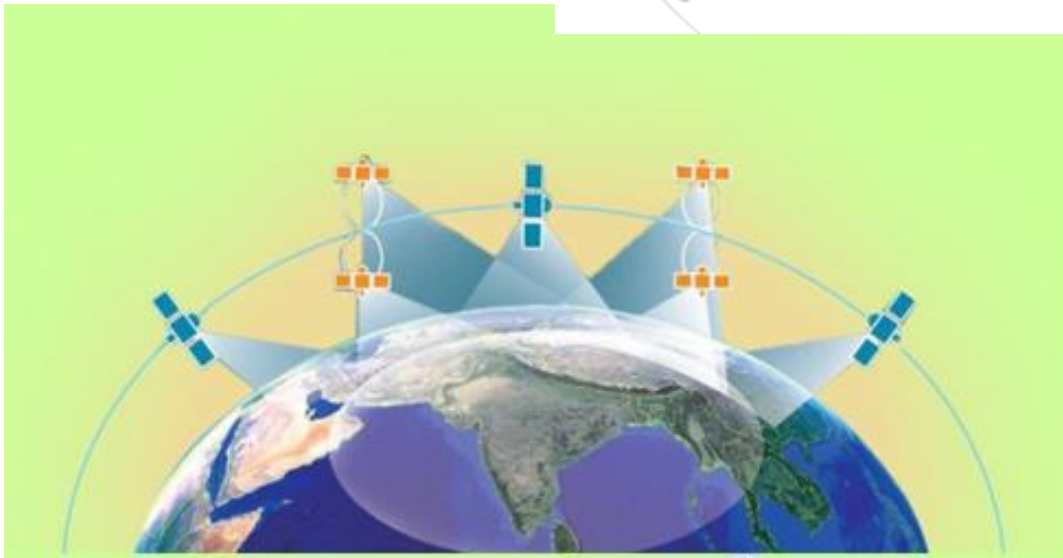


# Geodesia + utilidades: IRNSS (India)

Con cobertura regional para India, el primer satélite fue lanzado en 2006. En 2016 se completó la constelación.



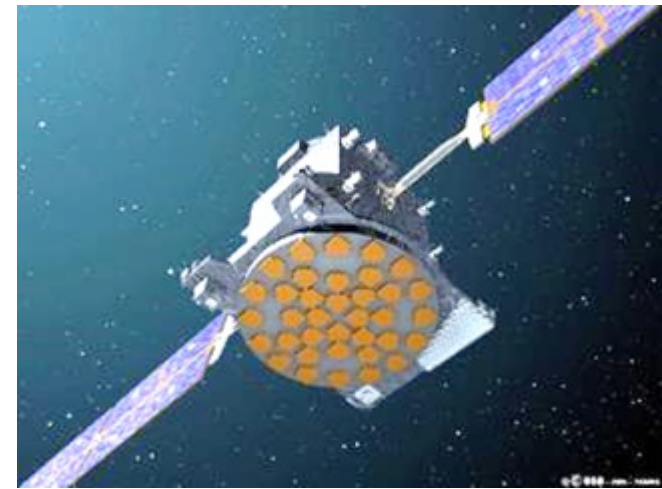
Es compatible con GPS y GLONASS



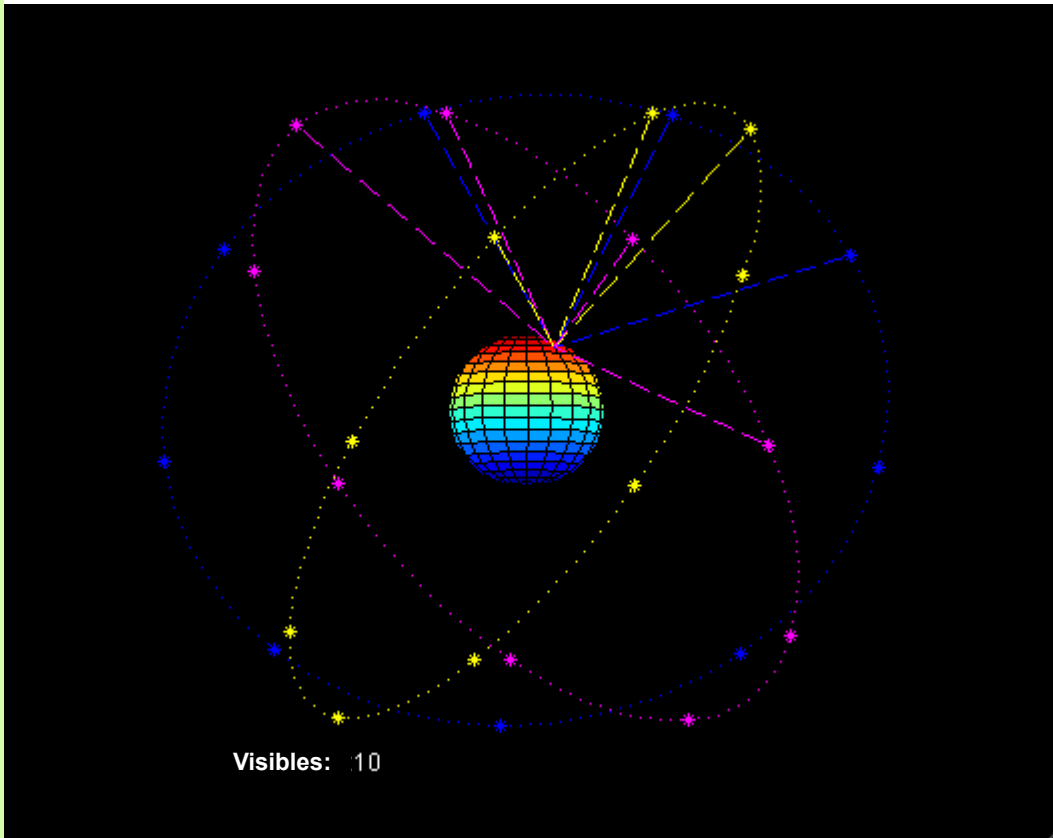
Tiene 3 satélites geoestacionarios y 4 geosincrónicos, por parejas, en 2 órbitas

# Geodesia + utilidades: GALILEO

Sistema civil europeo,  
ofrecerá precisiones absolutas  
gratuitas de 1 m, y de hasta  
1 cm para el sistema de pago.



Prototipo GIOVE 2005  
(Galileo in-orbit validation  
element)



## Constelación:

4 en 2012

18 en 2015

26 en 2018

30 en 2020 ¿?

Con 3 órbitas bastante  
inclinadas ofrece  
buena cobertura polar.

**El Valbu *fecit* 2007 - 2018**



**Fin**



[elvalbu@yahoo.es](mailto:elvalbu@yahoo.es)



© GIFMANIA

Gracias por la atención prestada

[elvalbu@yahoo.es](mailto:elvalbu@yahoo.es)