



CENTRO DE EXCELENCIA GEODÉSICO MUNDIAL DE LAS NACIONES UNIDAS

**MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFERENCIA
GEOESPACIAL
TALLER DE DESARROLLO DE CAPACIDADES**

**Introducción a la Infraestructura de Sistemas de
Referencia Geoespaciales**

**Nicholas Brown
Jefe de oficina, UN-GGCE**

CÓMO

Día 1, Sesión 2 [\[1 3 1\]](#)

Agradecimientos: Zuheir Altamimi (FRA); Detlef Angerman (TUM); Johannes Bouman (GER); Jan Dostal (UN-GGCE); Richard Gross (NASA); Anna Riddell (AUS); Laura Sánchez (TUM); Jeffrey Verbeurgt (BEL).

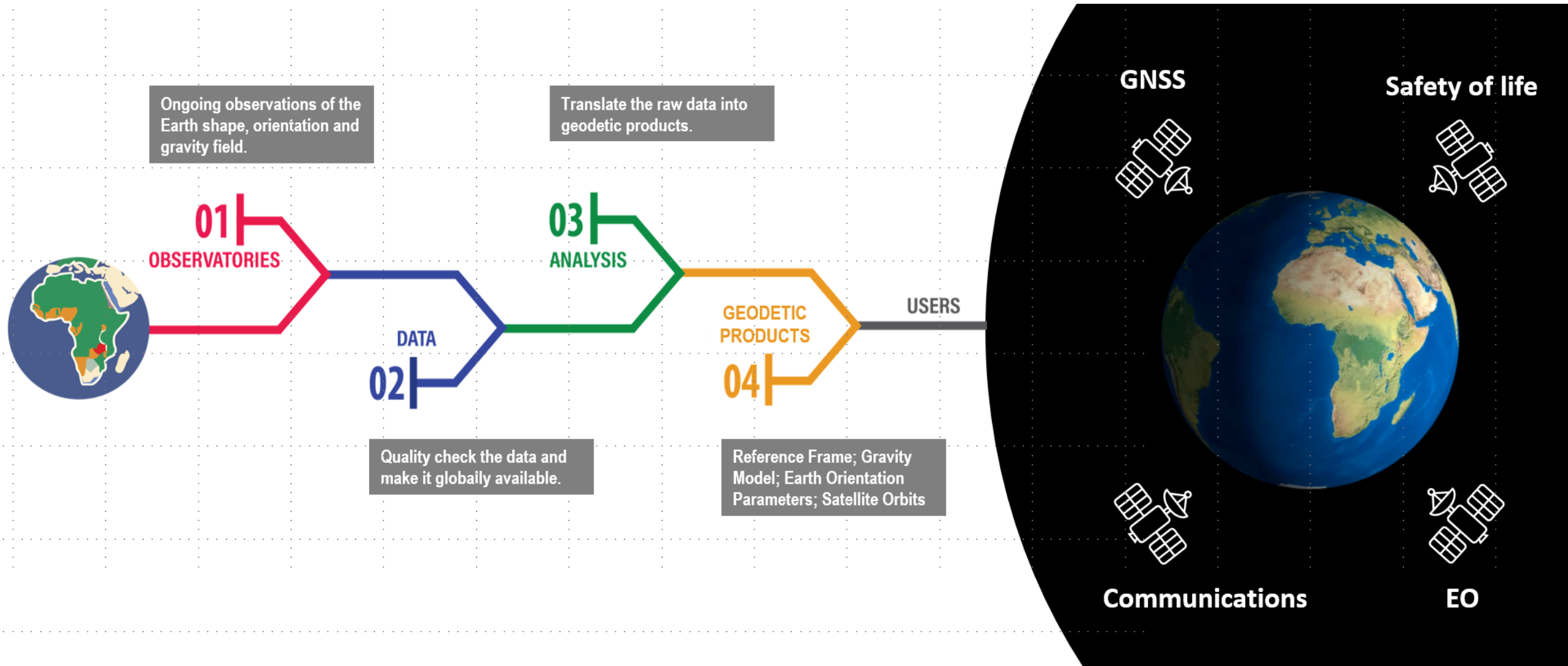
Summary

- The Earth is dynamic. We must continuously monitor it because we need to know the 'place in space' of the Earth and satellites and at all times for accurate and reliable satellite services.
- Important geodetic ground infrastructure for reference frame creation includes Very Long Baseline Interferometry, Satellite Laser Ranging, Global Navigation Satellite Systems, DORIS and gravimetry. These techniques are complementary.
- Current geodetic ground infrastructure challenges include a northern hemisphere bias, aging technology and an overreliance on in-kind support.
- Stronger governance systems are needed both internationally and within Member States.



**STRONGER.
TOGETHER.**

Cadena mundial de suministro de geodesia



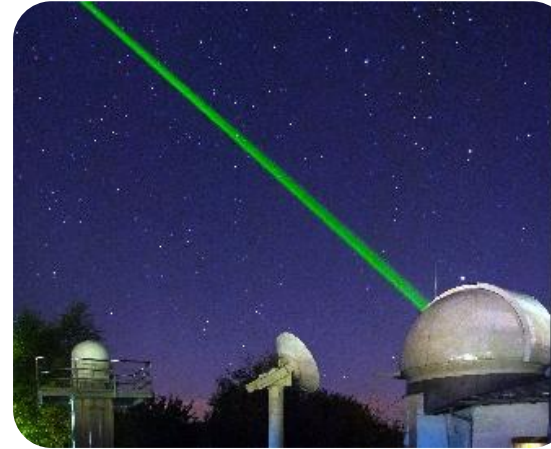
Técnicas geodésicas espaciales



VLBI

Interferometría de línea de base muy larga

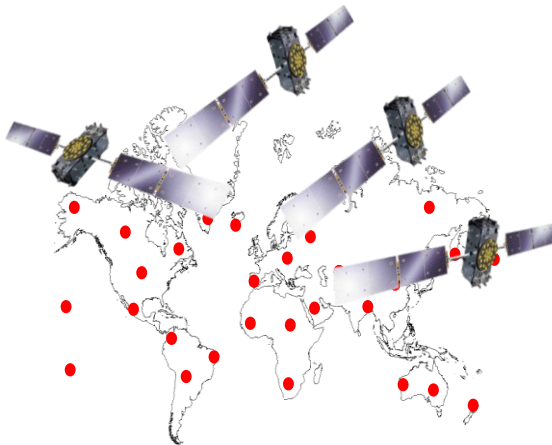
Rotación de la Tierra, coordenadas de las estaciones, posiciones de los cuásares



SLR

Telemetría láser de satélites

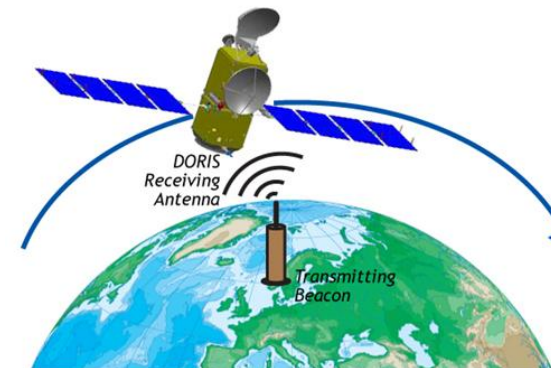
Órbitas de los satélites, coordenadas de las estaciones, rotación de la Tierra, centro de masa de la Tierra



GNSS

Sistemas mundiales de navegación por satélite (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou)

Coordenadas de la estación, rotación de la Tierra, Geodinámica



DORIS

Orbitografía Doppler y radioposicionamiento integrados por satélite

Órbitas de satélites, coordenadas de la estación, rotación de la Tierra, campo gravitatorio.

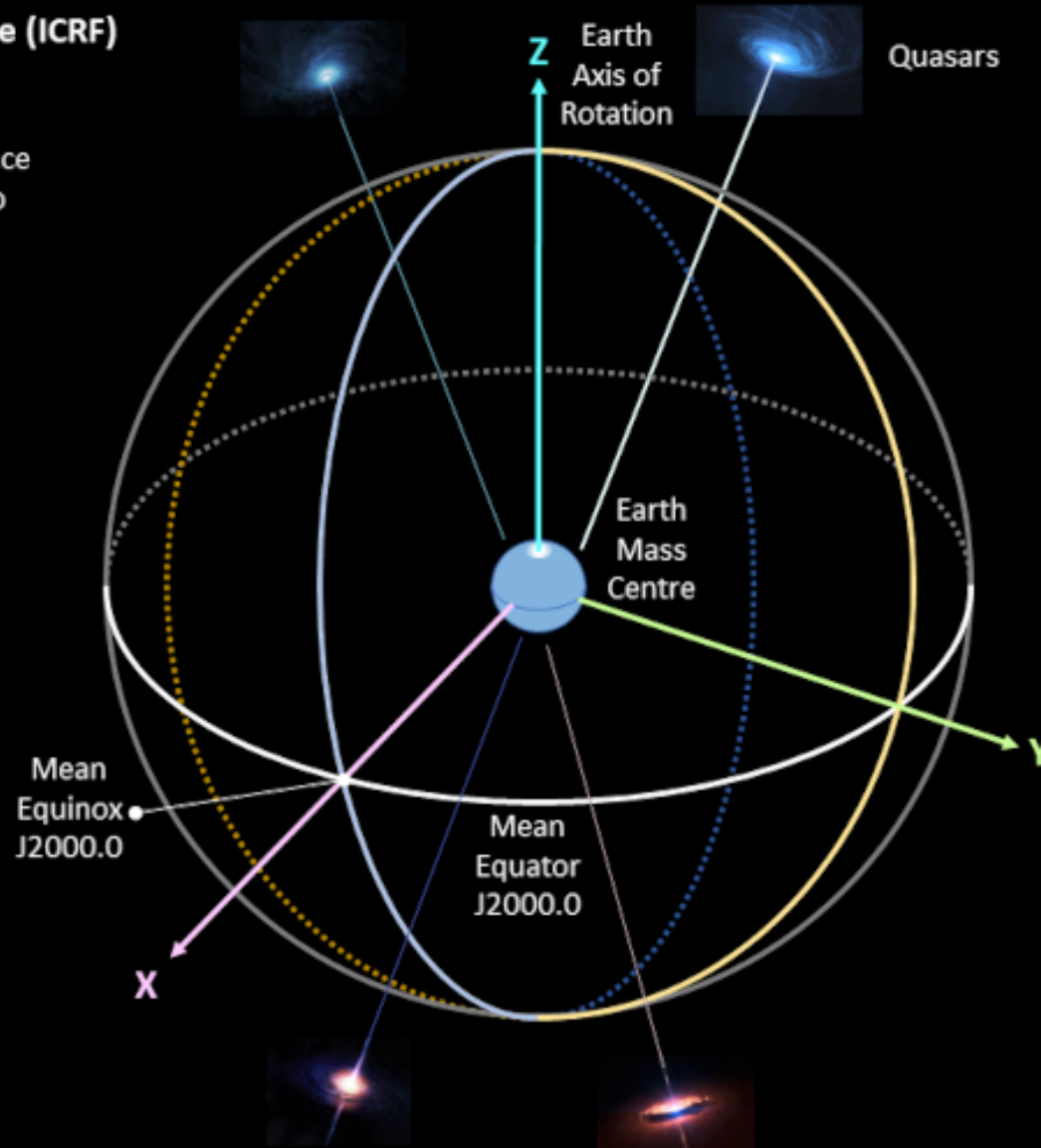
Marco de Referencia Celeste Internacional (ICRF)

International Celestial Reference Frame (ICRF)

The International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) was created in 1988 to establish and maintain a Celestial Reference Frame, the ICRF. The ICRF is defined by the position of significant celestial objects. Perhaps the most important of these are the so called radio-loud quasars. These are super massive black holes at the centre of galaxies that radiate huge amounts of energy. A quasar typically emits radiation with a unique signature - a pattern across the radiation spectrum. These quasars, to all intents and purposes, appear as fixed points in the sky and thus as fixed reference points in the ICRF.

J2000.0 is a standard Julian equinox and epoch - January 1, 2000 at 12:00 TT.

IERS iers.org
Rupert W Brown September 2021



Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF)

International Terrestrial Reference Frame (ITRF)

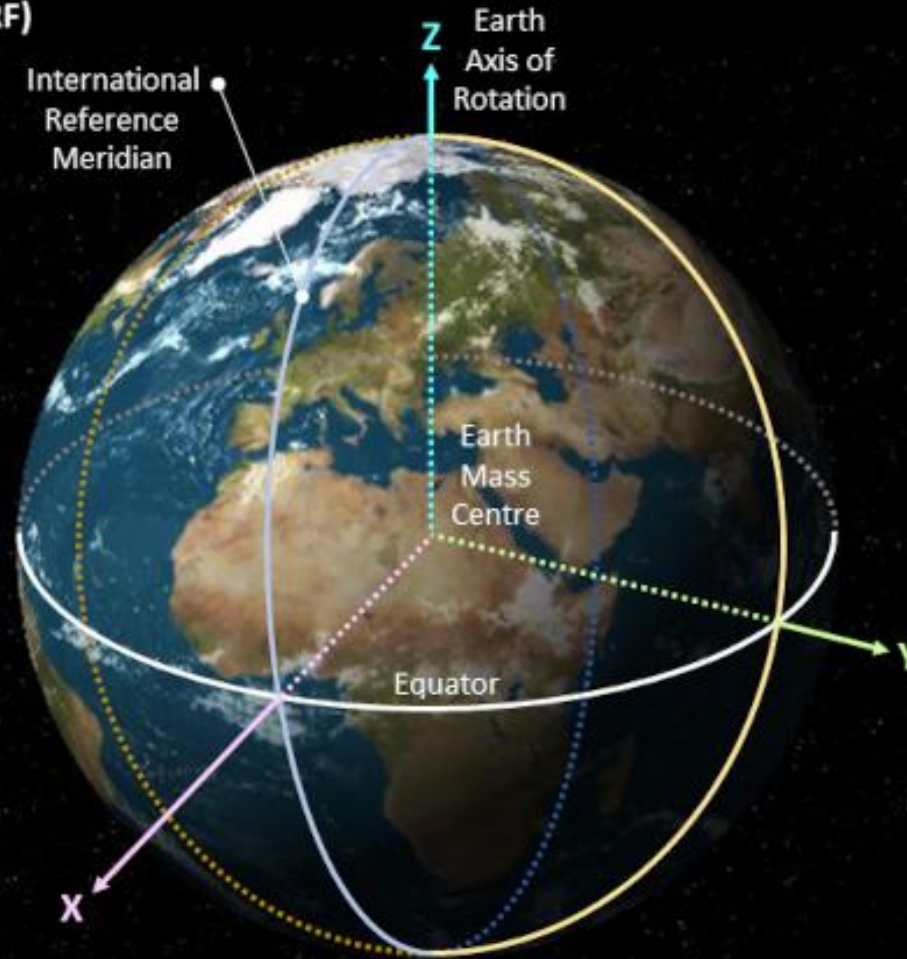
The IERS also maintains the Terrestrial Reference Frame, the ITRF. The ITRF is based on three axes, X, Y and Z with the origin placed at the Earth's centre of mass. The ITRF rotates with and as the Earth rotates across a day. A position in X, Y and Z coordinates can be converted to geographical coordinates (Longitude, Latitude and Height) using a geodetic datum such as WGS84 (world) or GDA2020 (Australia).

Curiously the Earth is not a perfect sphere. It's radius is bigger at the equator than it is at the poles. It also has lumpy gravity. If you ran an altimeter over Earth and plotted out all the points of equal gravity, the picture would look a bit like a potato. This gravity potato is called the geoid.



IERS iers.org
Rupert W Brown December 2021

The relationship between the ICRF and ITRF is defined by Earth **Orientación** Parameters (EOP).



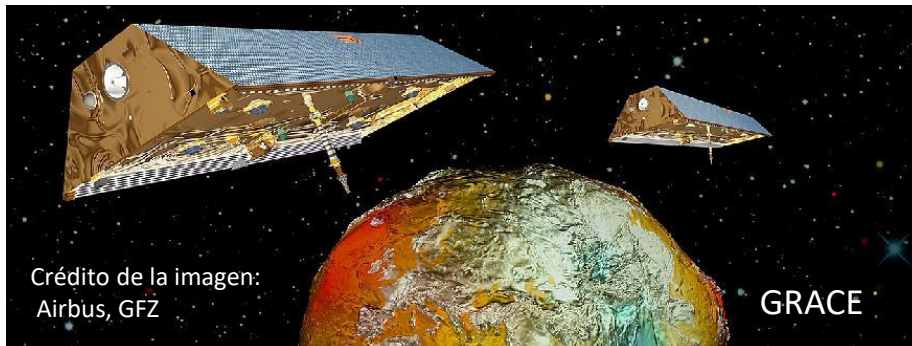
The International Reference Meridian runs approximately 100 m to the west of the original Greenwich Mean Meridian

Técnicas geodésicas

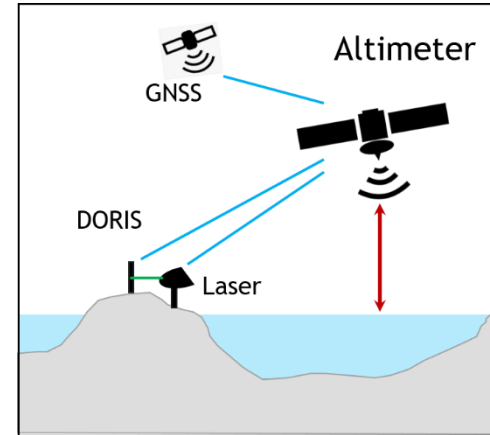


Gravimetría

Forma de la Tierra
Campo de gravedad
Valor cero para la altura
Transporte de masas
Ciclo del agua
Vigilancia del clima

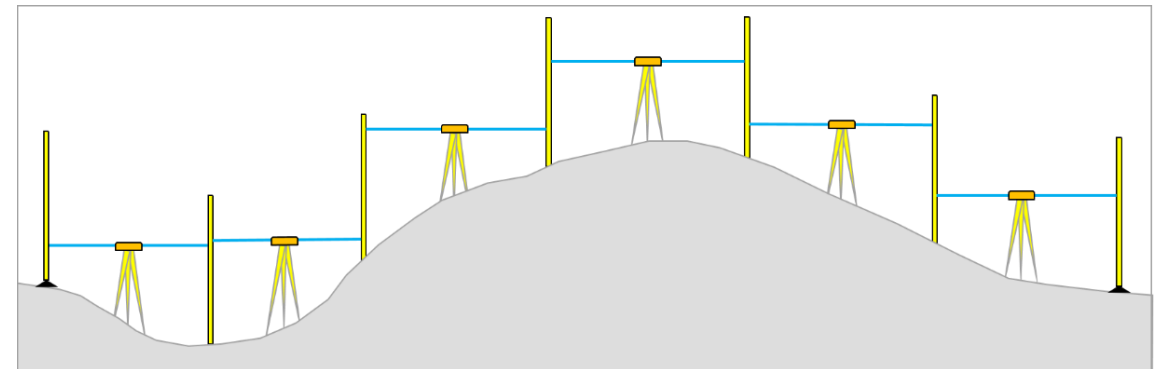


Crédito de la imagen:
Airbus, GFZ



Nivelación, Altimetría, Mareógrafos

Sistema de referencia vertical
Componente de altura
Nivel del mar



Técnicas de observación del ITRF



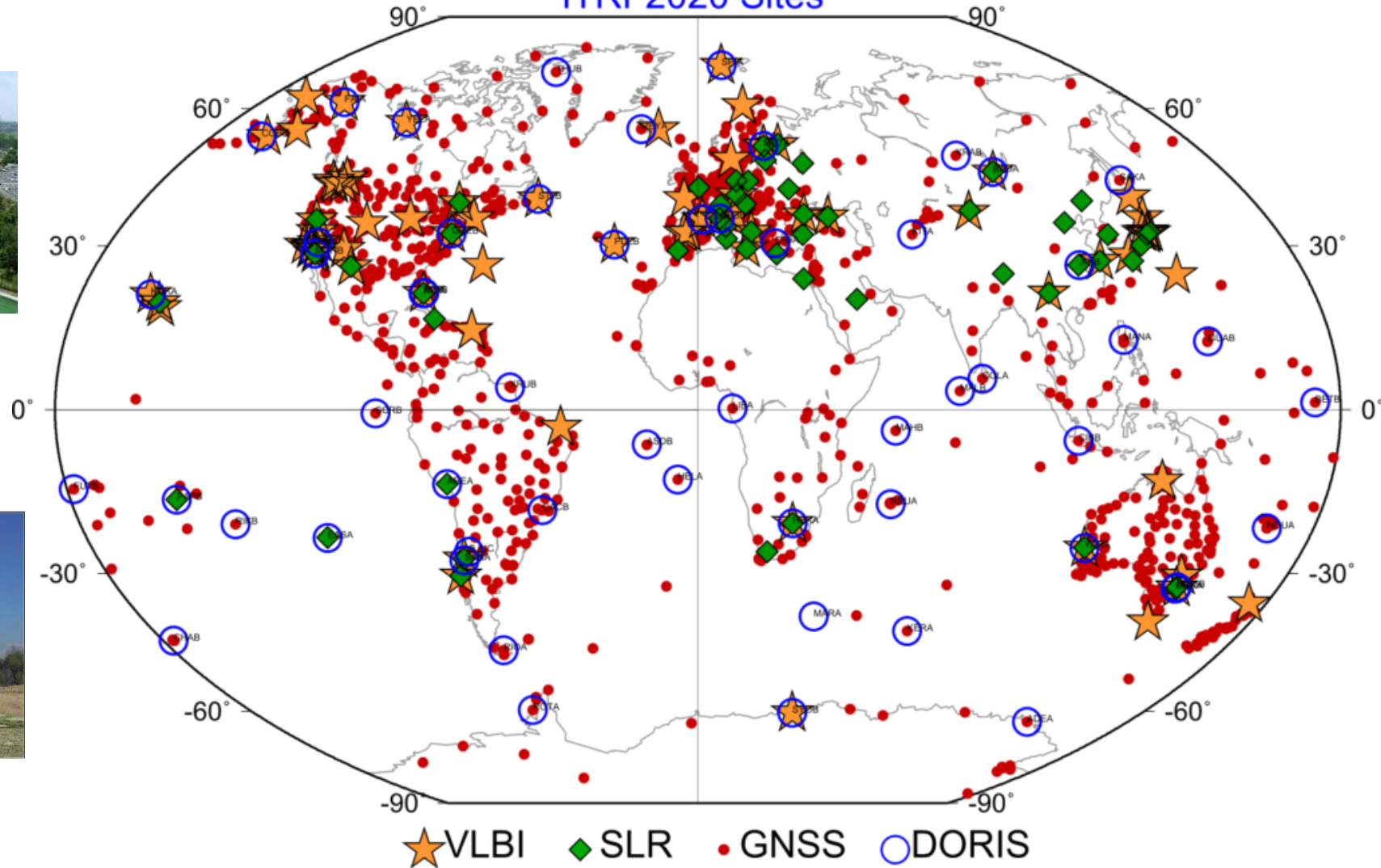
VLBI



SLR



ITRF2020 Sites



GNSS

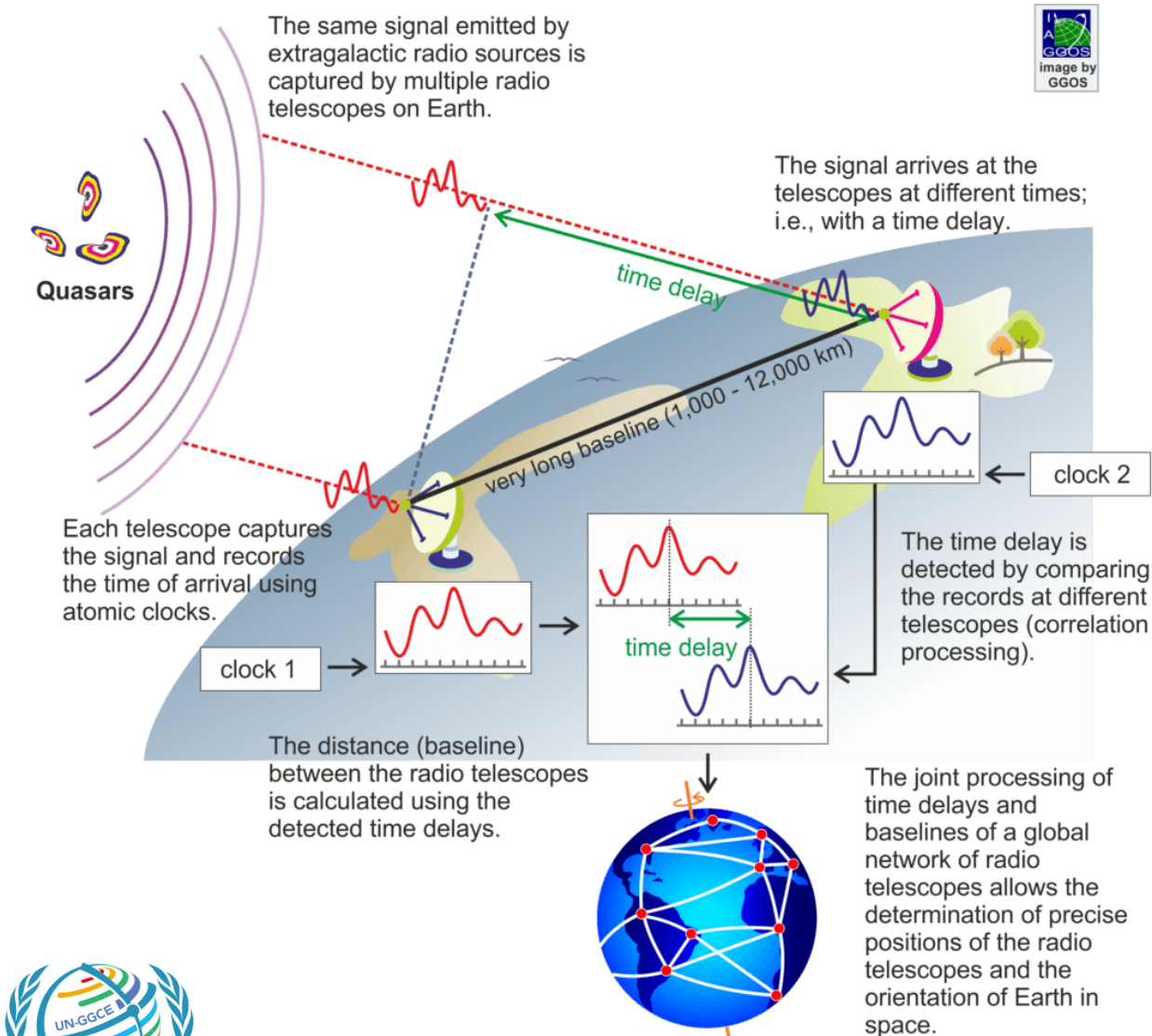


DORIS



★ VLBI ◆ SLR • GNSS ○ DORIS

Interferometría de línea de base muy larga (VLBI)



<https://ggos.org/item/vlbi> (creado por Laura Sánchez)

Registro de la radiación electromagnética de objetos muy distantes en el espacio (cuásares) en la gama de frecuencias de microondas

Método interferométrico: Se necesitan al menos dos telescopios y los requisitos de tiempo son muy estrictos (se necesitan relojes atómicos).

Determinación de la diferencia exacta de tiempo de viaje mediante la correlación de los datos registrados tras la medición en un correlador.

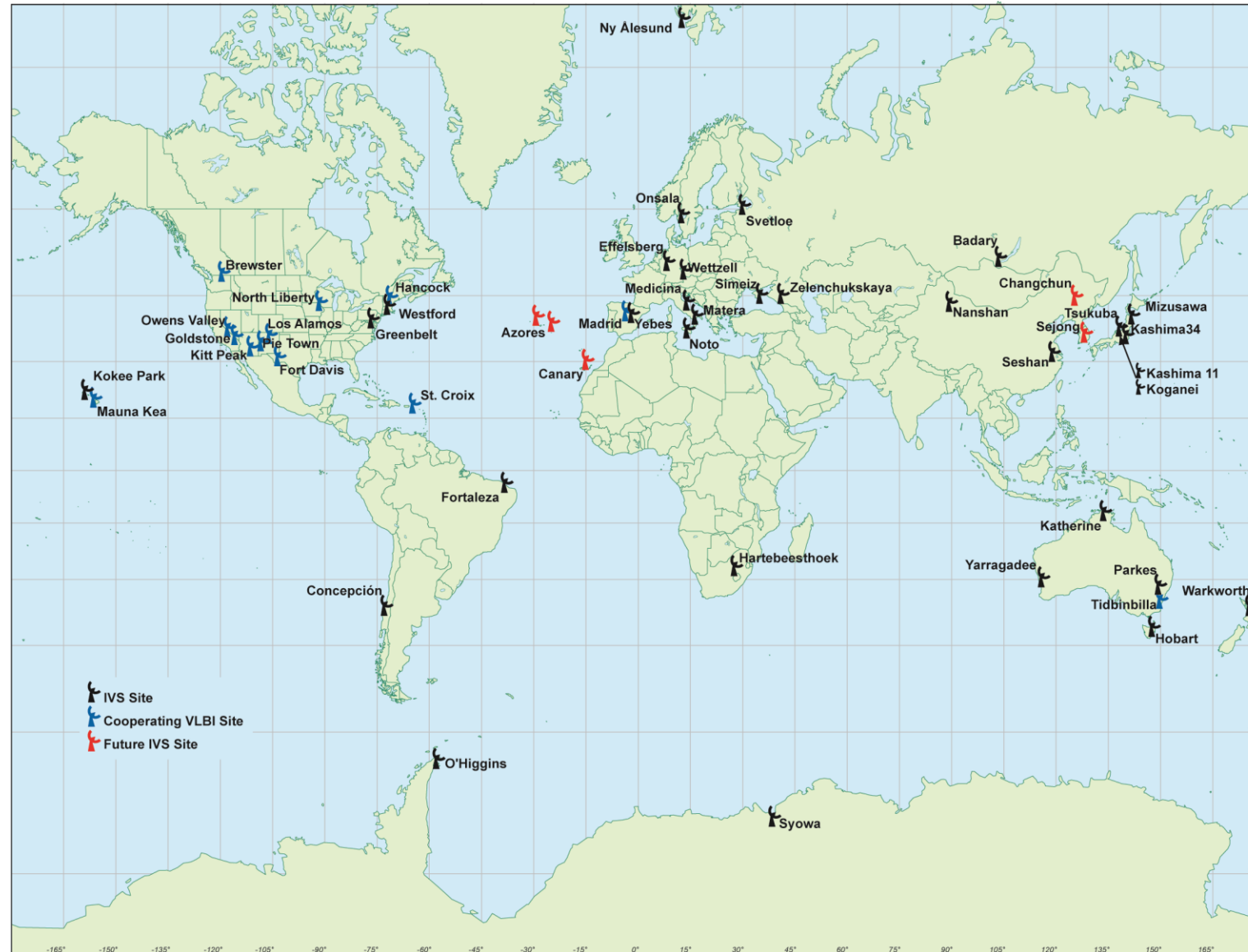
Cálculo de las líneas de base entre las estaciones VLBI

A partir de los tiempos registrados en distintos lugares, es posible determinar con precisión milimétrica la **orientación** de la Tierra, su **velocidad de giro** y la **distancia entre las antenas** (que pueden estar separadas por miles de kilómetros).



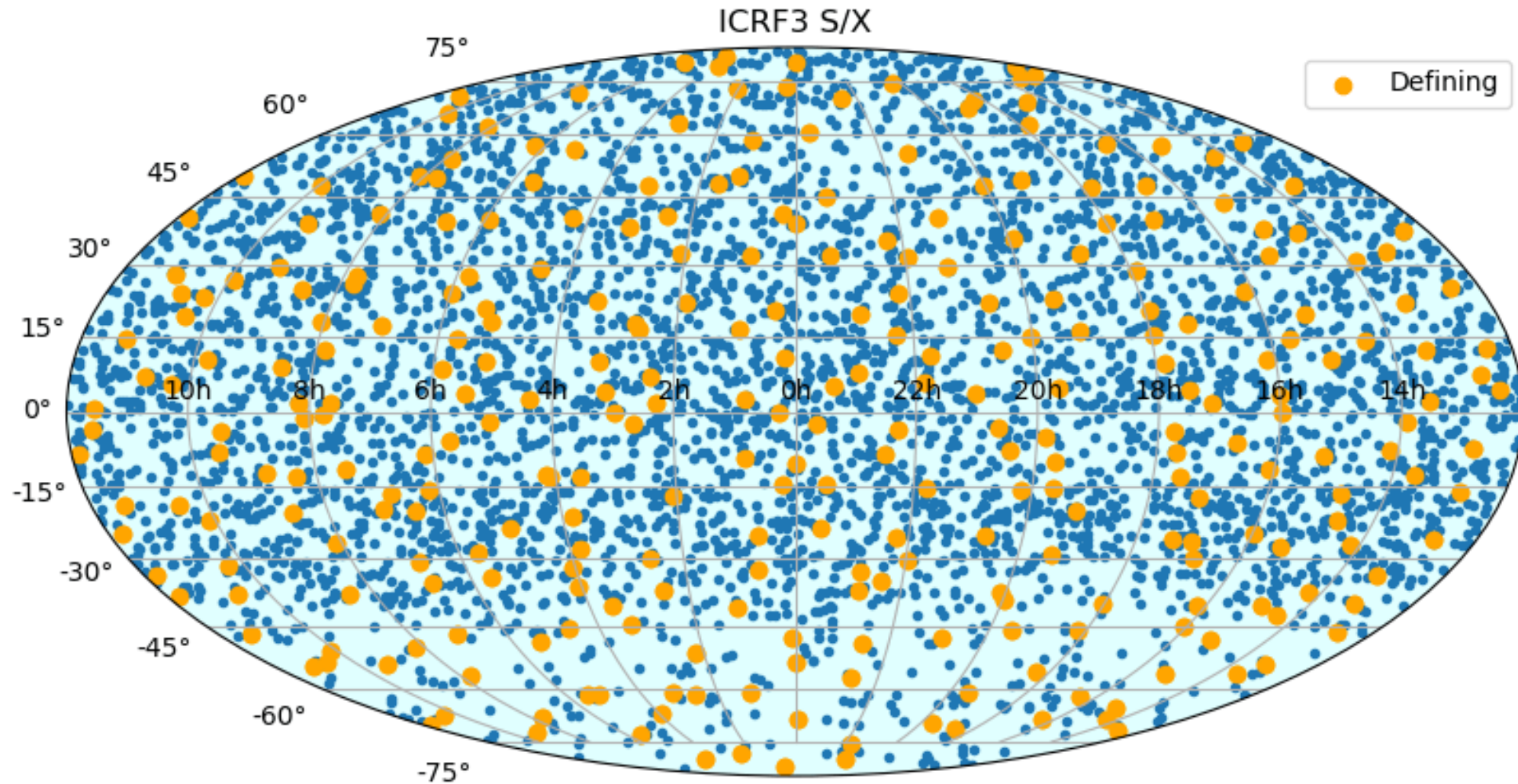
**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Servicio Internacional de VLBI para Geodesia y Astrometría



(fuente: ivscc.gsfc.nasa.gov)

Interferometría de línea de base muy larga (VLBI)



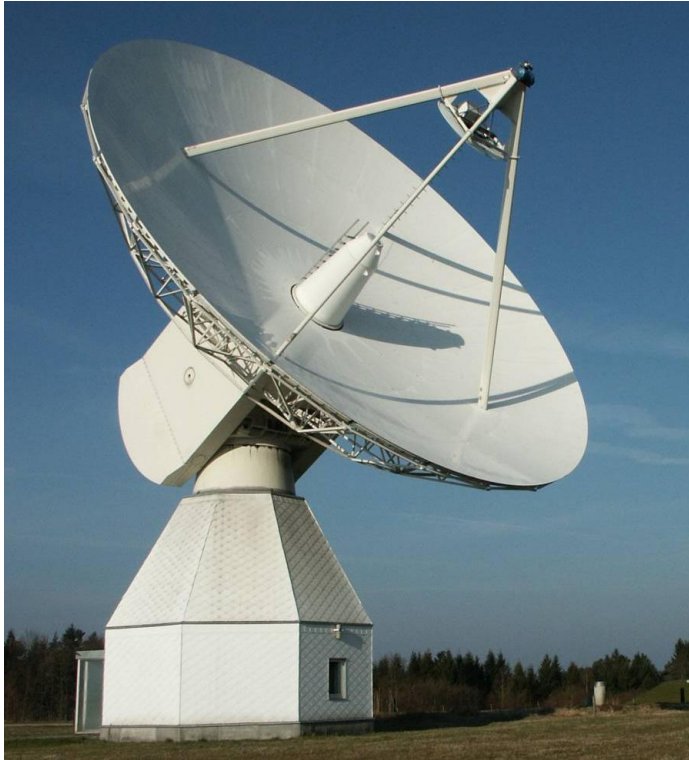
<https://ggos.org/item/celestial-reference-frame/>

(Charlot P. et al, (2020) The third realization of the International Celestial Reference Frame by very long baseline interferometry. Astronomy and Astrophysics, Vol. 644, A159, 28 p., DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038368>)

**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

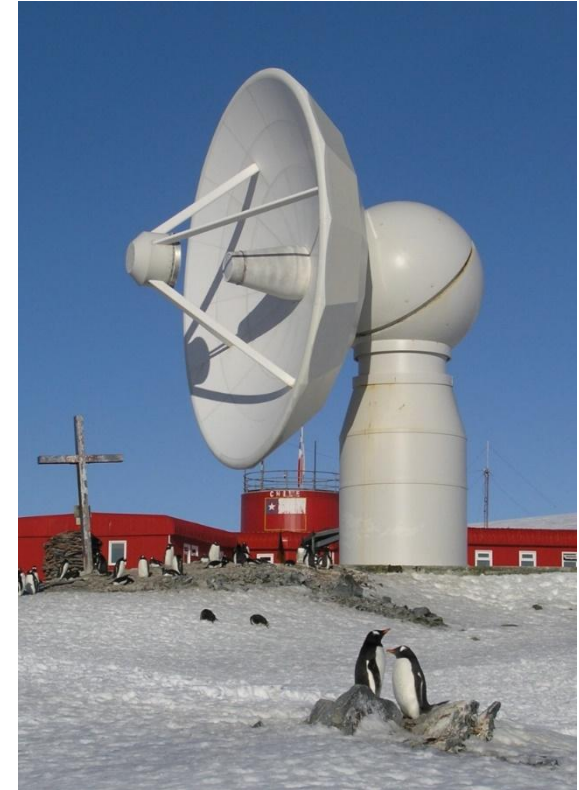
Radiotelescopios operados por BKG

20 m RTW (Wettzell)



13 m TWIN-Teleskope (Wettzell)

**6 m Radioteleskop AGGO
(La Plata)**



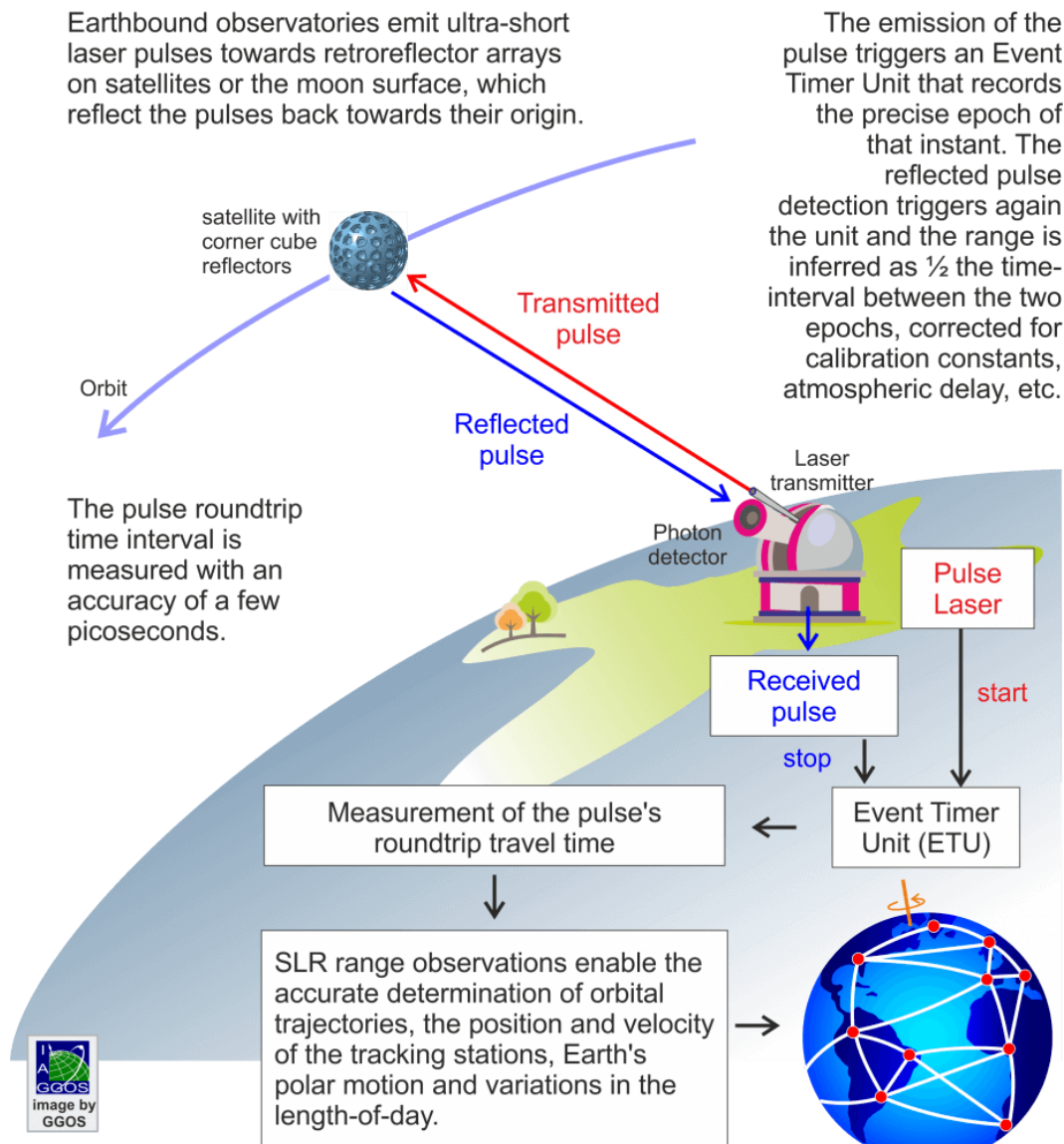
9 m Radioteleskop O'Higgins

Créditos de la imágenes: BKG



**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Telemetría láser de satélites (SLR/LLR)



Los operadores de Telemetría láser de satélites disparan láseres desde observatorios terrestres a los satélites y miden el tiempo que tarda la luz láser en regresar.

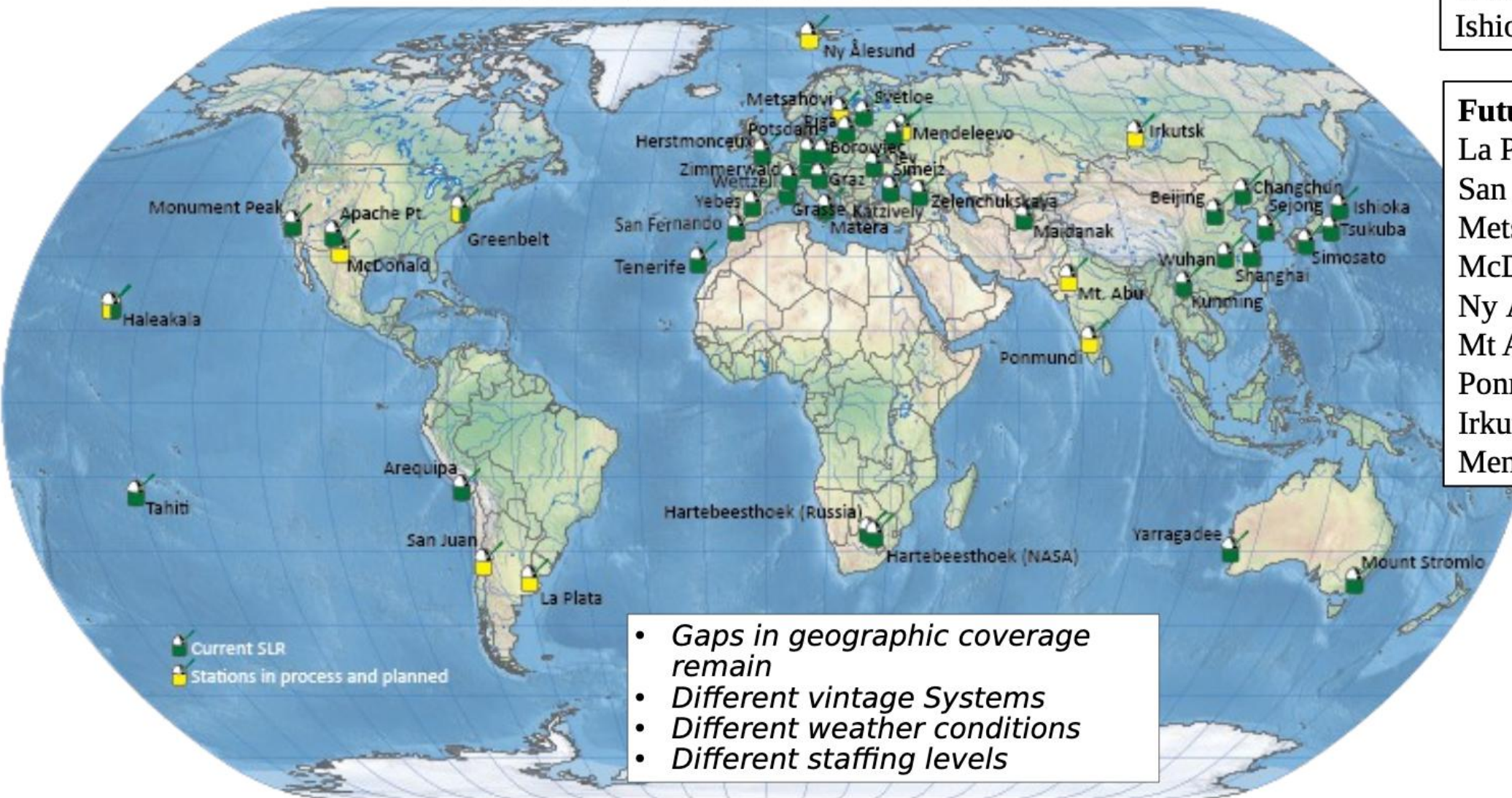
Gracias a este retardo, los geodestas pueden seguir las órbitas de los satélites con una precisión centimétrica.

Para algunas aplicaciones por satélite, es importante saber con precisión dónde estaba un satélite cuando transmitió una señal para garantizar su precisión y fiabilidad (por ejemplo, GNSS).

La Telemetría láser de satélites también se utiliza para definir el diámetro de la Tierra, la fuerza del campo gravitatorio, el centro de masa de la Tierra (el punto alrededor del cual orbitan los satélites) y el centro del marco de referencia de coordenadas global.

Servicio Internacional de Telemetría por Láser

Current and Planned ILRS Network



New Stations (2023-2024)

Yebes, Spain
Ishioka, Japan

Future Stations (2024-2027)

La Plata, Argentina
San Juan, Argentina
Metsähovi, Finland
McDonald, TX, USA
Ny Ålesund, Norway
Mt Abu, India
Ponnundi, India
Irkutsk (Tochka), Russia
Mendeleevo (Tochka), Russia

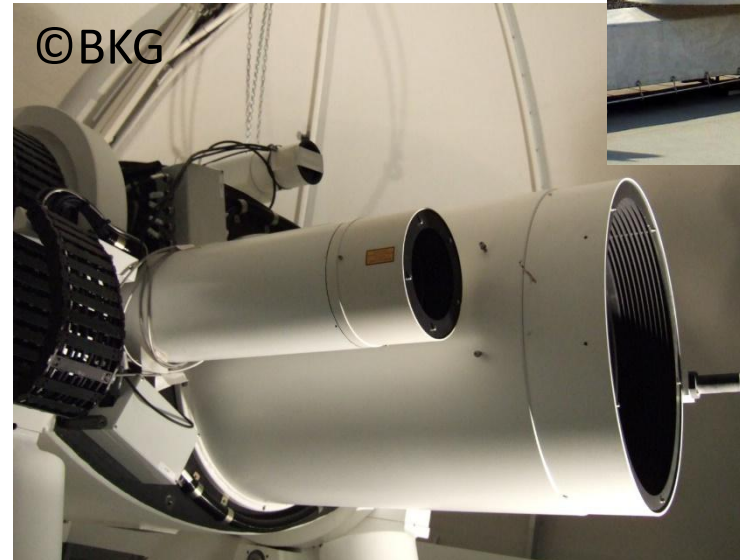
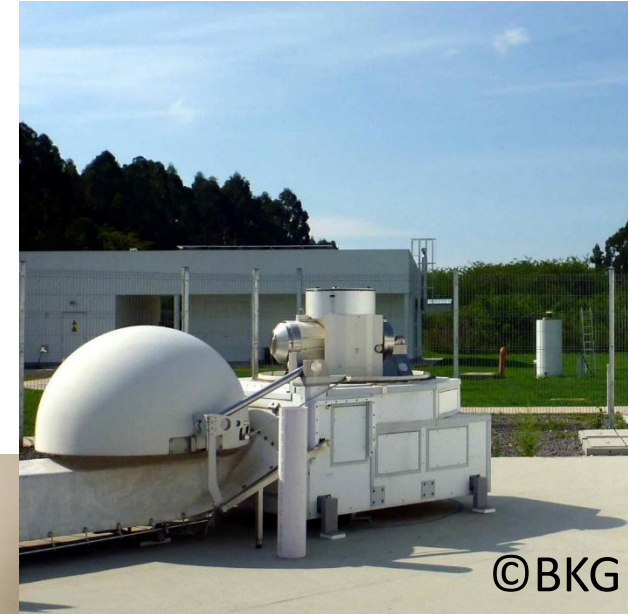
- Gaps in geographic coverage remain
- Different vintage Systems
- Different weather conditions
- Different staffing levels

Sistemas de telemetría láser de BKG



WLRS (Wettzell), 75 cm Teleskop, monostatisch

AGGO-SLR (La Plata),
50 cm Teleskop, monostatisch



SOSW (Wettzell)
50 cm Empfangsteleskop
16 cm Sendeteleskop



**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Sistemas mundiales de navegación por satélite

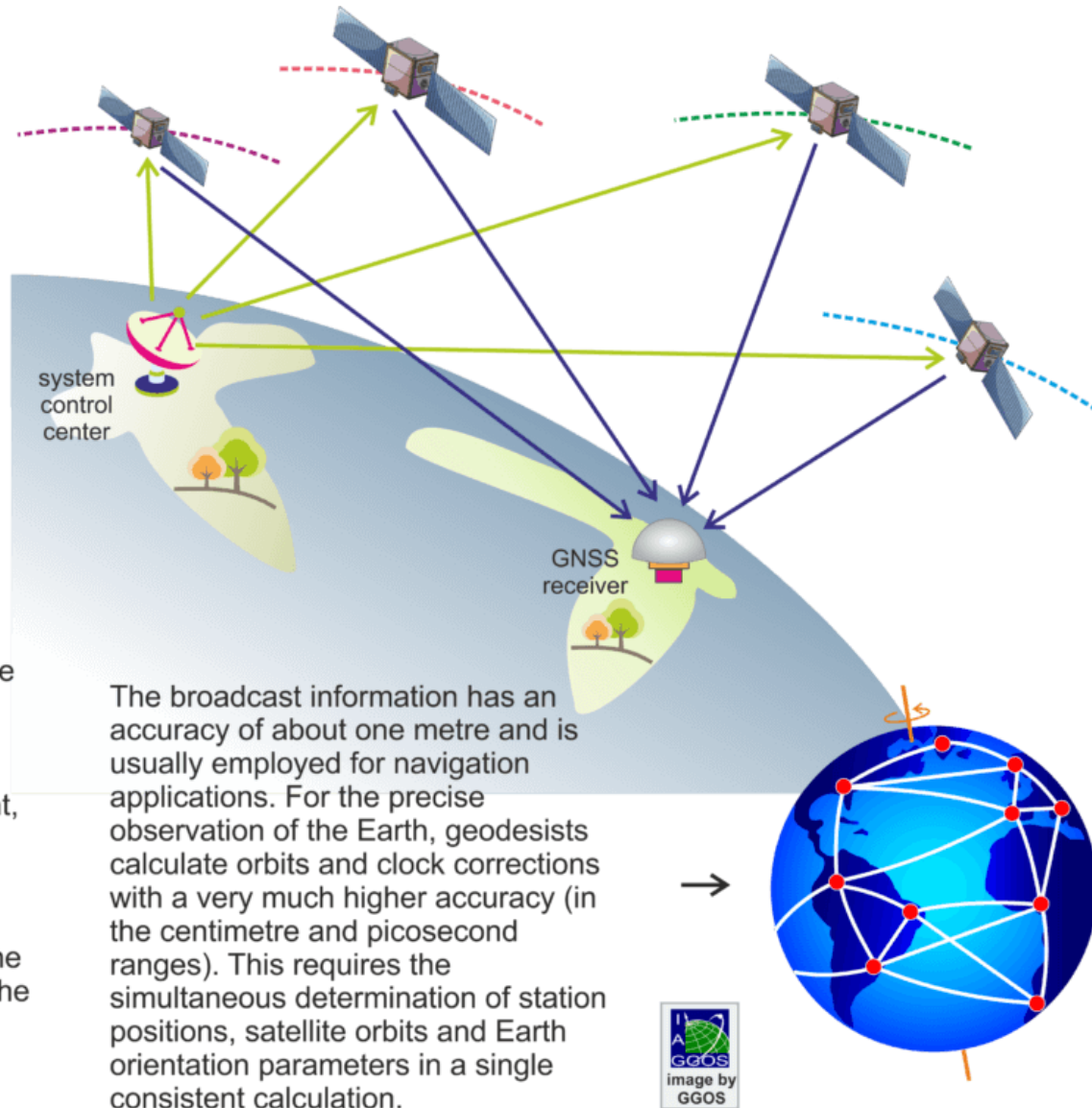
(1) The system operator calculates satellite orbits and clock synchronization using ground stations with known coordinates.

(2) The operator loads the calculated orbits and satellite clock corrections to the satellites.

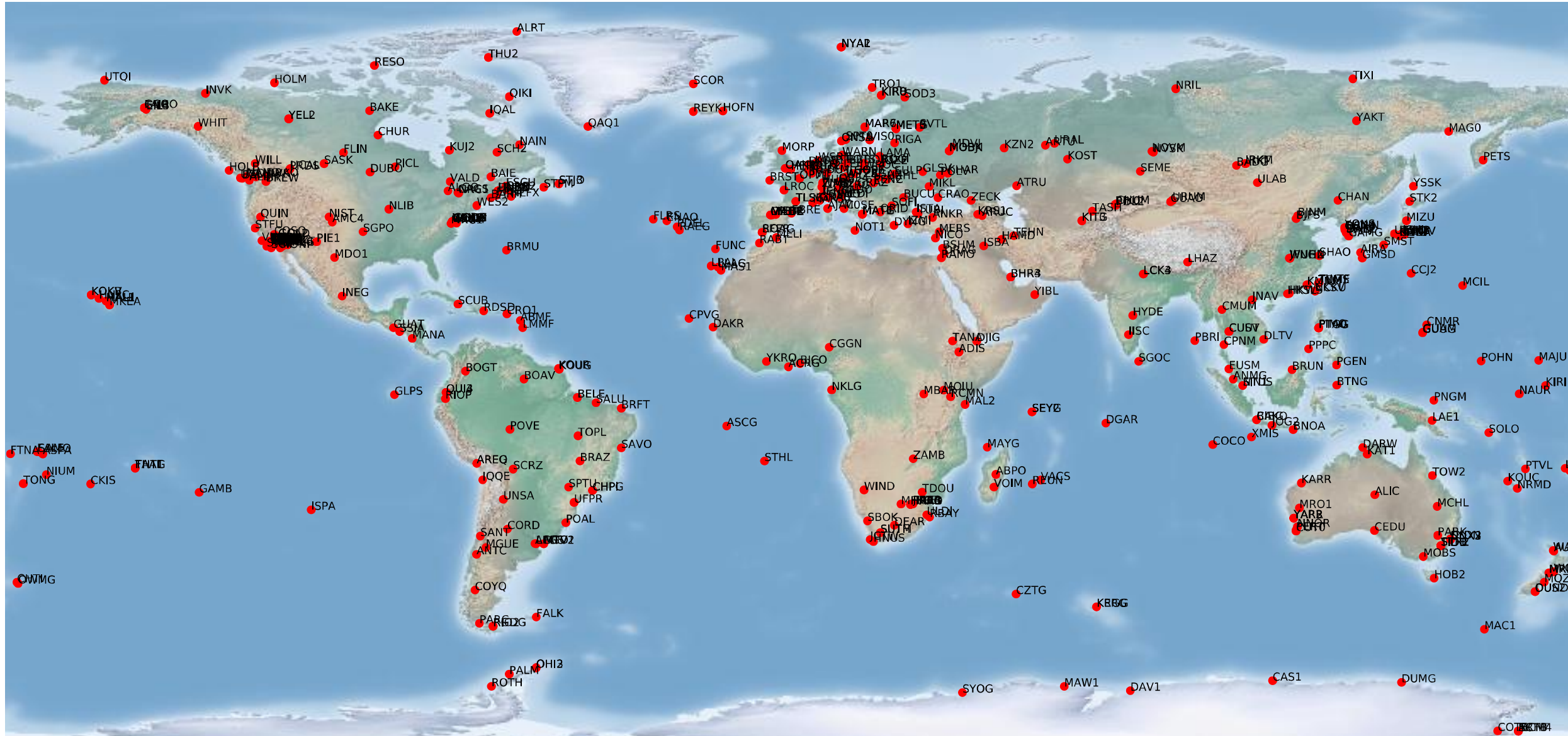
(3) Orbits and clock corrections are broadcast together with a very stable time stamp from an atomic clock, so that a receiver can continuously determine the time when the signal was broadcast.

(4) The difference between the time of arrival and the time of transmission gives the travel-time of the signal, which, multiplied by the speed of light, provides the distance (or range) satellite - receiver.

(5) With information about the ranges to four satellites and the location of the satellite when the signal was sent, the receiver can compute its own three-dimensional position.

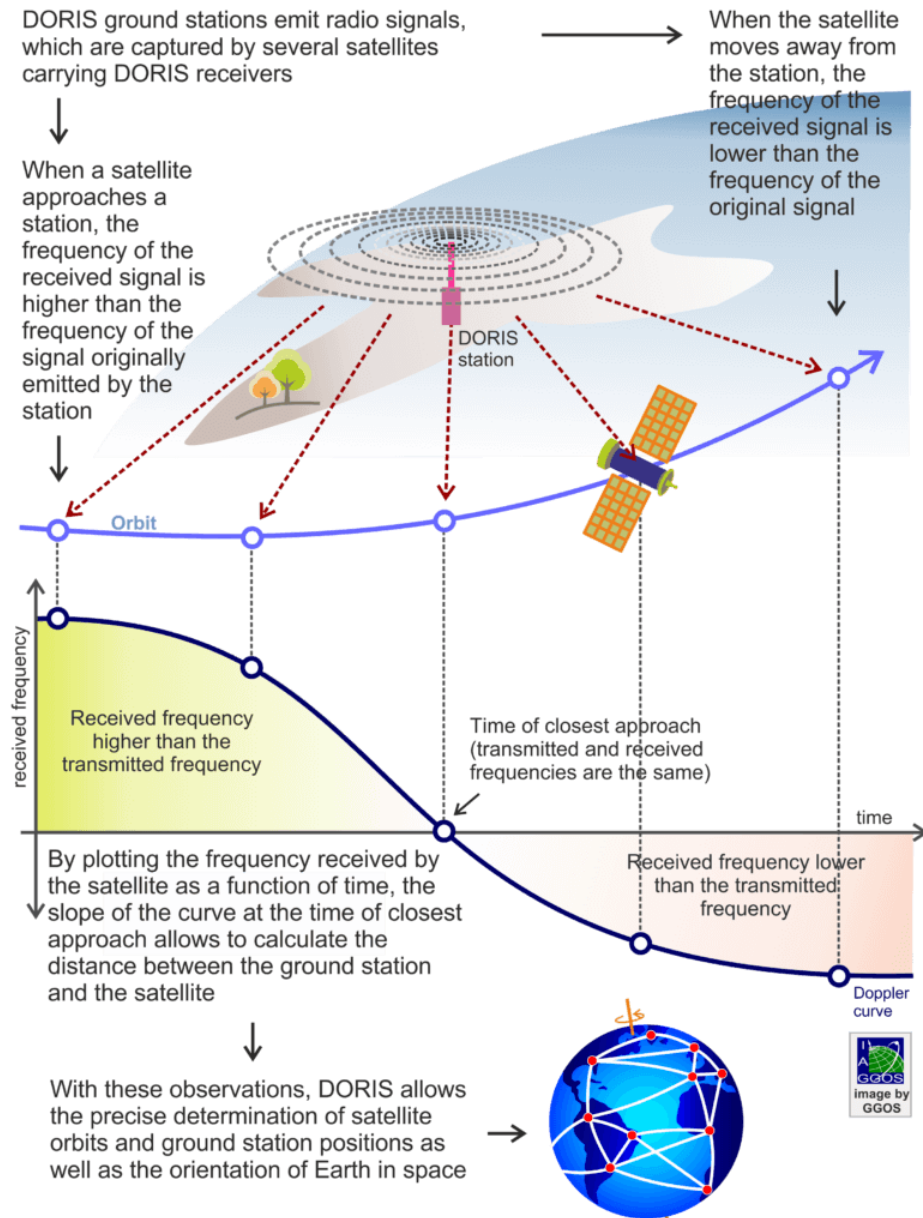


Servicio Internacional GNSS



(fuente: igs.org)

Orbitografía Doppler y Radioposicionamiento Integrados por Satélite (DORIS)



- La Orbitografía Doppler y el Radioposicionamiento Integrados por Satélite (DORIS) es un sistema satelital francés utilizado para ayudar a determinar y vigilar las órbitas de los satélites y para el posicionamiento.
- El principio de DORIS es similar al del GNSS, pero a la inversa.
- Las radiobalizas terrestres activas emiten una señal que detectan los satélites receptores.
- Se produce un desplazamiento de frecuencia de la señal, provocado por el movimiento del satélite (efecto Doppler).
- La emisión en 2 frecuencias (400 y 2036 MHz) permite determinar los retardos de propagación de la señal a través de la atmósfera
- Determinación de la órbita de los satélites de observación de la Tierra
- Determinación de la coordinación de la baliza en la superficie terrestre
- Co-ubicación con otros métodos espaciales y contribución al GGRF

<https://ggos.org/item/doris> (creado por Laura Sánchez)

Servicio Internacional DORIS



Gravimetría

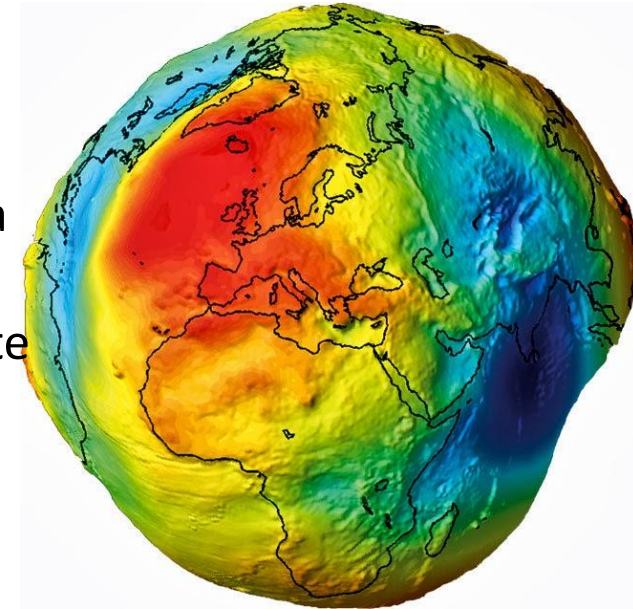


Crédito: Micro G Lacoste

Gravímetro de caída libre

Principio

- Los instrumentos de gravimetría observan la aceleración gravitatoria
- Existen dos tipos diferentes de gravímetros:
 - Absoluto, por ejemplo, gravímetro de caída libre
 - Relativo, por ejemplo, gravímetro de resorte o superconductor,
- Tipos de mediciones:
 - Terrestre
 - Aérea
 - Satélite



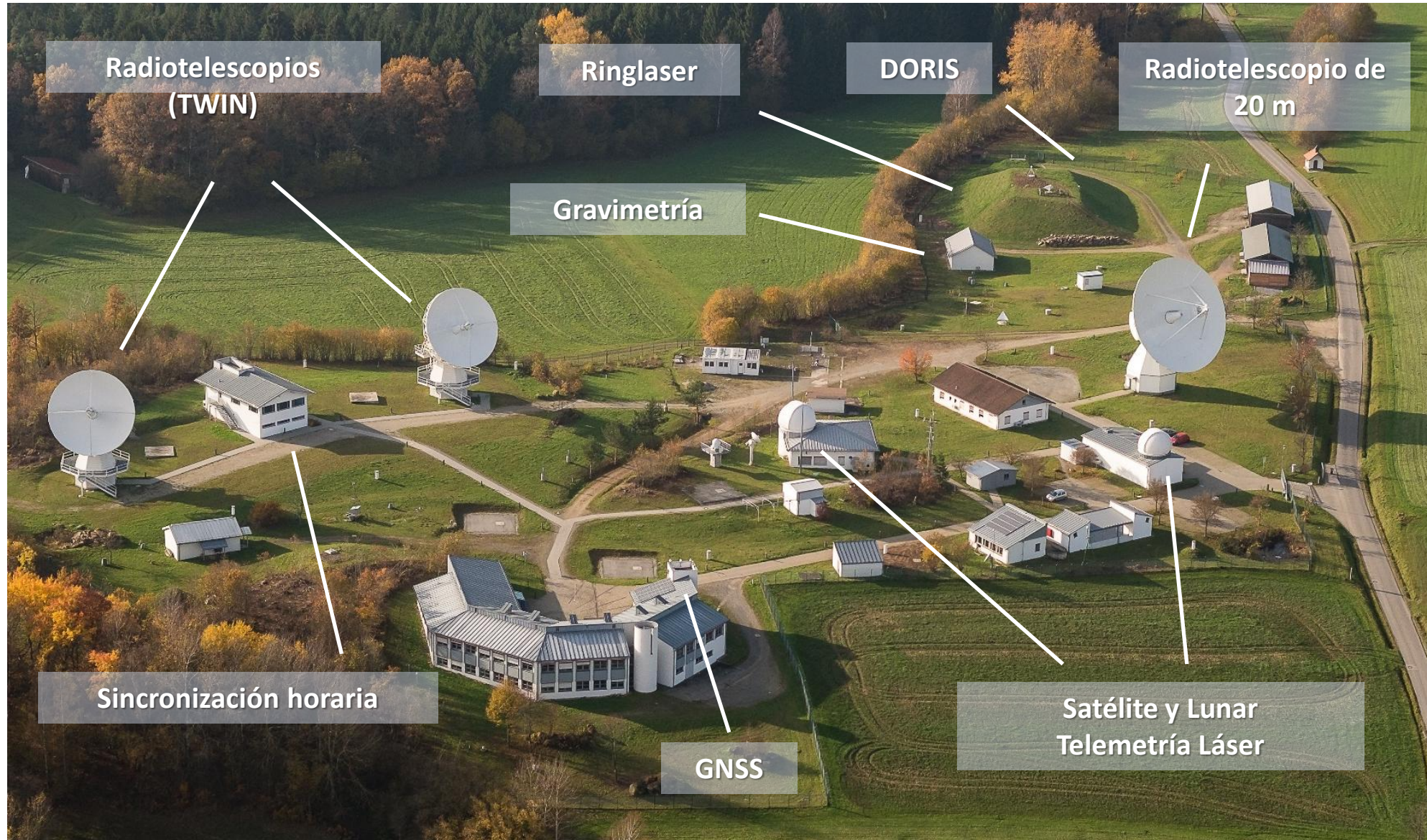
Geoide, la forma física de la Tierra

Propósito

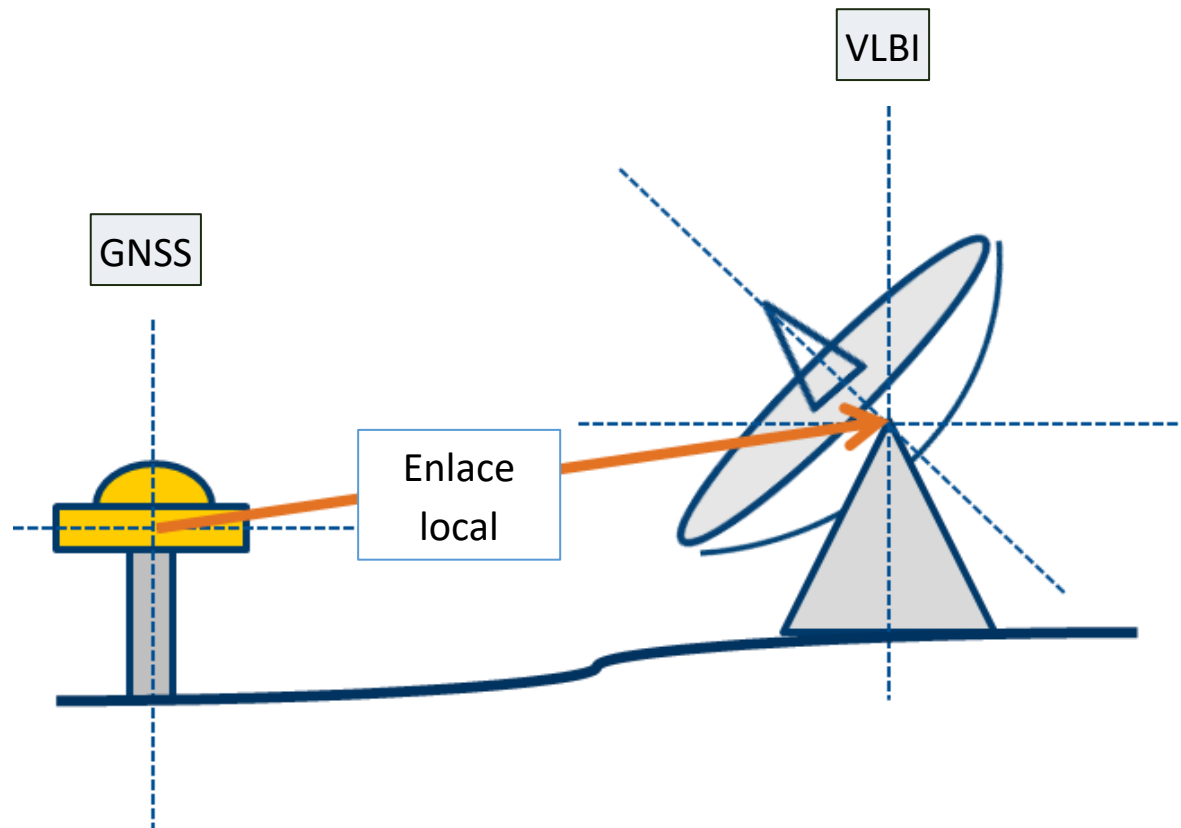
- Determinación de la forma física de la Tierra definida por la superficie equipotencial gravitatoria
- Determinación del centro de masas de la Tierra
- Seguimiento de la dinámica geofísica



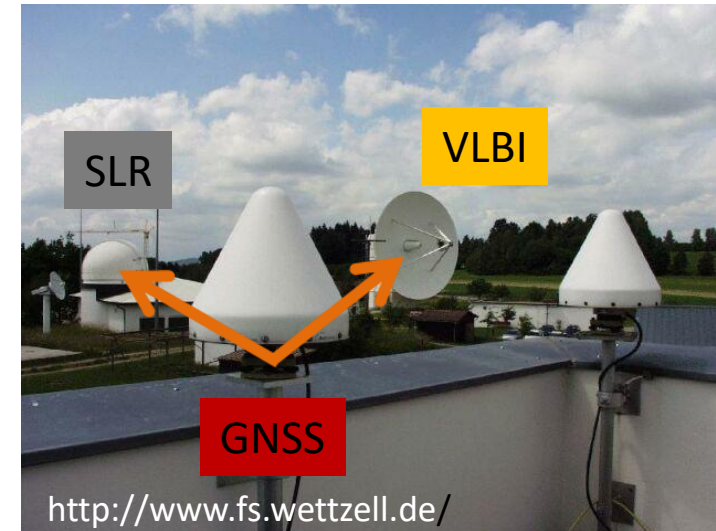
Observatorio Geodésico Wettzell, Alemania



Integración de técnicas espaciales



Observatorio Geodésico Wettzell



Los emplazamientos de coubicación y los vínculos locales desempeñan un papel fundamental para la integración de las distintas técnicas de observación geodésica espacial



**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Tiempo y frecuencia



Relojes de cesio

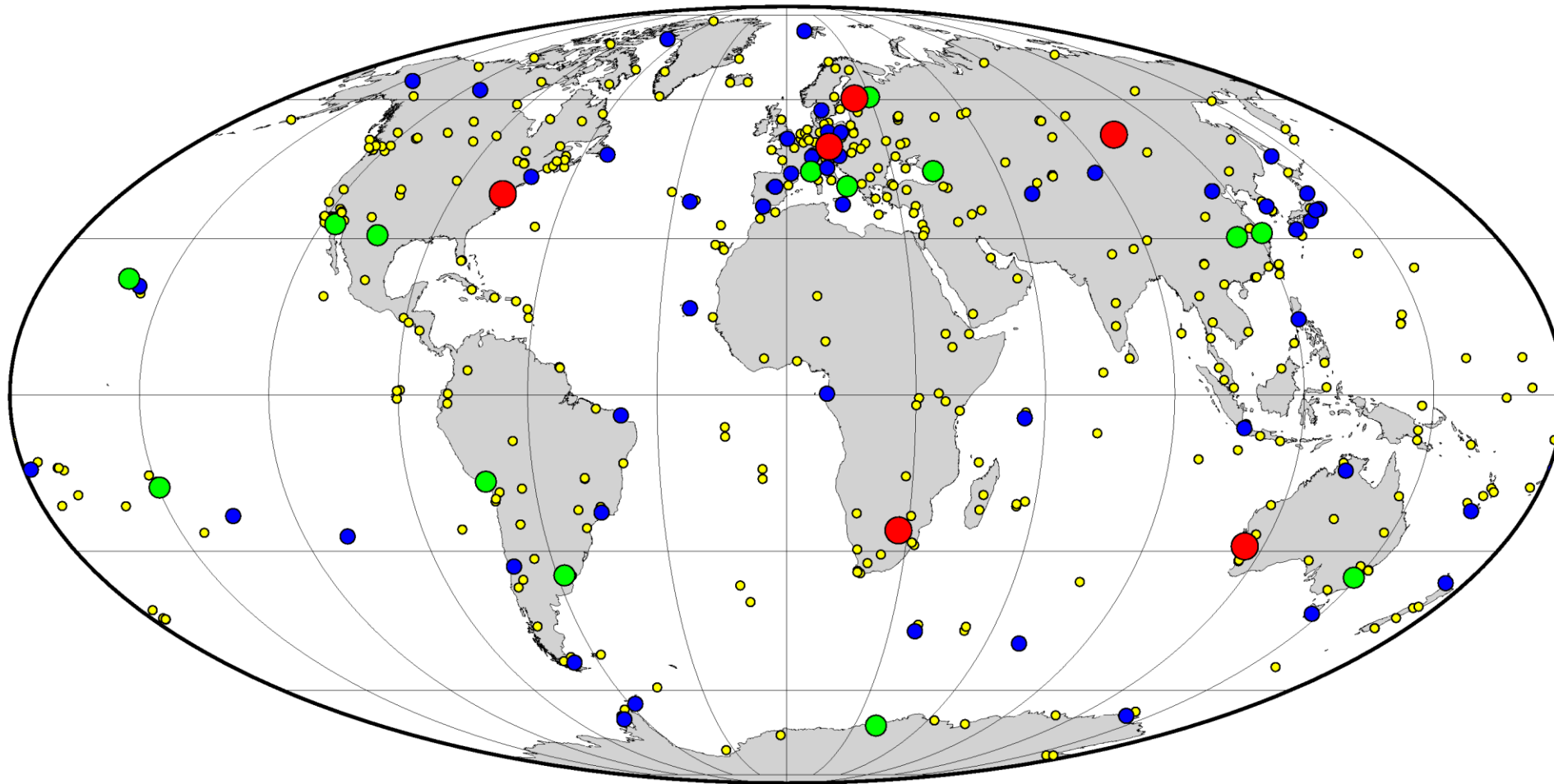
Máser de hidrógeno
máx. estabilidad
 $<10^{-15}$ seg.



- Las observaciones geodésicas dependen del mantenimiento preciso de la frecuencia y la hora
- Los instrumentos tienen que estar conectados a una frecuencia y una hora precisas.
- Relojes atómicos en observaciones geodésicas
 - Precisión hasta el nivel de picosegundo (ps)
 - Sincronización horaria entre distintas técnicas geodésicas
 - Contribución a la UTC
 - Contribución a la comparación horaria
- Los sistemas GNSS
 - trabajan con horario propio
 - Transmisión horaria y sincronización entre distintos lugares de observación del mundo
 - Transferencia y sincronización horaria UTC

Colocación de las técnicas

ITRF: Marco Internacional de Referencia Terrestre



● 1 Technique

● 2 Techniques

● 3 Techniques

● 4 Techniques

- Sólo un continente cuenta con al menos tres emplazamientos en los que estén ubicados VLBI y SLR.
- La cadena mundial de suministro de geodesia no es sólida.

Aportaciones de las técnicas espaciales

- Diferentes técnicas permiten realizar mediciones independientes.
- Cada técnica es única y contribuye de forma diferente a los productos geodésicos.

Type of Parameter	VLBI			GNSS			DORIS			SLR			LLR		
Quasar Coordinates (ICRF)															
Nutation															
Poltion															
UT1															
Long of the day (LOD)															
Subdaily Earth Rotation Parameters (ERP)															
ERP Ocean tide amplitudes															
Coordinates and Velocities (ITRF)															
Geocenter															
Gravitation Field															
Satellite Orbits															
LEO Satellite Orbits															
Ionosphere															
Troposphere															
Time Transfer and Synchronization															

Recursos

- Más información sobre ITRF e ICRF -
<https://geoscienceaustralia.github.io/ginan/theory.html>
- Técnicas y Servicios Geodésicos de la Asociación Internacional de Geodesia -
<https://ggos.org/services/>