

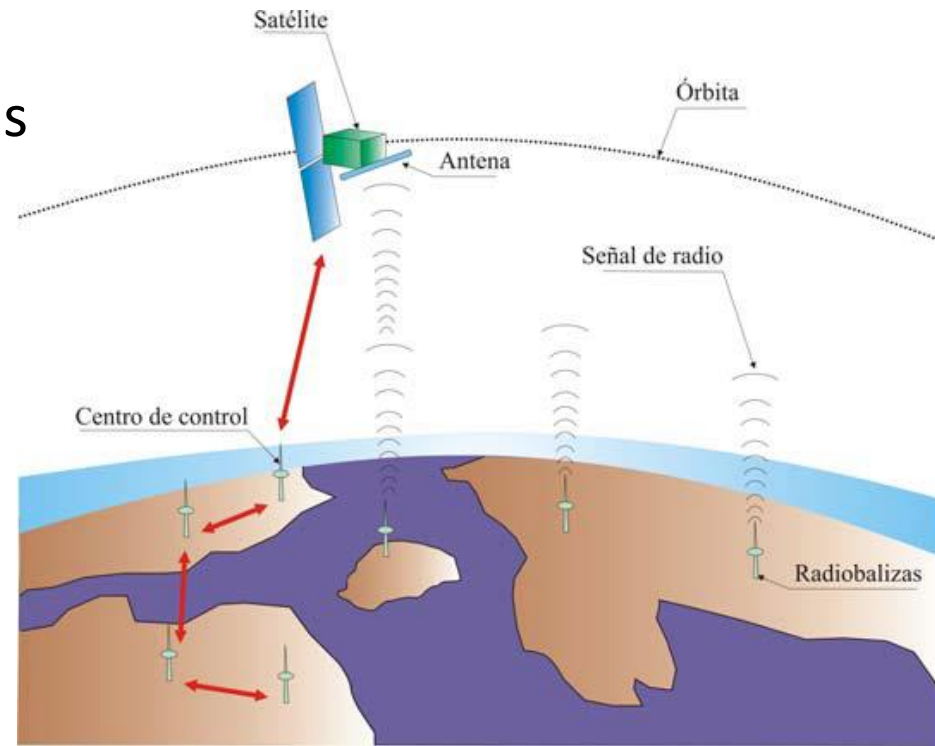
# TÉCNICAS GEODÉSICAS

IA - UDELAR

# DORIS

(Orbitografía por Radioposicionamiento Doppler Integrado por Satélite)

- Sistema francés (CNES) para la determinación precisa de orbitas y posiciones terrestres
- Red de radiobalizas terrestres
- Satélites (antenas)
- Centro de control
- Aplicaciones:
  - orbitas, altimetría, variaciones verticales estacionales del suelo

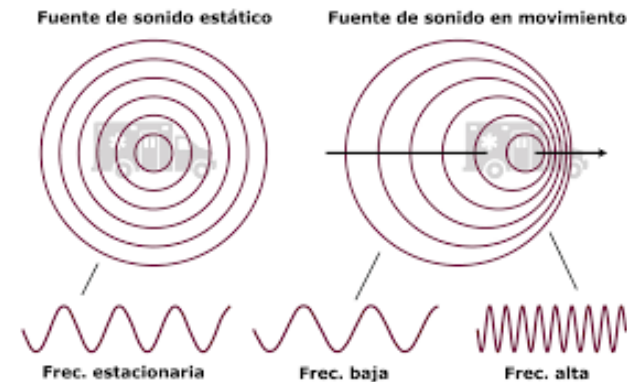


Tomas et al. 2005



# DORIS- Efecto Doppler

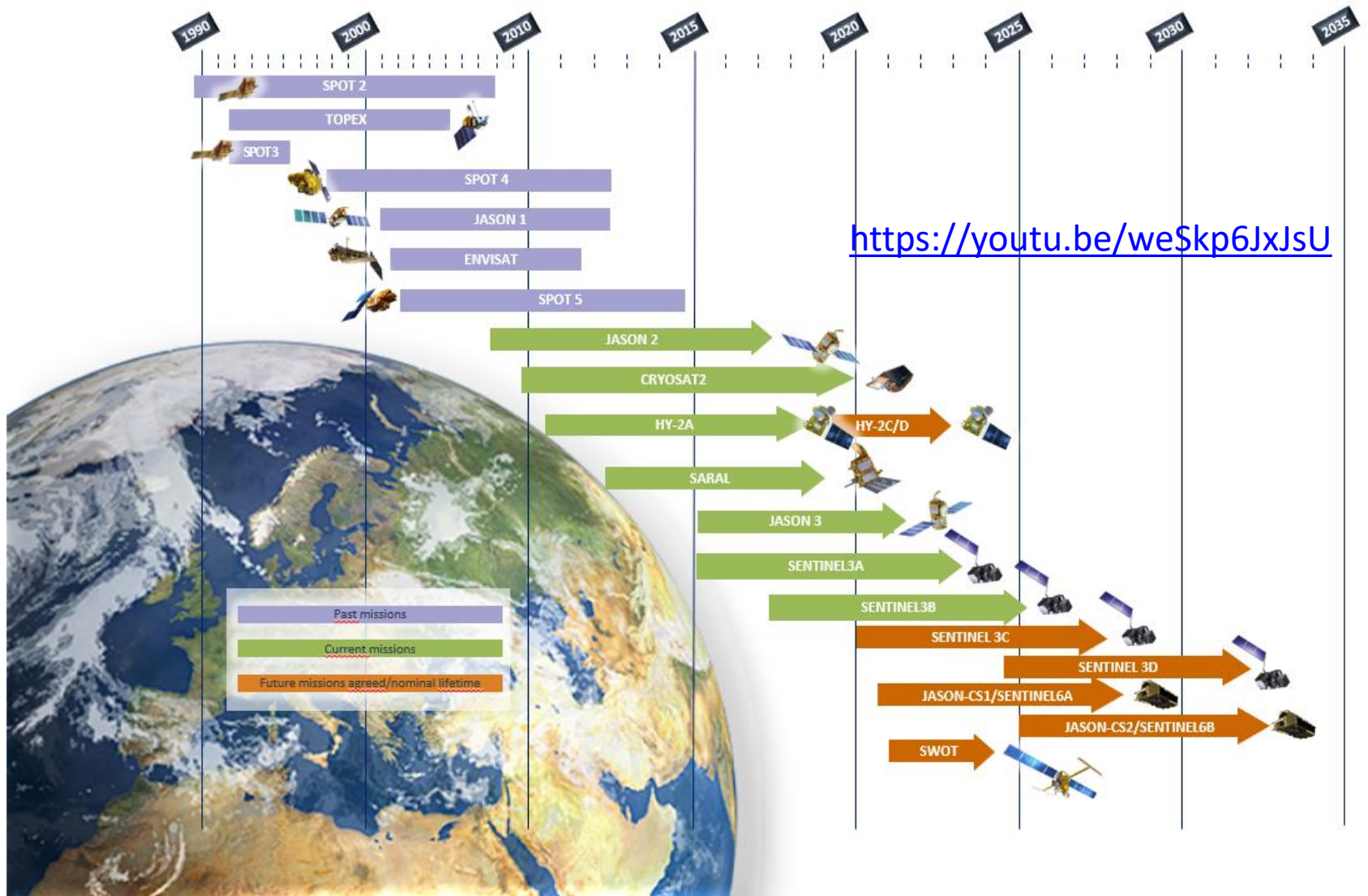
- Emite dos frecuencias: 2000 MHz (doppler) - 400 MHz (ionósfera)
- Cuando el satélite se acerca, frecuencia mayor
- TCA, frecuencia igual a la transmitida
- Cuando el satélite se aleja, frecuencia menor



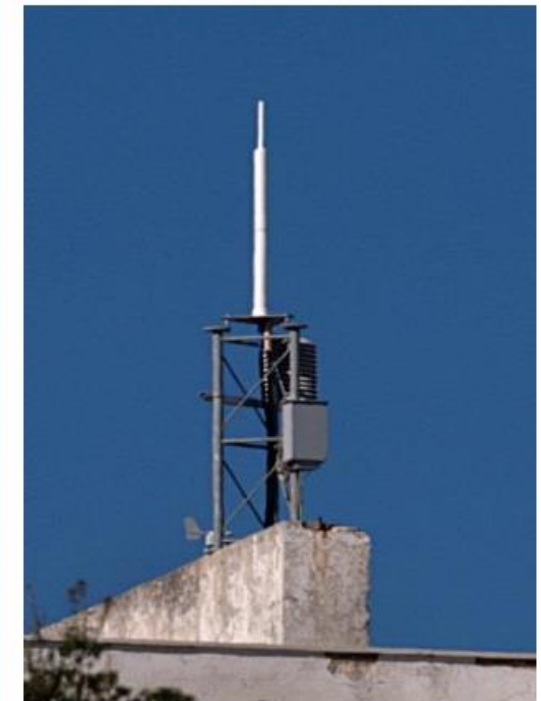
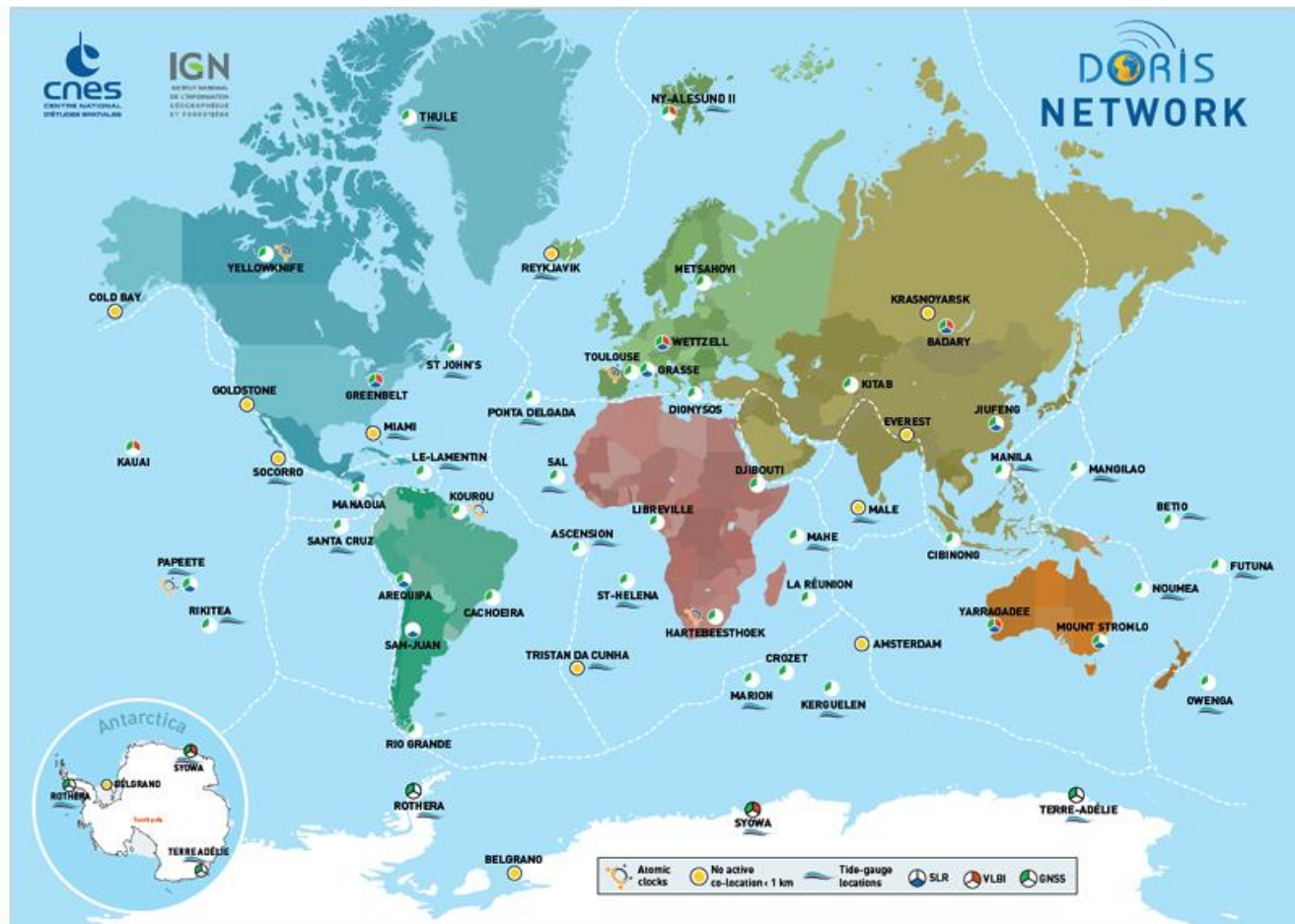
Tiempo Aproximación más Cercano



# DORIS - Constelación



# DORIS - Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite

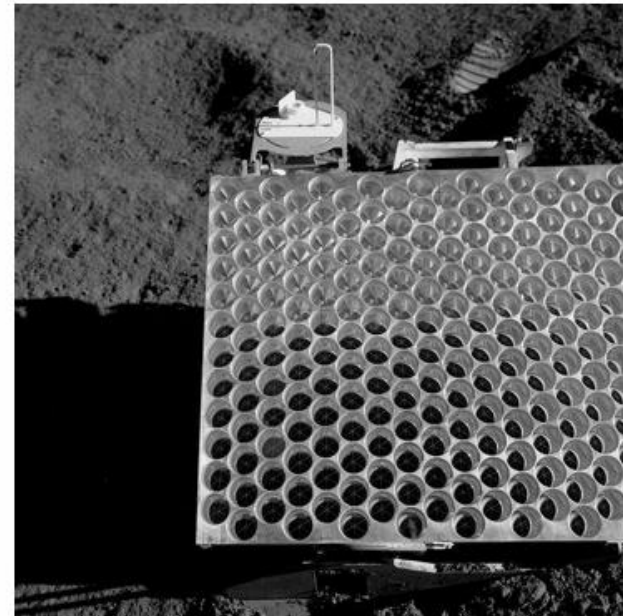
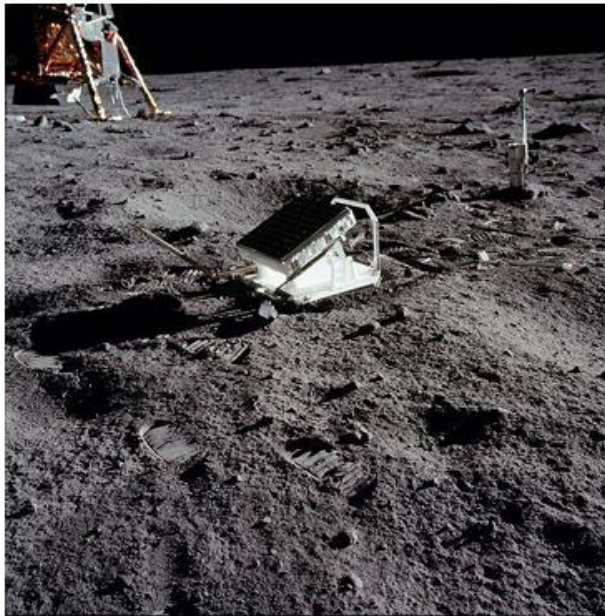


DISTRIBUCIÓN HOMOGÉNEA

# LLR - Lunar LASER Ranging

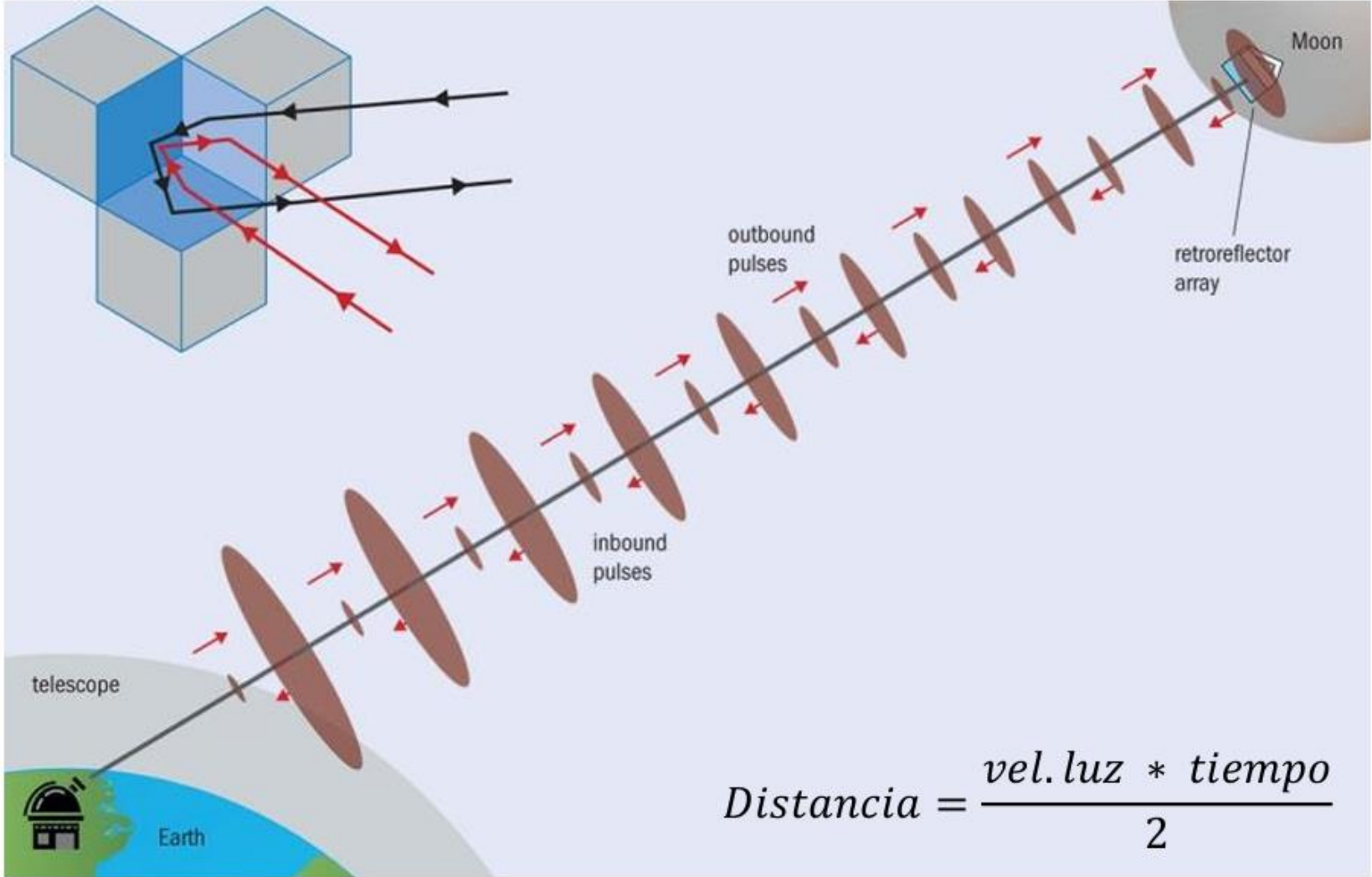
## Telemetría LASER sobre la Luna

- Mide distancia entre la Tierra y la Luna
- Retroreflectores colocados en las misiones Apolo y Lunokhod



<http://lunarnetworks.blogspot.com/2013/11/lunar-laser-ranging-millimeter-challenge.html>

# LLR - Lunar LASER Ranging

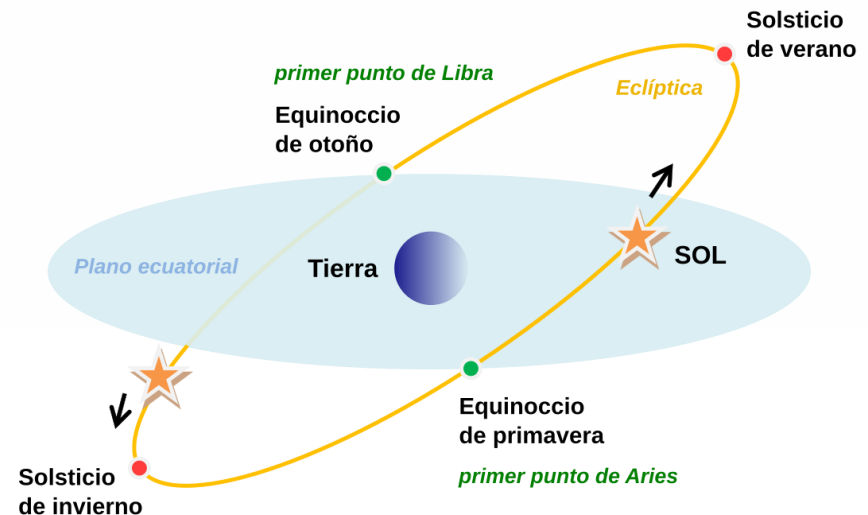


# LLR - Lunar LASER Ranging

Se determinan:

- Distancia Tierra-Luna,
- Órbita lunar,
- Parámetros de orientación Tierra-Luna con respecto al Sol,
- Oblicuidad de la eclíptica,
- Materialización del sistema de referencia aunque con errores de varios centímetros....

↓  
Sistema más impreciso





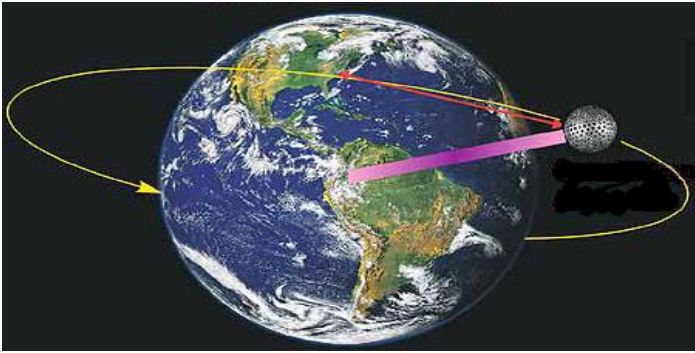
# SLR - Satellite LASER Ranging

## Telemetría LASER sobre satélites

- El mismo principio que LLR
  - Satélites son mas estables que la Luna y se conoce su centro de masa.
- Telescopios en Tierra envían pulsos LASER a retroreflectores posicionados en satélites.
- Longitud de onda del haz LASER emitido: 532 nanómetros

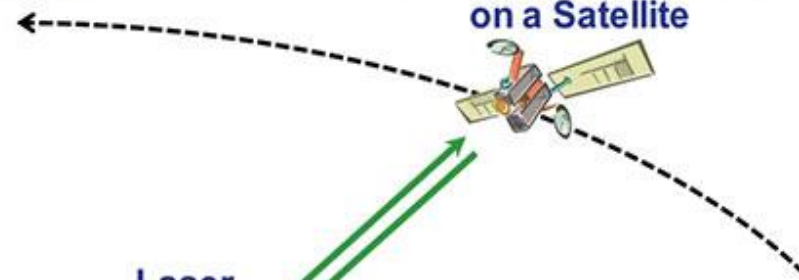


# SLR



Satellite  
Orbit

Laser Reflector Array  
on a Satellite



Laser  
Pulse

mide intervalos de tiempo de pulsos  
de luz láser (ida y vuelta) a satélites

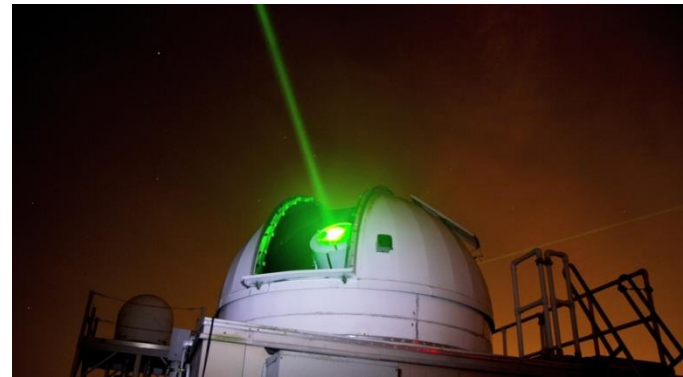
Laser Ranging  
Station



telescopio óptico, apertura de 50 cm

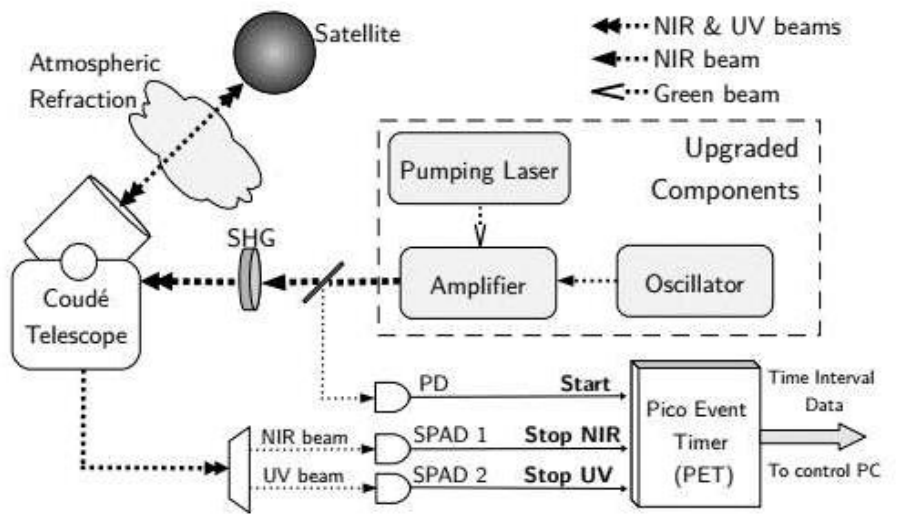
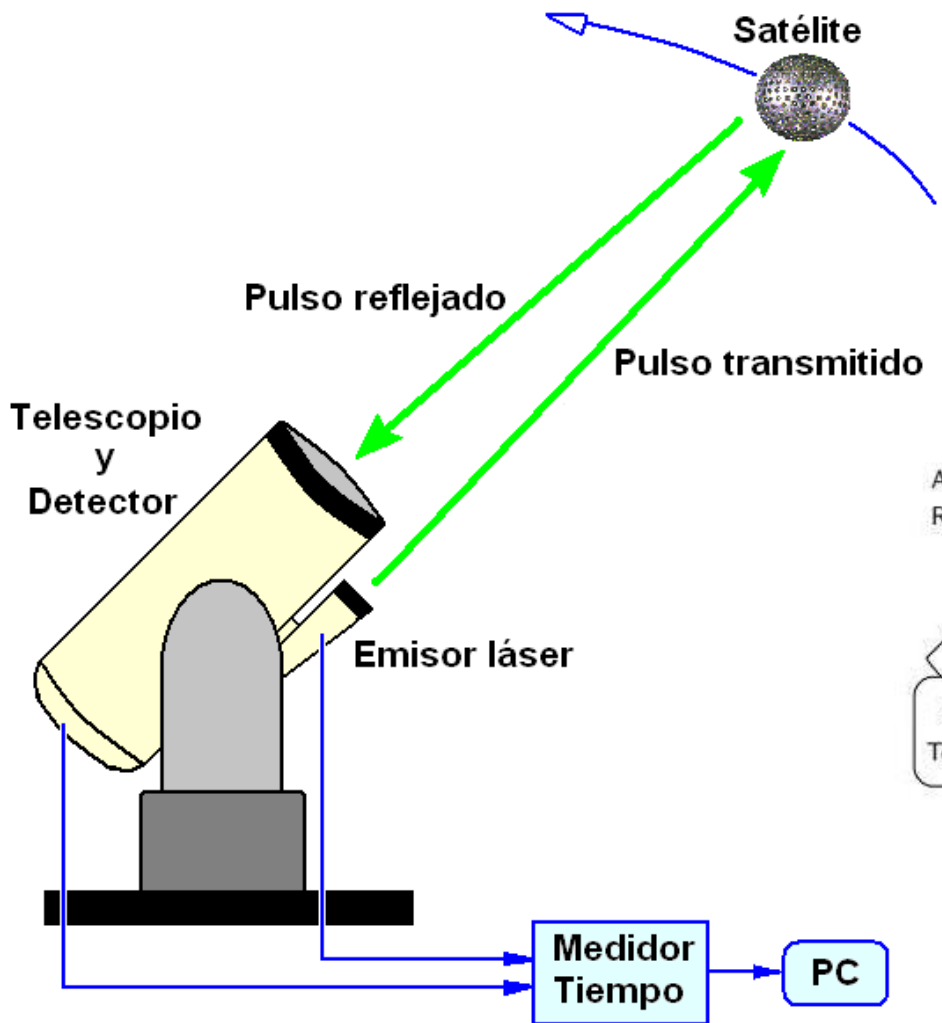


sistema láser system, 15mJ, 40ps, 100Hz



# Ecuación de observación SLR

$$\frac{1}{2} c \tau_A^S = || R_{EOP} r_A(t^S) - r^S(t^S) || + \delta\rho_{trop} + \delta\rho_{bias} + \delta\rho_{rel} + \delta\rho_{CoM} + \varepsilon_A^S$$



# SLR - Satellite LASER Ranging

Se determinan:

- La definición de la posición del centro de masa de la Tierra,
- Posición geocéntrica de los satélites,
- Parámetros orbitales terrestres,
- Correcciones a modelos de rotación,
- Medición de precisión de la escala del sistema de referencia,
- Variaciones gravitatorias,
- Desplazamiento de placas tectónicas....

# Aplicaciones SLR

- **Astronomía:**

- Precesión y Nutación
- Movimiento del Polo
- Rotación de la Tierra
- Orbitas Precisas de Satélites Artificiales
- Sistemas de Referencia Terrestre

- **Geofísica:**

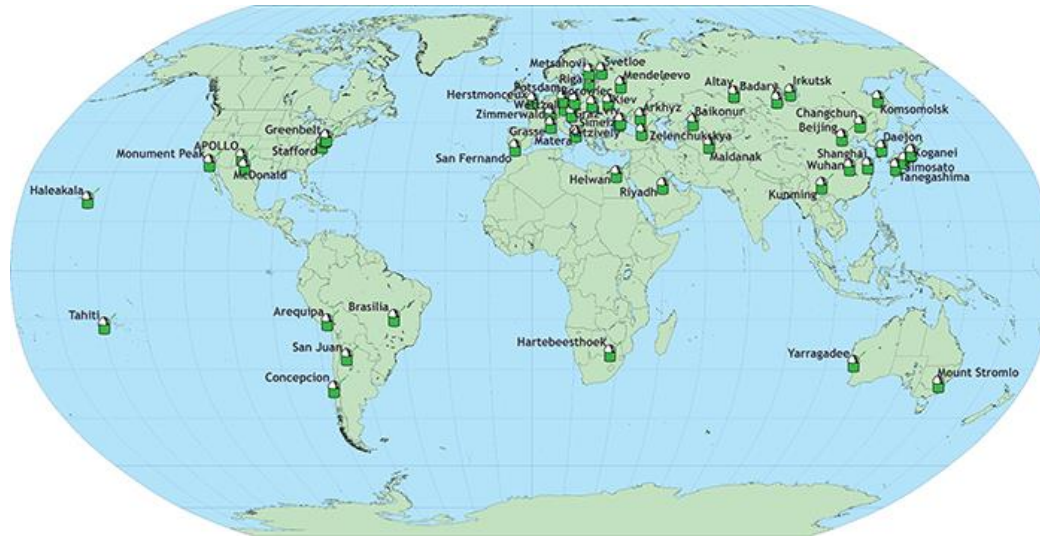
- Campo Gravitatorio Terrestre
- Fuerza Centrifuga
- Movimientos de Placas Tectónicas
- Sismicidad

- **Geodesia:**

- Geoide y forma de la Tierra
- Deflexión de la Vertical
- Geodesic Nets
- Sistemas de Referencia Geodésicos
- Calibración de Receptores GPS

# Satellite Laser Ranging, SLR

## Red Global de estaciones SLR participantes del ILRS



### Productos de ILRS:

- órbitas satelitales
- posición del centro de la masa de la Tierra
- geoide
- servicio de calibración para altímetros satelitales y para relojes atómicos satelitales

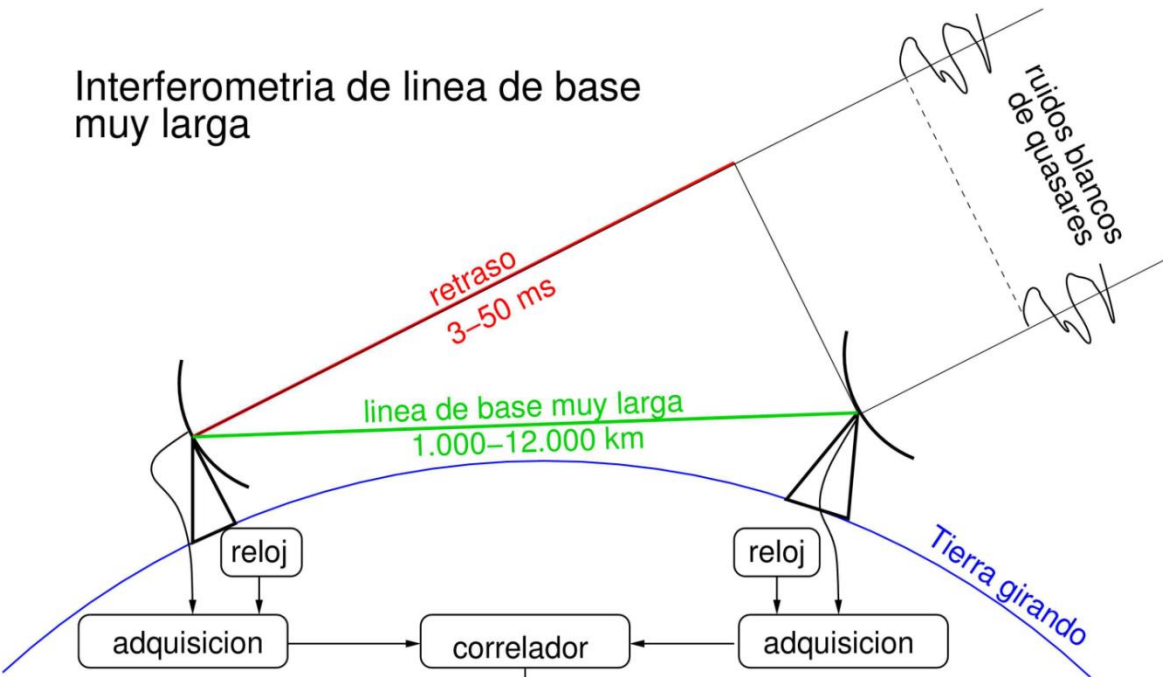
# Observatorios SLR en América del Sur



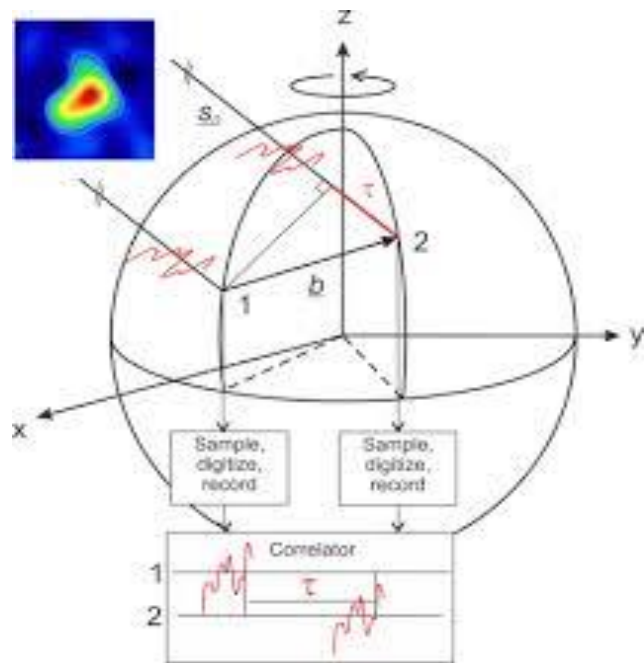
# Very Long Baseline Interferometry (VLBI)

## Interferometría de línea de base muy larga

Interferometría de línea de base muy larga



frecuencia, amplitud, fase  
retraso, deriva



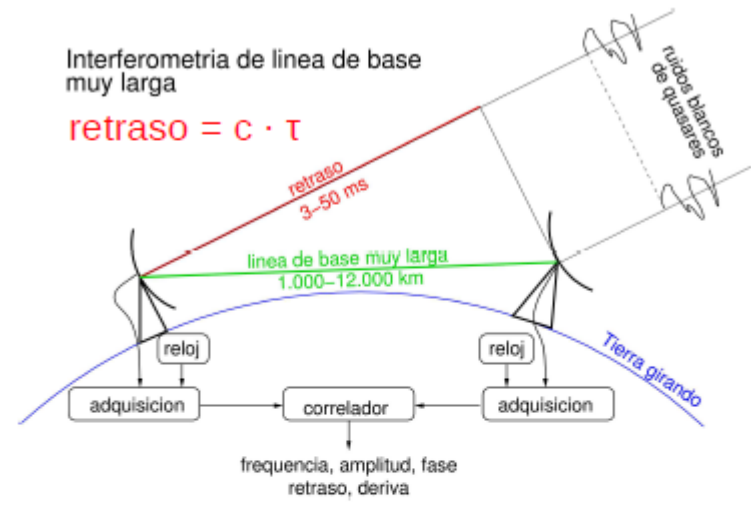


# Ec. Observación VLBI

$$\tau = -\frac{1}{c} \mathbf{b} WSNP \mathbf{k}$$

EOP: parametros de la orientación de la tierra

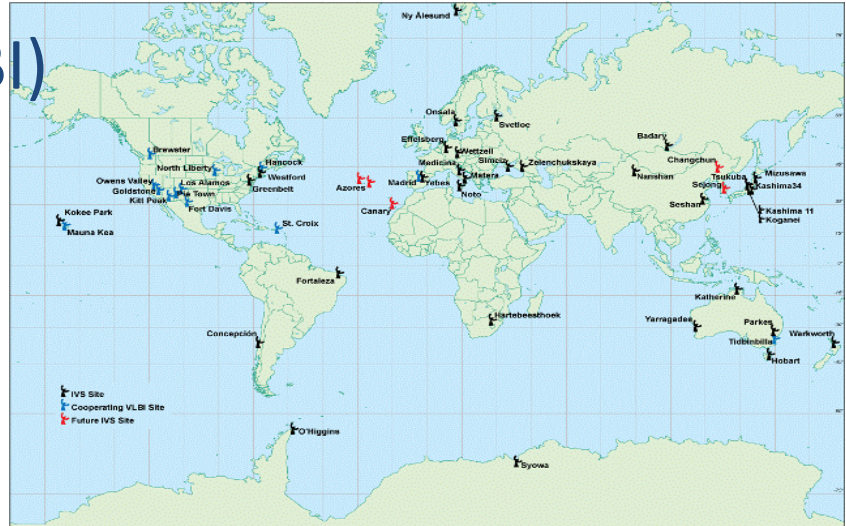
- $\mathbf{b}$  vector de linea de base entre dos estaciones VLBI
- $\mathbf{k}$  vector unitario a la fuente de la emisión
- $W$  matrix para el movimiento polar
- $S$  matrix para el spin diario
- $N$  matrix para la nutación
- $P$  matrix para la precesión



## IVS (Servicio Internacional de VLBI)

### Productos de IVS:

- parametros de la orientación de la Tierra
- monitoreo del cambio global
- tectónica continental
- sistema de referencia celeste

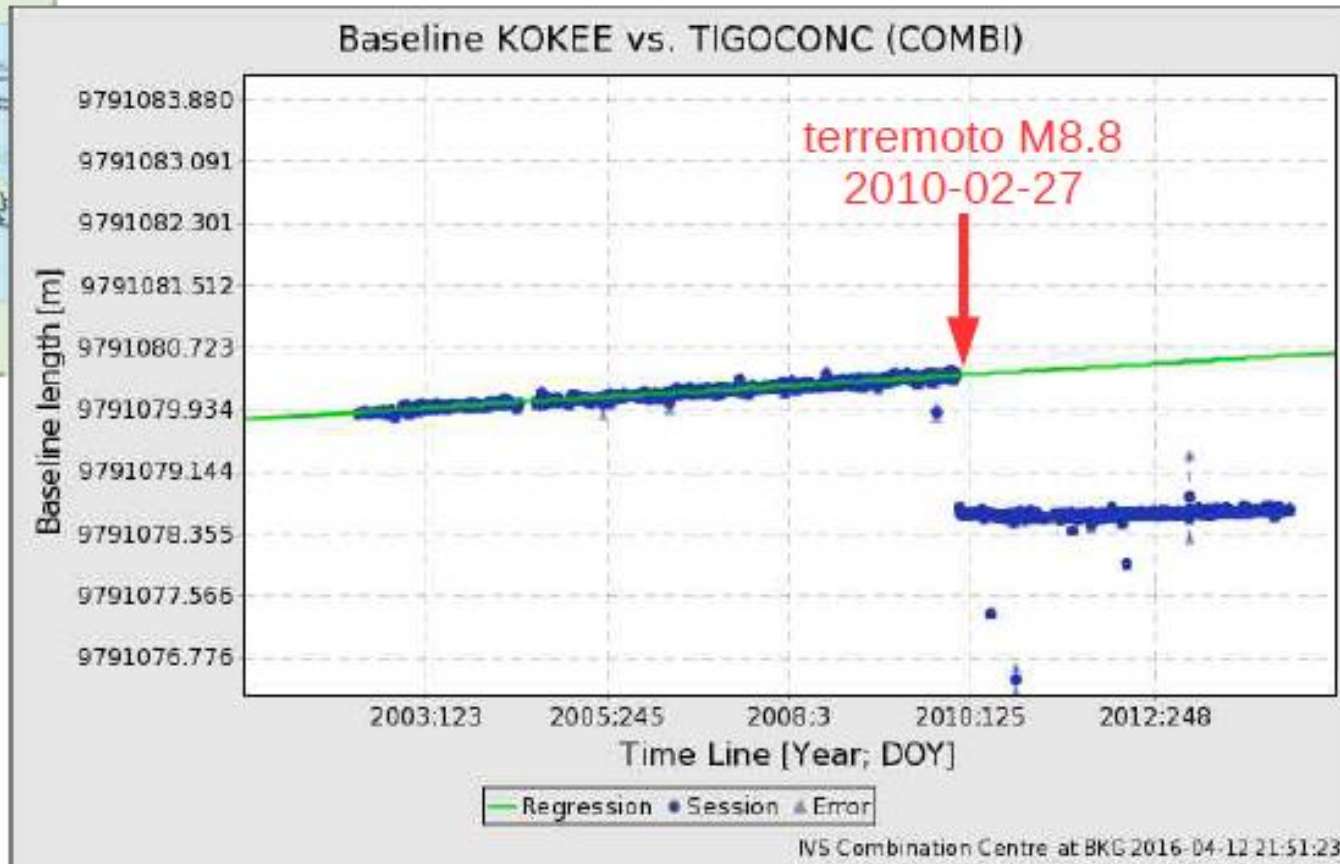


# VLBI - Very Long Baseline Interferometry

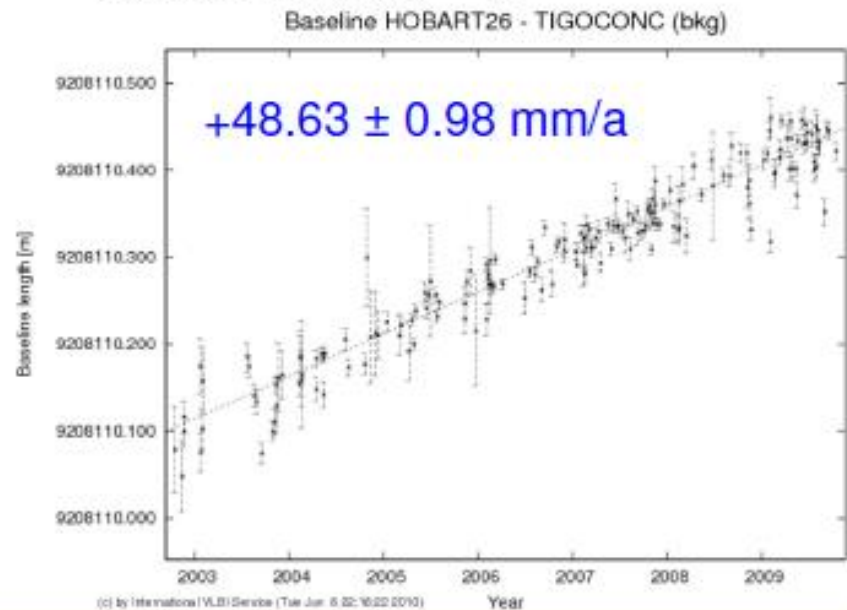
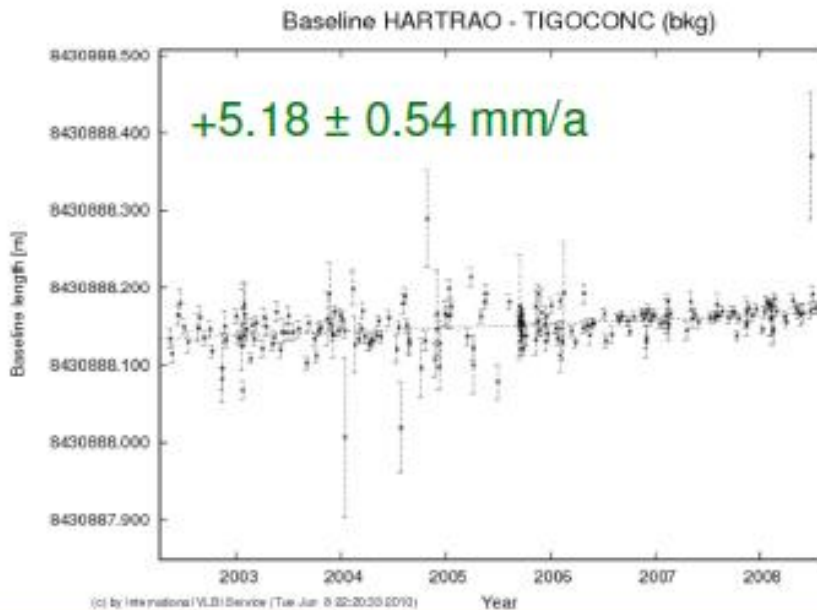
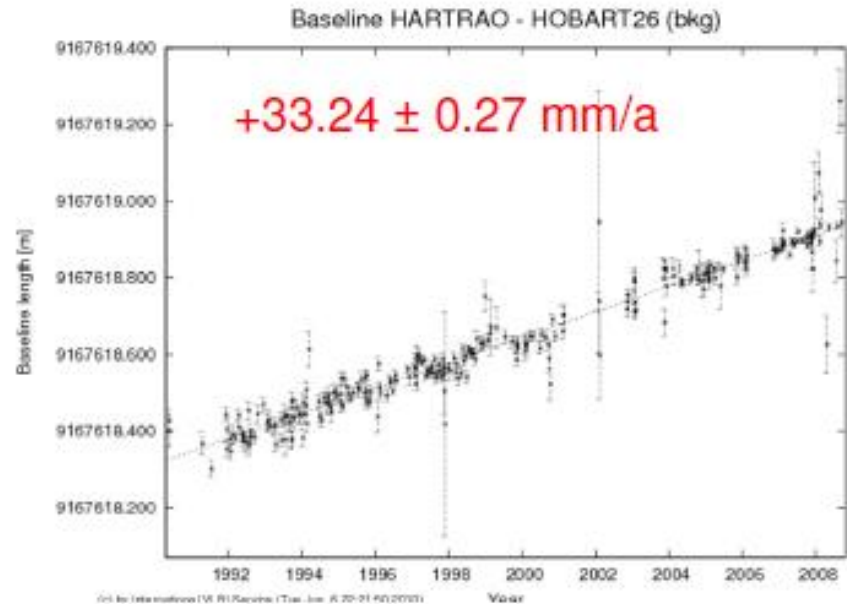
Se determinan:

- Parámetros de Orientación de la Tierra,
- Coordenadas de las estaciones VLBI en el Sistema ITRS,
- Coordenadas de las radio fuentes en el sistema ICRS,
- Información sobre la ionosfera y la troposfera....

# VLBI también mide deformaciones



# VLBI en el monitoreo de Placas



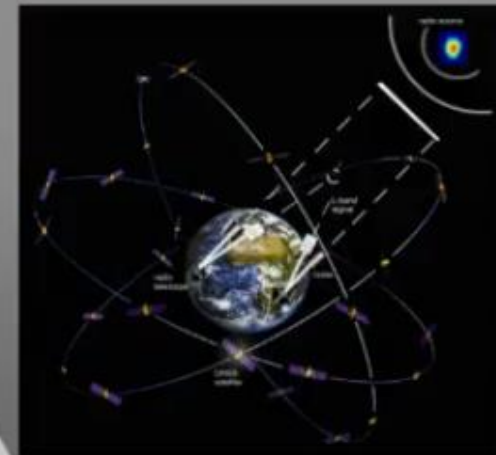
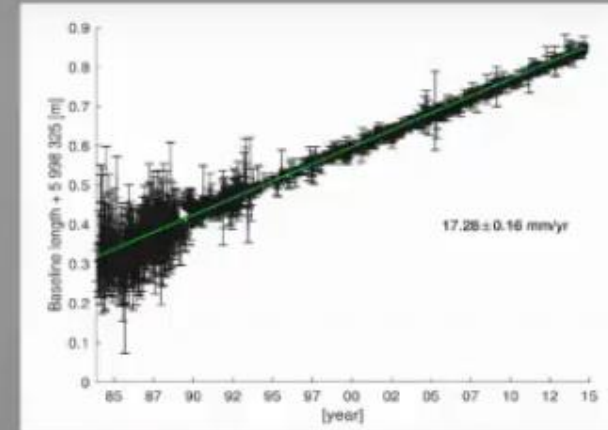
# ANTENAS

Característica	Radiotelescopio de Wettzell	Radiotelescopio de Westford	Radiotelescopio de AGGO	Radiotelescopio Cart
País	Alemania	EEUU	Argentina	Argentina
Año	1982/83	1981	2018	En construcción
Diámetro del plato	20 m	18,3 m	6 m	40 m
Bandas	- Banda X (8,4 GHz) - Banda S (2,3 GHz)	2 a 14 GHz	- Banda X (entre 8.1 y 8.9 GHz) - Banda S (entre 2.20 y 2.35 GHz)	1 a 43 GHz



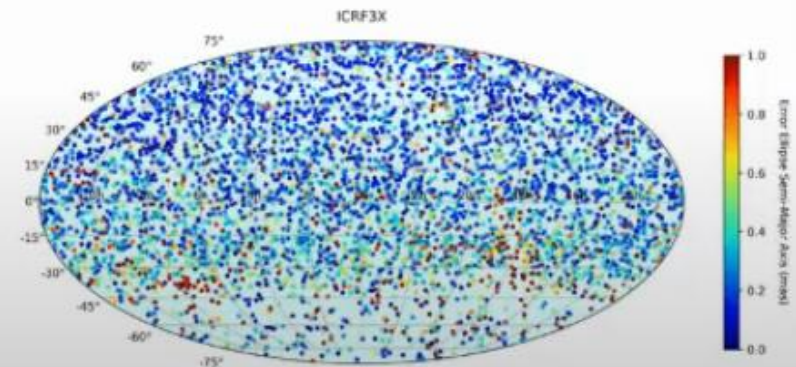
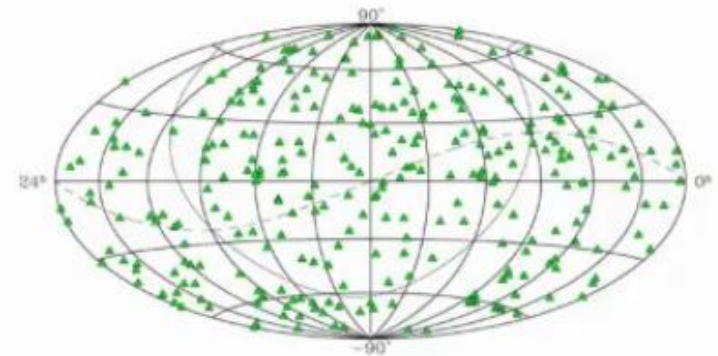
# APLICACIONES

- Imágenes de radio de alta resolución de fuentes de radio cósmicas.
- Definición del marco de referencia celeste.
- Movimiento de las placas tectónicas de la Tierra.
- Deformación regional y levantamiento o hundimiento local.
- Variaciones en la orientación de la Tierra y la duración del día.
- Mantenimiento del marco de referencia terrestre.
- Mejora de modelos atmosféricos.
- Seguimiento de sondas espaciales.
- Mejora la precisión de la técnica GNSS, mediante la determinación precisa de la orientación de la Tierra.



# MARCOS DE REFERENCIA CELESTES

Característica	ICRF1	ICRF2	ICRF3
Año	1997	2009	2018
Cantidad de fuentes extragalácticas usadas	608	3.414	4.536
Cantidad de fuentes extragalácticas definitorias	212	295	303



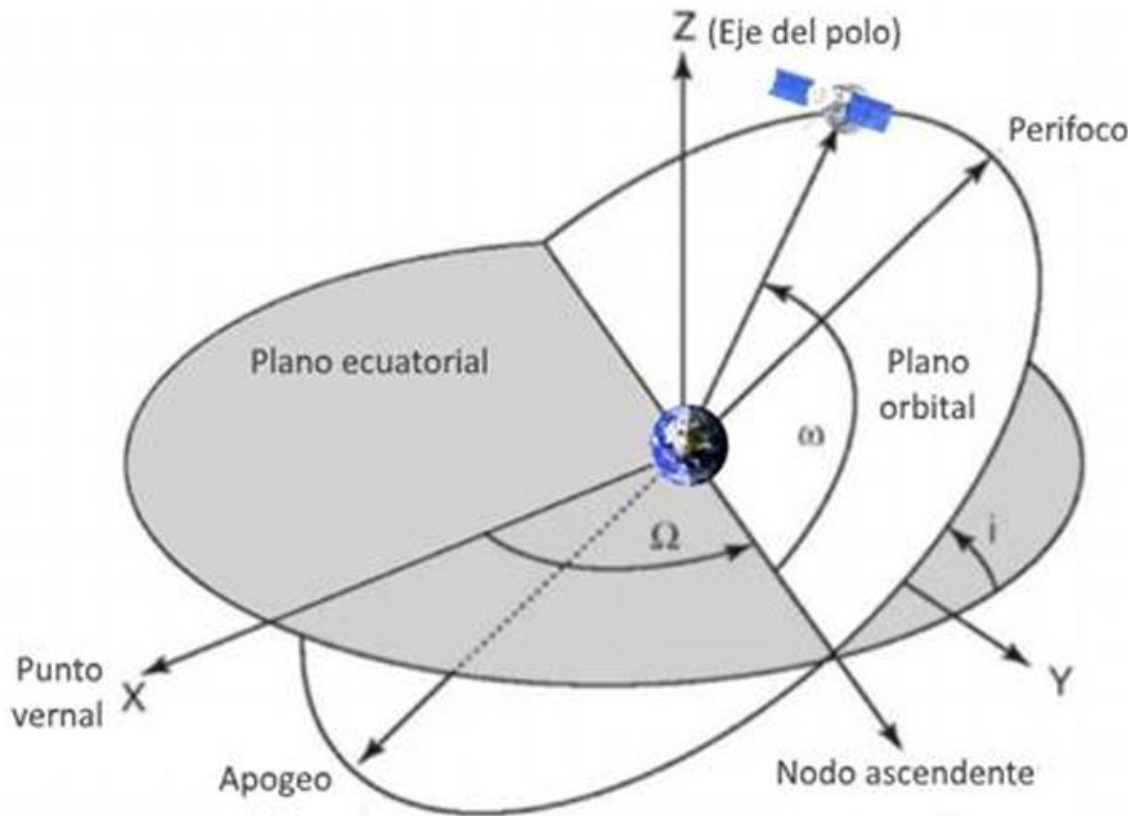
# Global Navegation Satellite System

- Orígenes
- Aplicaciones
- Precisiones





# GNSS - Global Navigation Satellite System



Donde

$i$ : Inclínación de la órbita

$\Omega$ : ascensión recta del nodo ascendente

$\omega$ : distancia angular del nodo al perifoco (punto más cercano del sistema Tierra-satélite)

# GNSS - Global Navigation Satellite System

Se determinan:

- Órbitas GNSS precisas,
- Parámetros de rotación terrestre,
- Coordenadas y velocidades de las estaciones de rastreo...

# IGS - International GNSS Service



IGS Tracking Network (<http://igsceb.jpl.nasa.gov>)

# Estación Permanente GNSS

- Punto materializado (Pilar)
- Coordenadas conocidas.
- Receptor GPS geodésico
- Antena geodésica
- Institución responsable.
- Centro de datos- Almacena y administra datos.
- Sistema de alimentación de energía

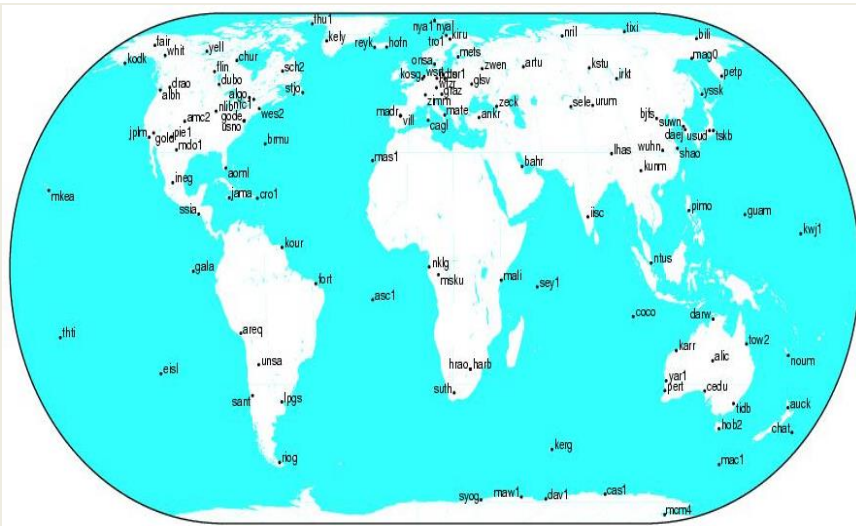


# Materialización ITRF

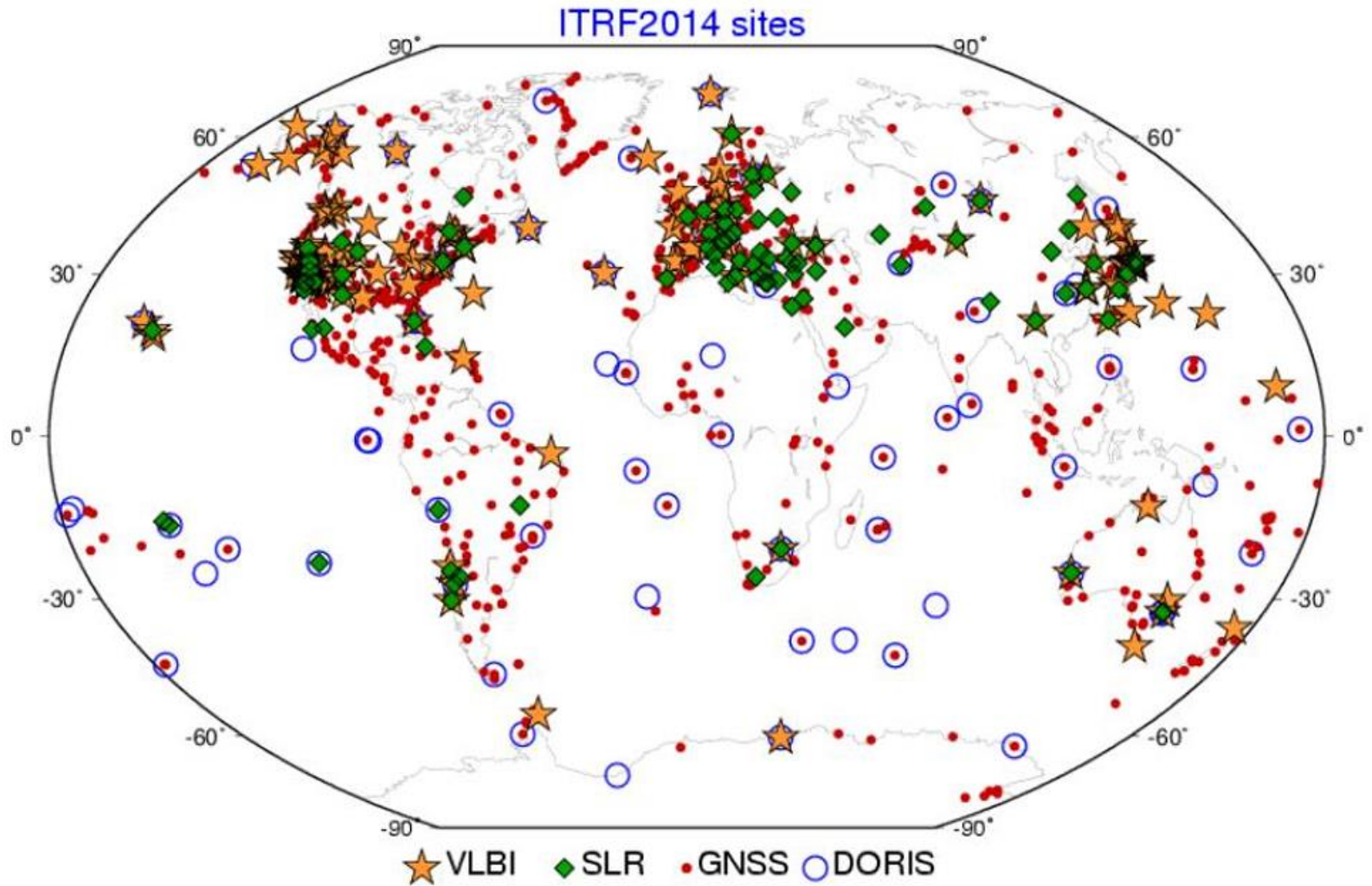
- Coordenadas cartesianas y velocidades de estaciones fundamentales en Tierra
  - VLBI
  - SLR
  - LLR
  - GNSS
  - DORIS
- Cada técnica define un marco de referencia
- Determinan
  - EOPs
  - Velocidades
  - Posición de los ejes

} Para una época dada

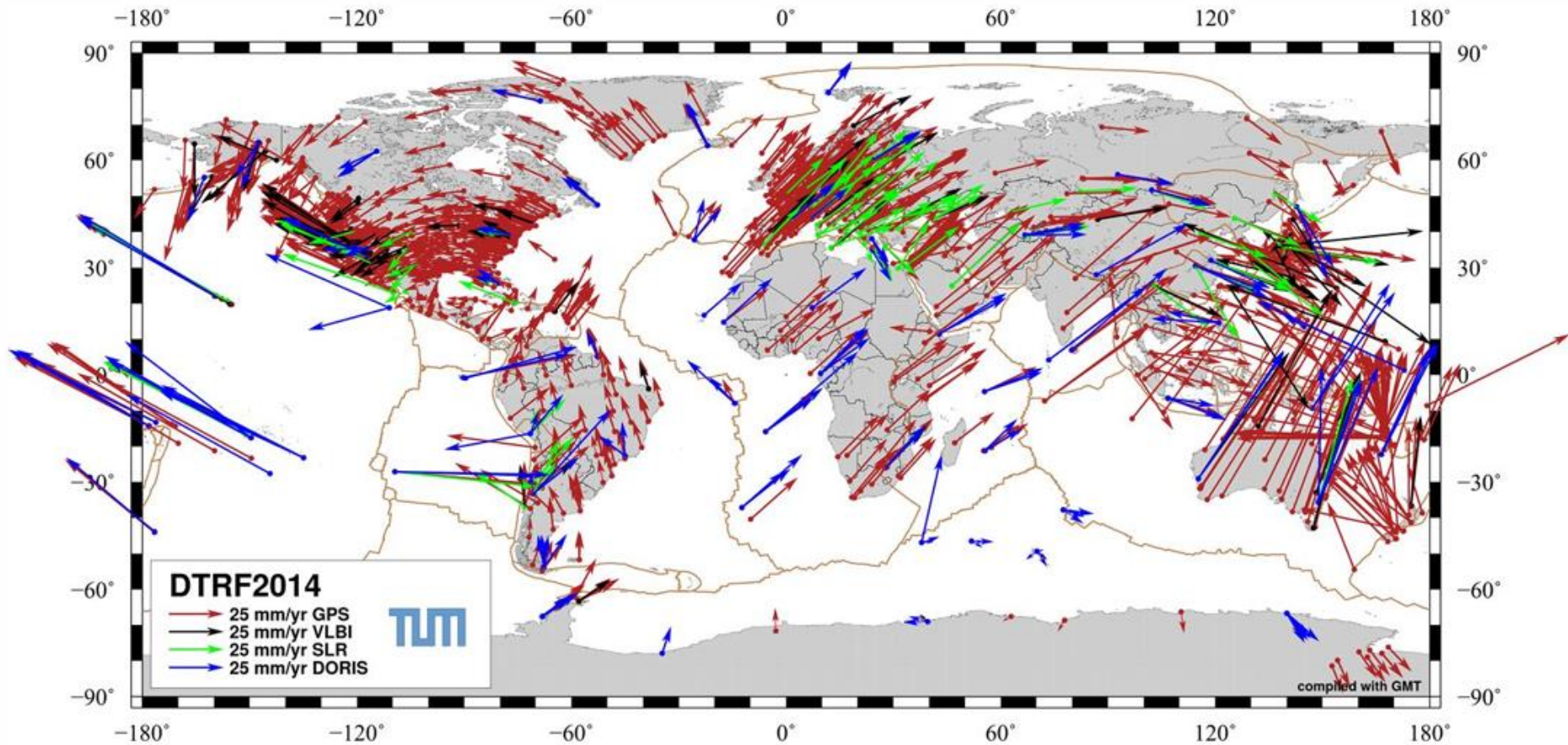
# Las 4 técnicas participan en la materialización del ITRS: los ITRF



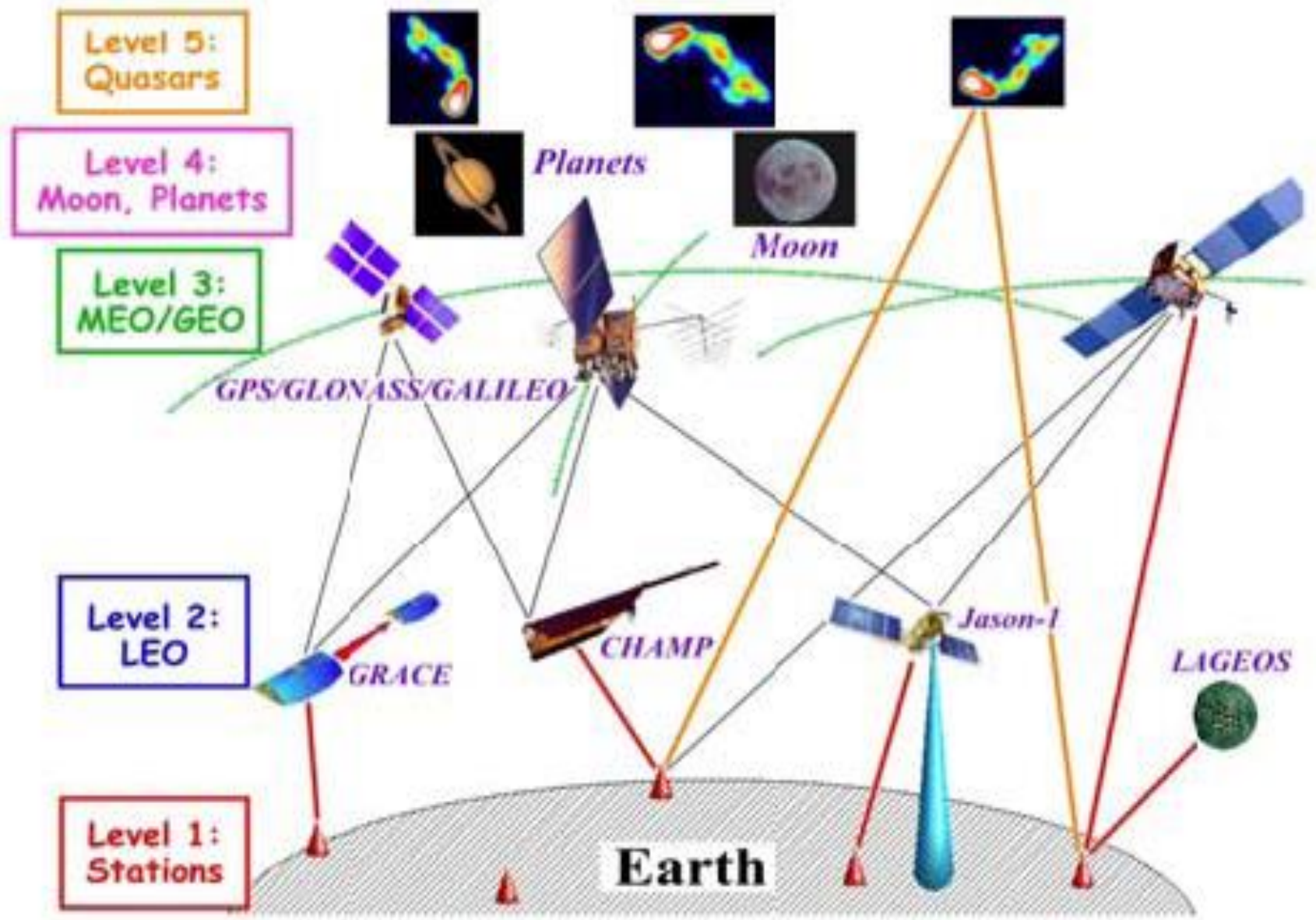
# Materialización ITRF14



# Mapa de velocidades





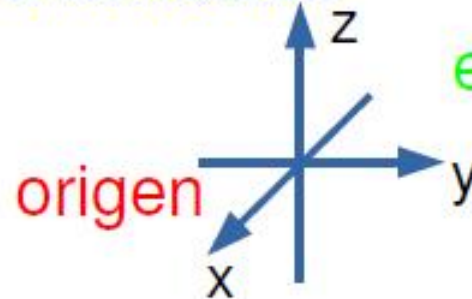


# OBSERVATORIOS GEODÉSICOS FUNDAMENTALES

espacio



orientación



[VISITA VIRTUAL AGGO](#)

tiempo



campo gravitacional



# Laboratorio de Tiempo y Frecuencia, BIPM

3 Normales de Cesio, 2 Receptores de GPS, 2 Maser Hidrógeno



# GRAVÍMETRO RELATIVO SUPERCONDUCTOR

MIDE MAREAS TERRESTRES = DELTA ENTRE CENTRO DE MASA Y LA SUPERFICIE TERRESTRE.

LA TIERRA, VISCO-ELÁSTICA ES CONTINUAMENTE DEFORMADA POR:

- LA LUNA
- EL SOL
- LOS PLANETAS
- VARIACIONES DE PRESIÓN DE AIRE
- MAREAS

RESOLUCIÓN: 10 nGal  $\rightarrow$  0,03 mm

PRINCIPIO:

ESFERA FLOTA EN UN CAMPO MAGNÉTICO LIBRE Y SUELTO, EL CUAL ES PRODUCIDO POR CORRIENTES EN BOBINAS SUPERCONDUCTORAS A  $-268^{\circ}$  C.

ÚNICO INSTRUMENTO EN AMÉRICA LATINA!



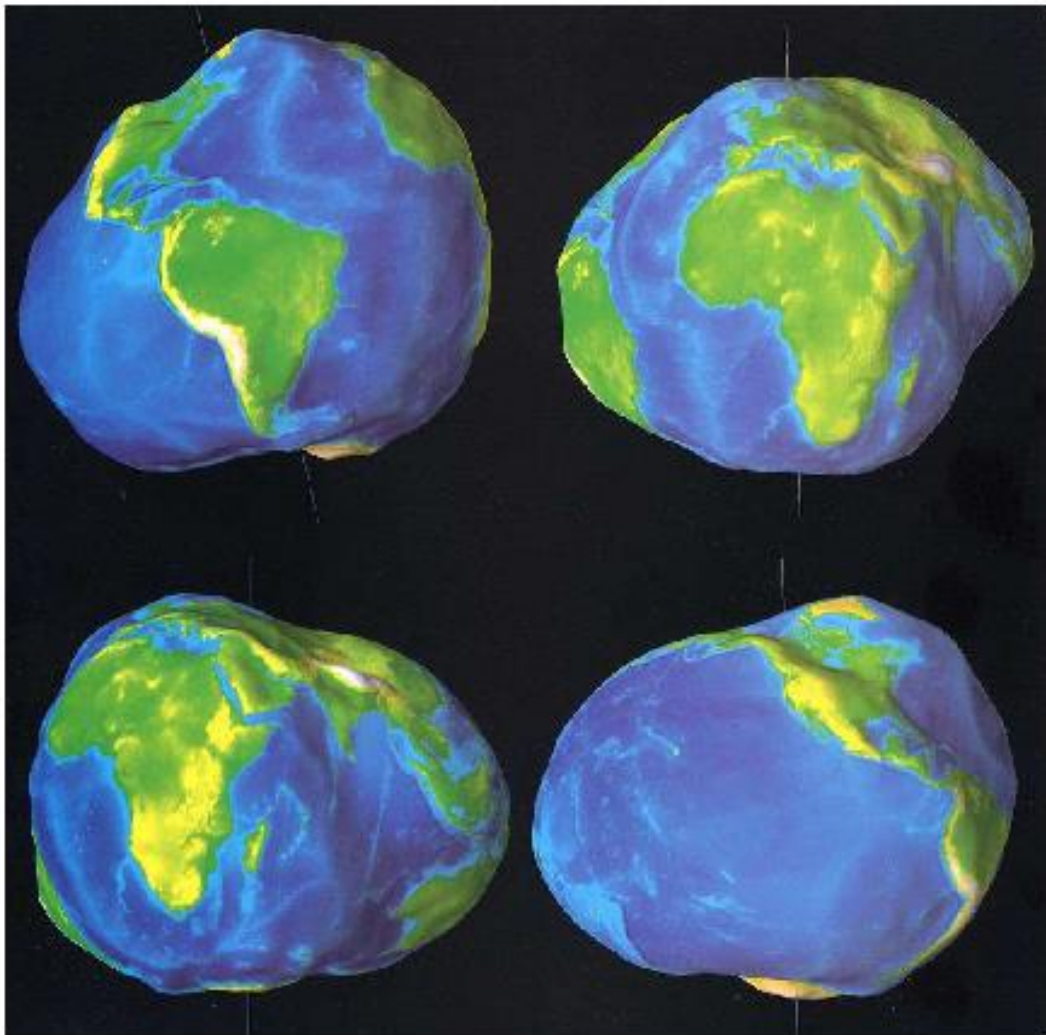
# Gravímetro Absoluto



3 microgal = 1 cm

- mide la gravedad absoluto  
 $g = 979924069,75 \mu\text{Gal}$
- resolución: 10 nGal
- operable desde 05/06
- principio: caída libre
  - distancia: interferometría
  - intervalo de tiempo: reloj atómico
- define un punto de referencia vertical

# Importancia de la Gravimetría



- La gravimetría define la referencia en el campo gravitacional.
- Es importante para definir sistemas verticales de referencia.
- Las mareas terrestres requieren de su observación.

Imagen 3D del  
geoide de la Tierra.

# Bibliografía

- Tomás, Roberto & Marchal, José & Lopez-Sanchez, Juan. (2005). Técnicas de Ingeniería Cartográfica empleadas en el estudio de subsidencia y movimientos de ladera: principales características y análisis comparativo.
- Seeber Gunter
- Apuntes Cursillo Preparatorio de Geodesia Satelital
- Mackern M.V., Apuntes Geodesia II, UMaza