

Desafíos presentes y futuros de la Geodesia

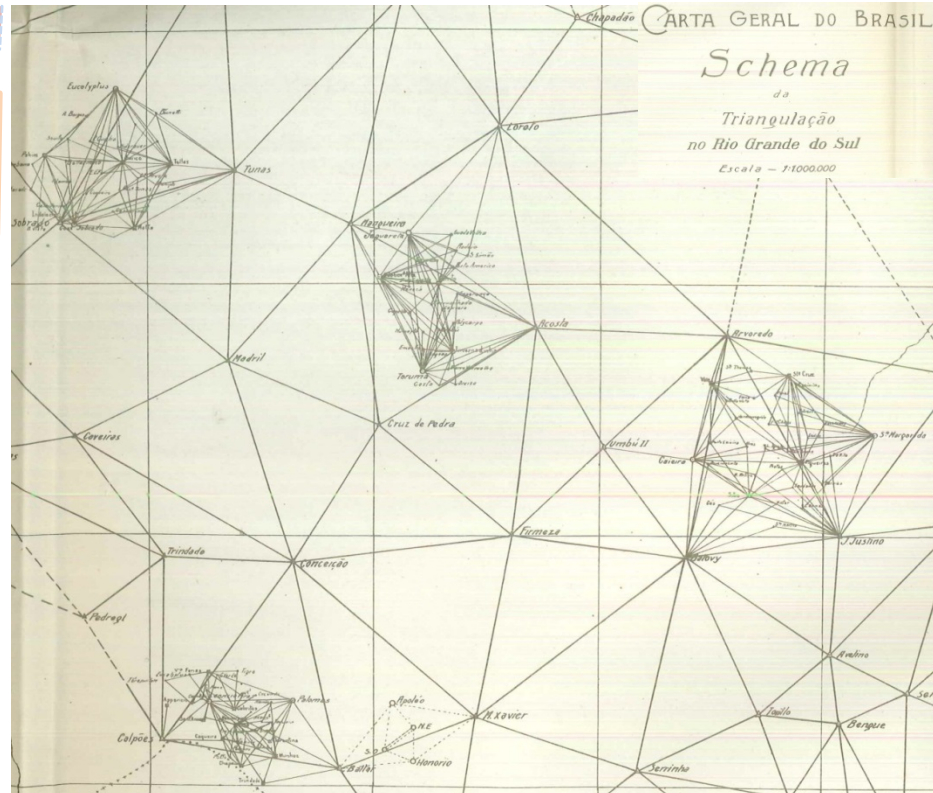
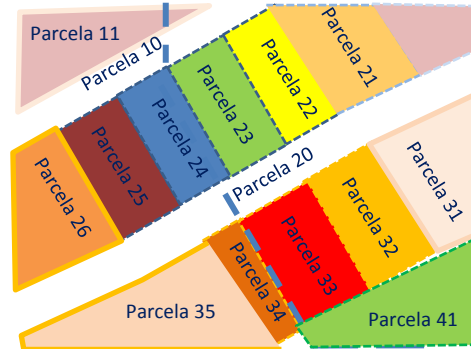


Hermann Drewes
Secretario General
Asociación Internacional de Geodesia (IAG)
Munich, Alemania

Objetivos tradicionales de la Geodesia

- La Geodesia es la ciencia de la medición y representación de la superficie terrestre (Helmert 1880).
- La aplicación de la Geodesia se concentró antes en levantamientos de límites, catastro, cartografía, ingeniería, etc. por métodos terrestres (triangulación, nivelación, gravimetría, ...)

Travaux de l'AIG 1923



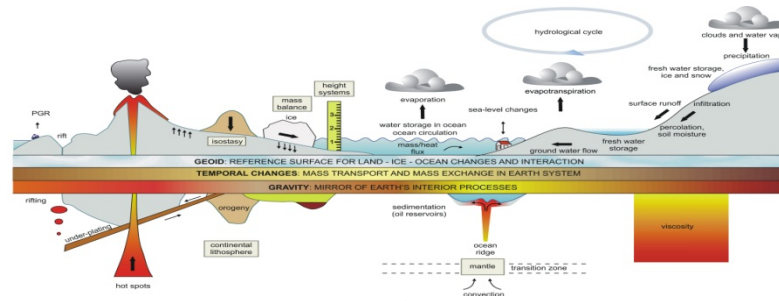
Objetivos actuales de la Geodesia

- Con mediciones geodésicas cada vez más precisas se detectaron variaciones de los resultados con el tiempo (p.ej. causadas por deformaciones de la superficie terrestre) y efectos del ambiente (p.ej. refracción causada por humedad y temperatura atmosférica).
- Hoy, la Geodesia está en capacidad de aplicar las deformaciones y los efectos de las variaciones ambientales observados para el estudio de la geodinámica (p.ej. tectónica y terremotos) y del cambio global (p.ej. variaciones atmosféricas e hidrosféricas).
- La Geodesia se convirtió en la ciencia de la medición y el análisis de los fenómenos y los efectos de los procesos físicos en el sistema Tierra (Drewes 2006).
- Con esto la Geodesia contribuye significativamente al estudio de los procesos geodinámicos y del cambio climático global, que forman los problemas mas graves en la sociedad actual.

Tema moderno de la Geodesia: observación del cambio global

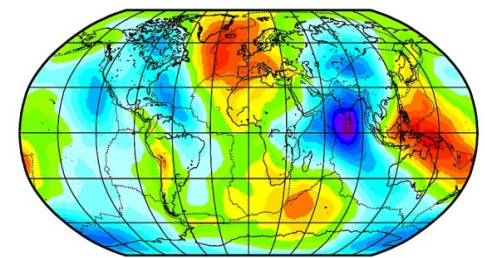
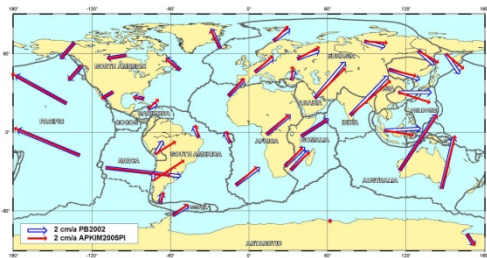
Procesos en la
Tierra sólida:
geodinámica
(deformación)

Procesos en
la atmósfera
e hidrosfera:
ciclo del agua



deformaciones

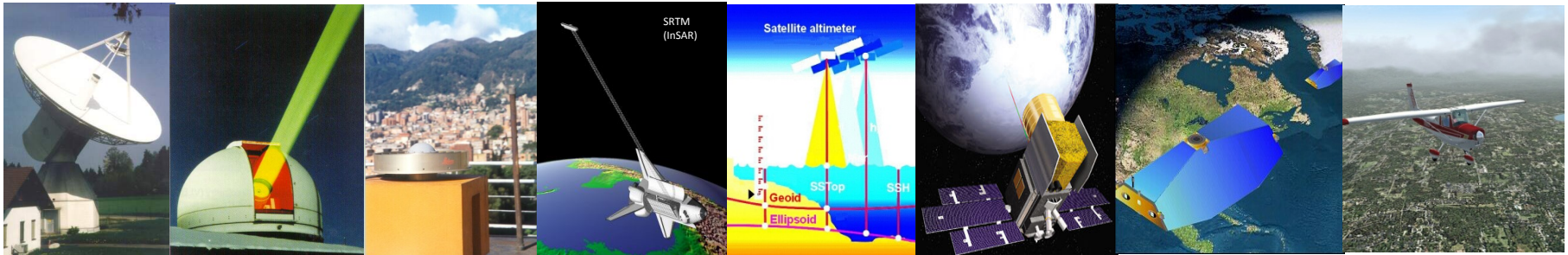
variaciones de la rotación y del campo de gravedad



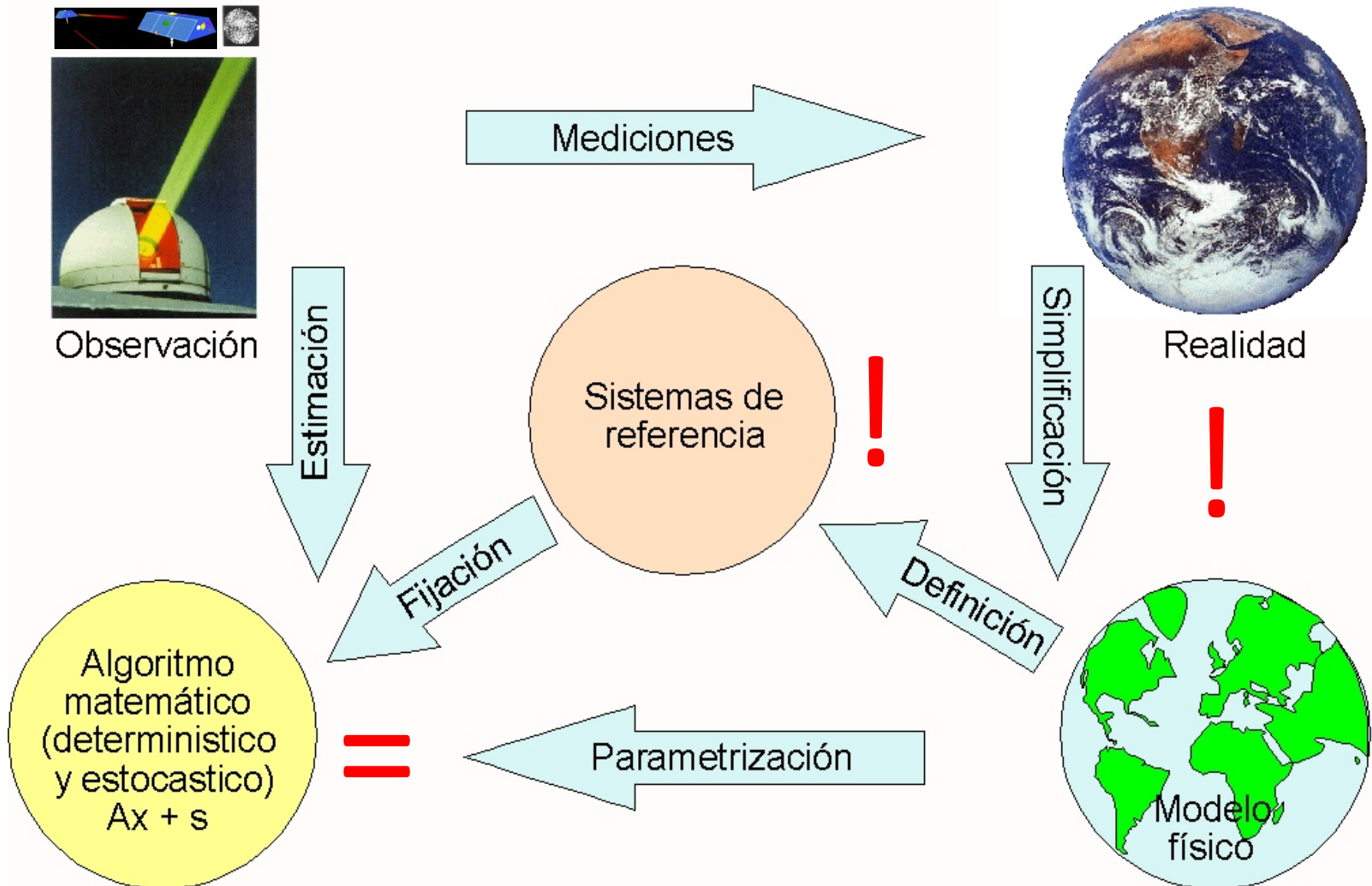
posicionar puntos

escanear superficies

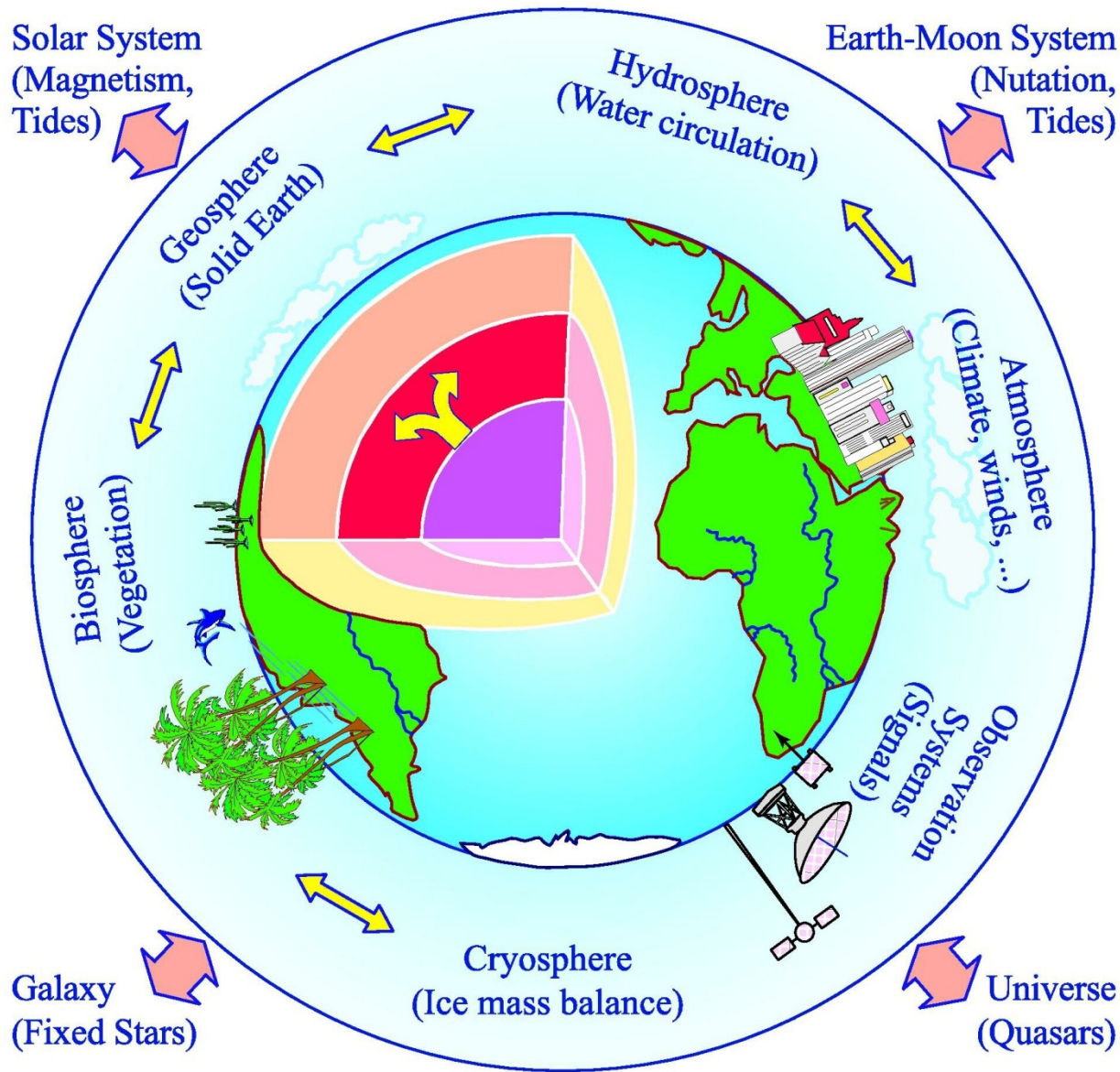
medir la gravedad



La base de la Geodesia: modelos y sistemas de referencia



Modelos y parámetros en la Geodesia moderna



Tierra sólida:

- geometría (figura, forma, posiciones);
- gravedad (potencial, atracción, mareas).

Hidrosfera:

- carga (deformación);
- carga (atracción).

Océanos:

- variación del nivel

Atmósfera:

- refracción (retraso);
- carga (deformación);
- carga (atracción).

Criósfera:

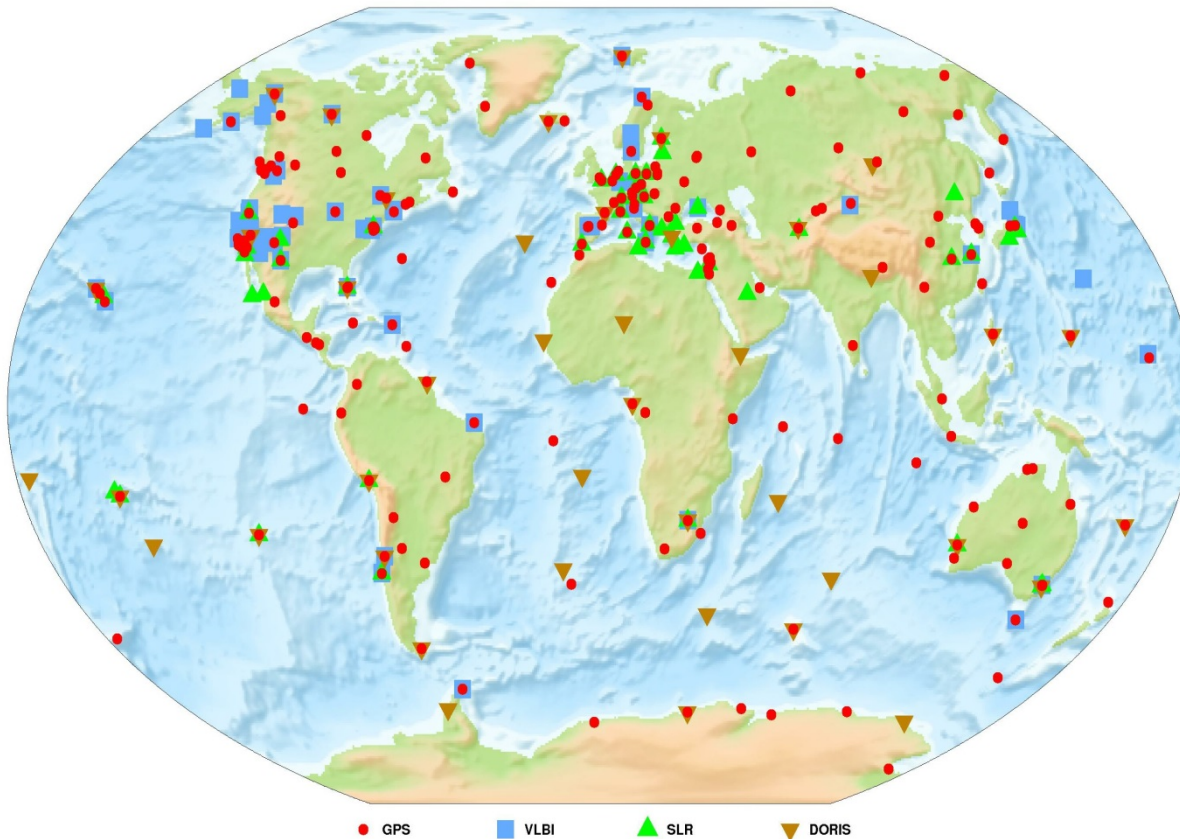
- balanza de masas (geometría, gravedad)
- efecto al océano.

La importancia de los sistemas de referencia en la Geodesia

- La determinación de los parámetros en los modelos requiere de un sistema de referencia **uniforme** para la geometría y la gravimetría.
- El sistema de referencia define estándares y parámetros necesarios para la representación de la Tierra verdadera mediante un modelo (p. ej. unidad de longitud [m], parámetro gravitacional estándar GM, etc.).
- El sistema de referencia se realiza por un marco de referencia con una materialización física (monumentos sobre la superficie terrestre) y una descripción matemática (coordenadas referidas al sistema).
- Hay que mantener los marcos de referencia consistentes en el espacio (válido en todas las partes del mundo) y en el tiempo (válido en cada instante en el presente y el futuro).
- Los resultados de las observaciones geodésicas para el cambio global se refieren a los **modelos físicos** (no a la realidad!) y a los sistemas de referencia definidos y realizados por los marcos de referencia!

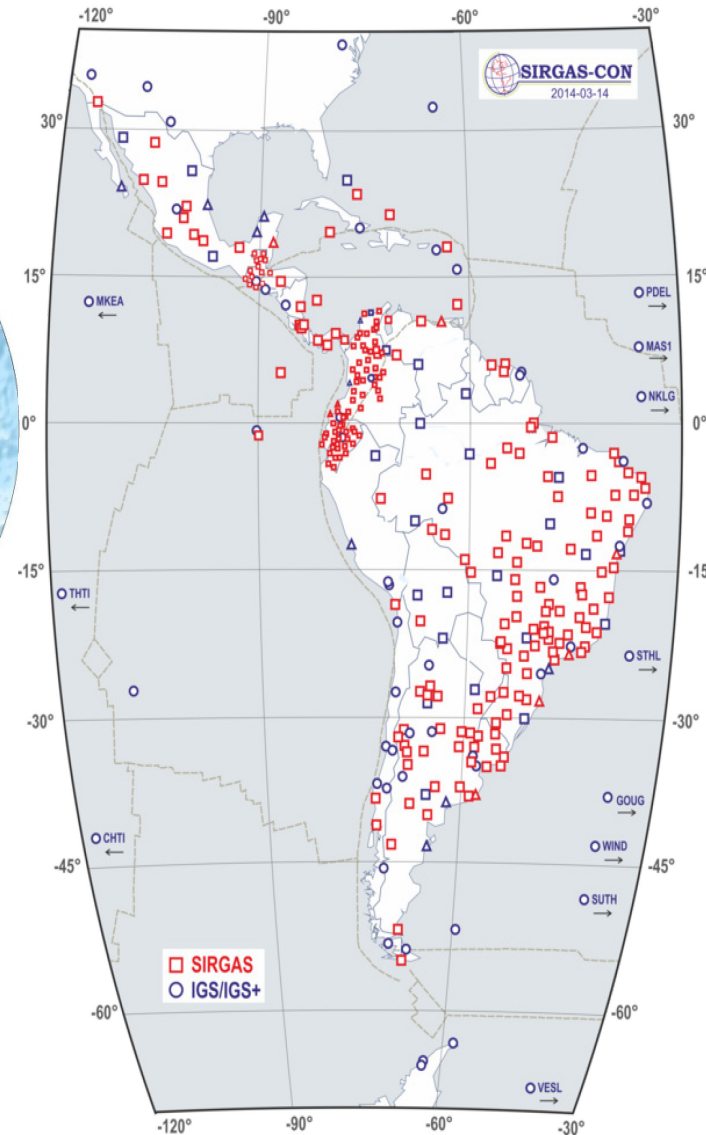
Sistemas de referencia geométrica

ITRF2008

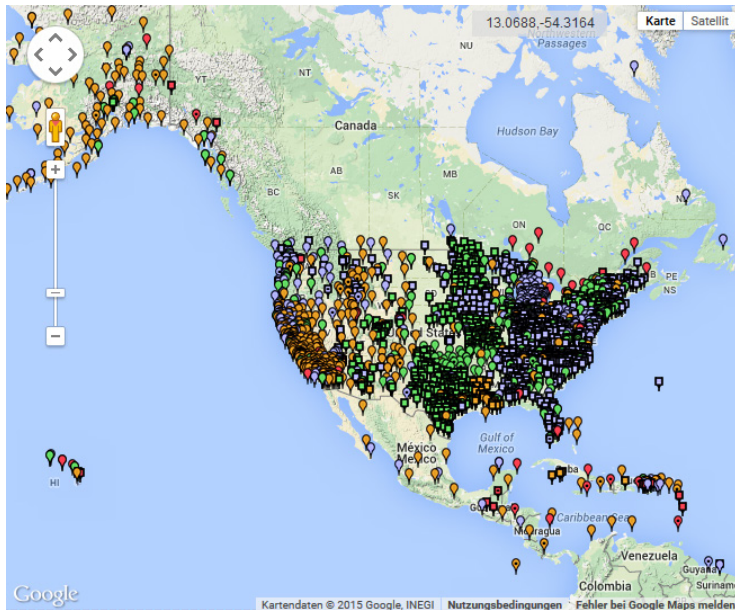


El Marco de Referencia Global (ITRF) tiene varias densificaciones continentales (SIRGAS, EUREF, NAREF, AFREF, APREF)

SIRGAS-CON



Marcos de referencia geométrica continentales

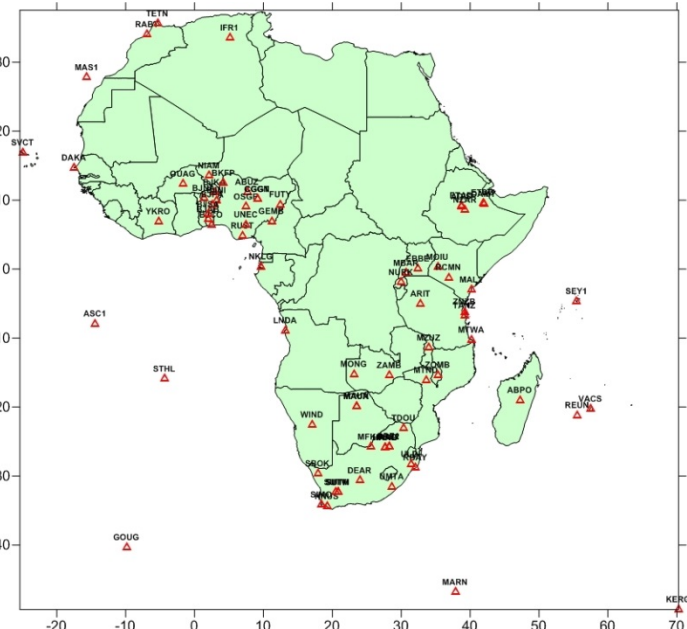
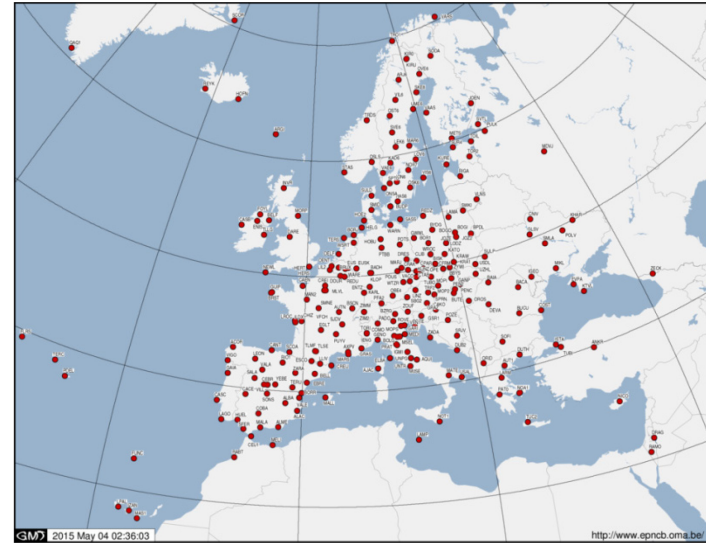


NAREF (CORS)
http://www.ngs.noaa.gov/CORS_Map/

EUREF
www.epncb.oma.be

AFREF
<http://rcmrd.org/wp-content/uploads/2015/01/AFREF-Station-Guidelines-Final-A.pdf>

APREF
<http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/asia-pacific-reference-frame>



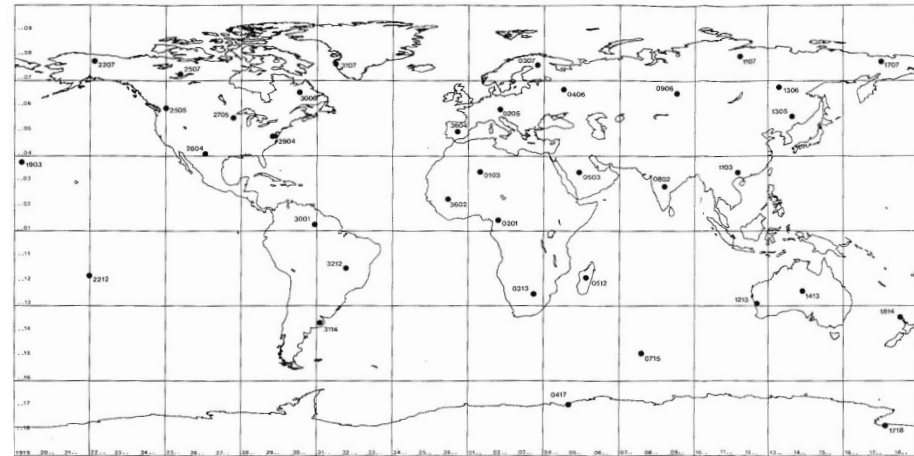
Marcos de referencia gravimétrica

Antíguo: Sistema Potsdam (adoptado 1909)

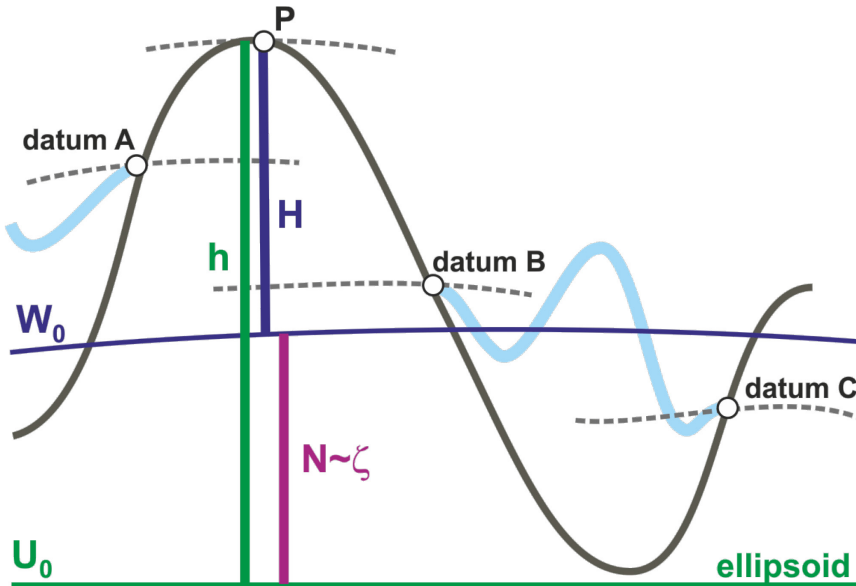
El sistema de gravedad Potsdam se basó en el valor medido por péndulos entre 1898 y 1904 en Potsdam por Kühnen y Furtwängler ($g = 981.274 \pm 0.003 \text{ cm/s}^2$). Se propagó por mediciones de péndulos relativos (y después por gravímetros relativos) globalmente.

La **International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71)** se calculó por compensación de 24000 mediciones gravimétricas relativas y 11 absolutas (Morelli et al., 1974).

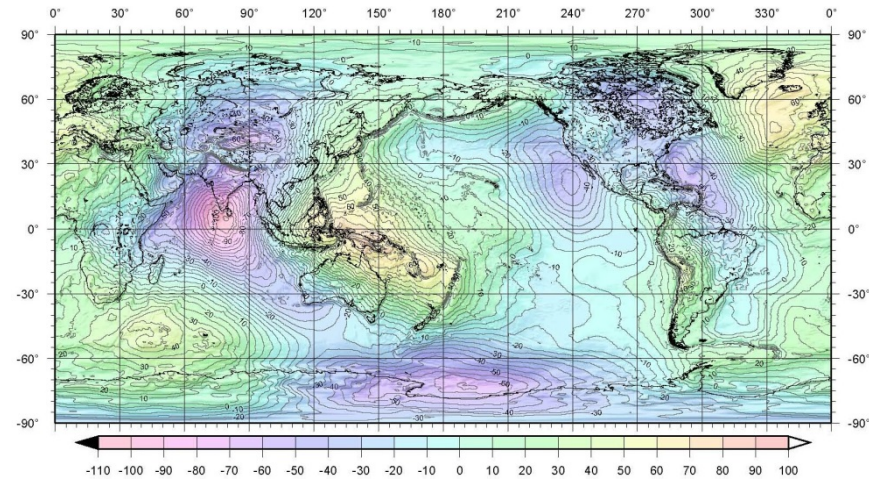
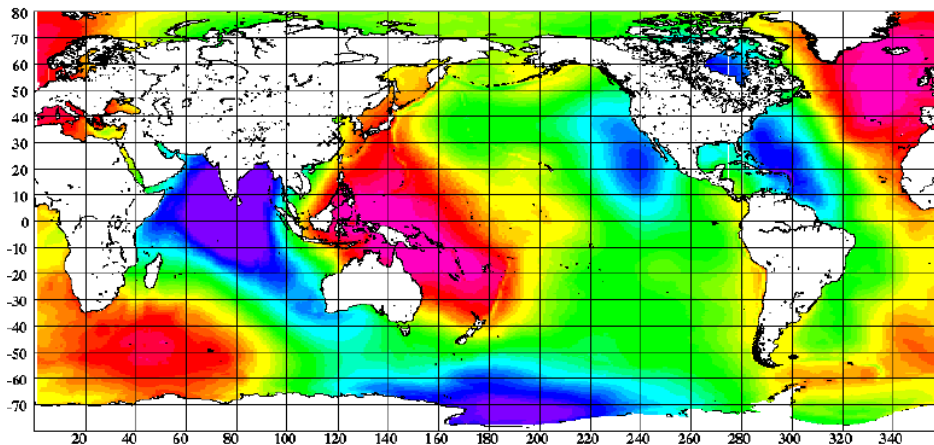
En 1986 se propuso la **International Absolute Gravity Base Station Network (IAGBN)** (Boedecker y Fritzer, 1986)



Marcos de referencia de alturas físicas



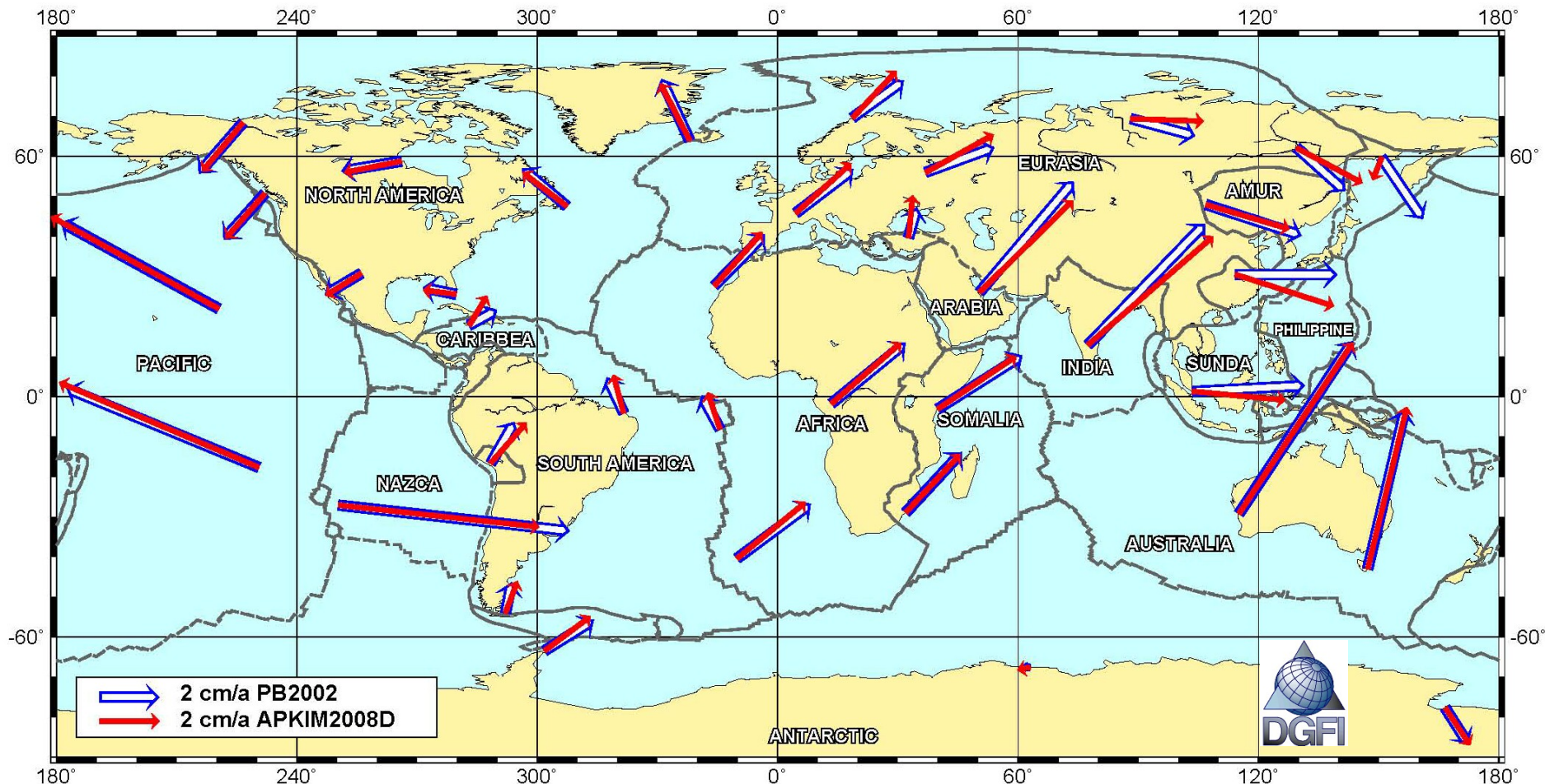
Alturas físicas dependen del campo de gravedad: alturas ortométricas, normales, dinámicas. Actualmente se refieren a mareógrafos locales, diferentes en todos los países. El desafío es (1) eliminar las discrepancias entre los sistemas y (2) referirlos a una superficie global (unificación). La tarea es definir y realizar la superficie por un valor del potencial (W_0) que mejor se aproxime al nivel medio del mar global, es decir el geoide según Gauss (1828) / Listing (1873)



A tal efecto se determina la superficie del mar por altimetría satelital (izquierda) y se calcula el potencial en cada punto (p.ej. $1' \times 1'$) con un modelo gravimétrico satelital (derecha).

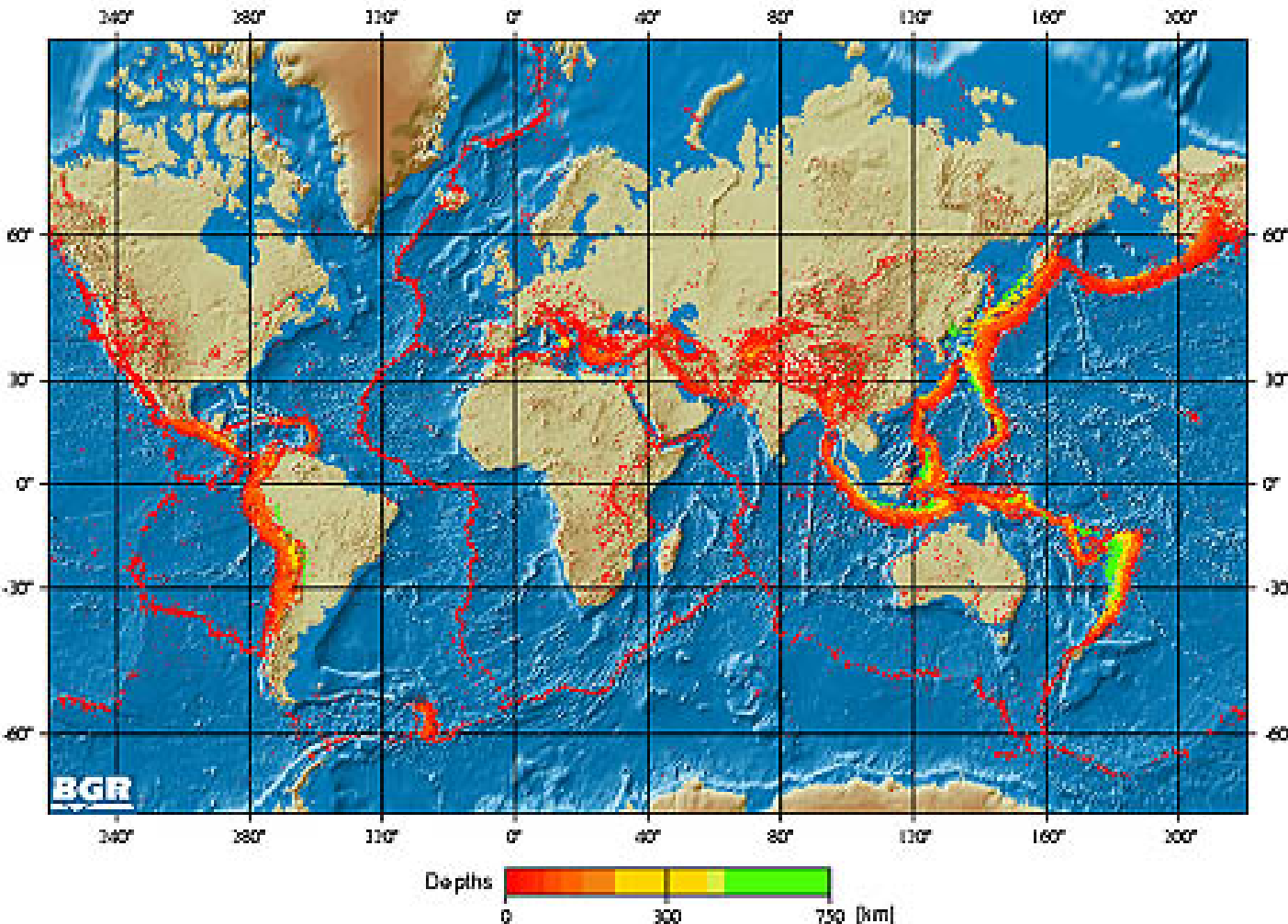
Desafío de la Tierra sólida: observar deformaciones terrestres

Las placas tectónicas se mueven uniformemente a largo plazo (millones de años). Conocemos bien las desviaciones a medio plazo (décadas).



Desafío de la Tierra sólida: monitorear terremotos

Distribución geográfica de terremotos

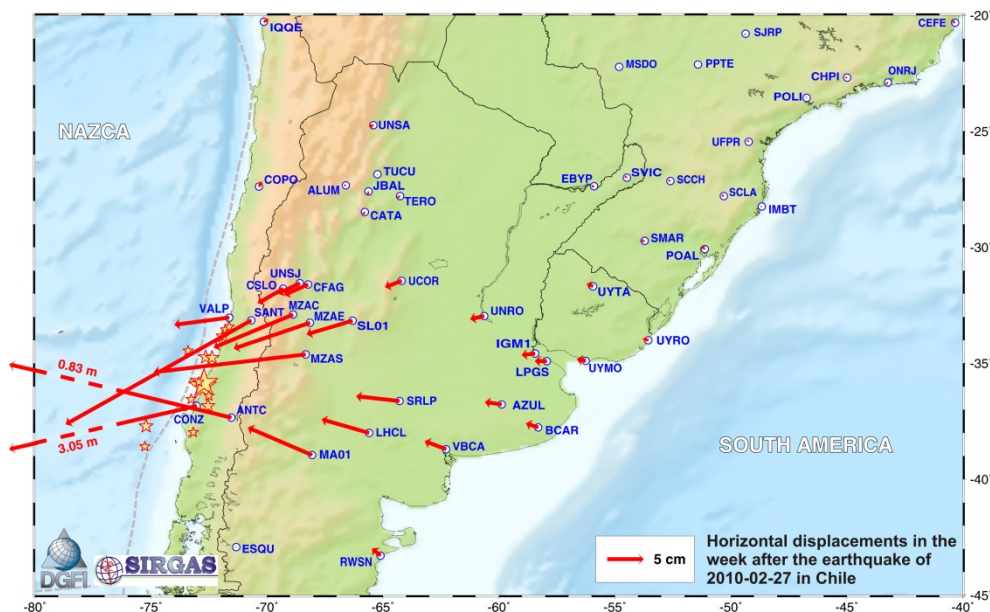


Los terremotos ocurren en zonas entre las placas tectónicas por la descarga de la tensión acumulada durante décadas.

De mediciones **geométricas** se pueden deducir las tensiones actuales.

Desafío de la Tierra sólida: monitorear deformaciones sísmicas

Deformación de la red SIRGAS-CON después de los terremotos en Chile, febrero de 2010



Desplazamiento horizontal después del terremoto en dirección hacia CONZ

El objetivo es buscar precursores de los terremotos en las observaciones.

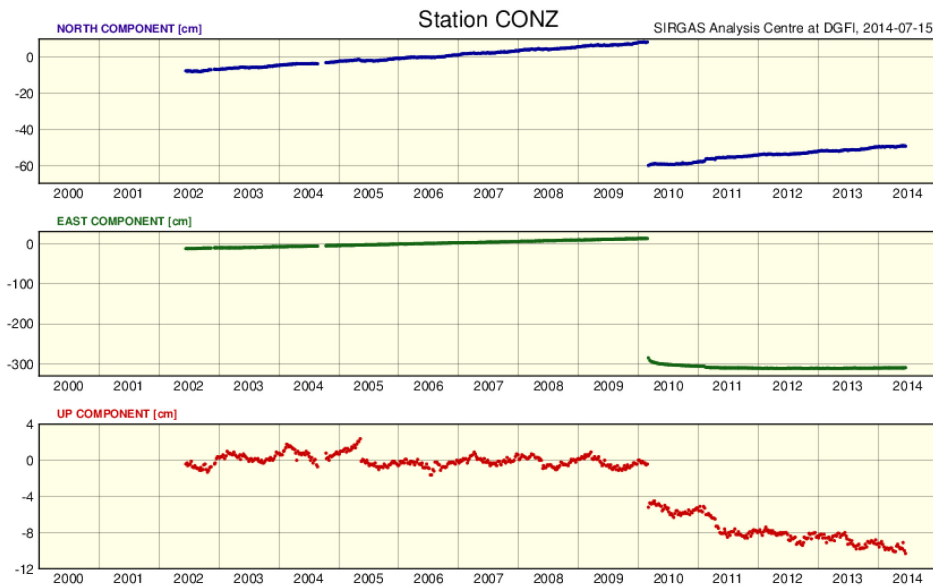
México, abril de 2010



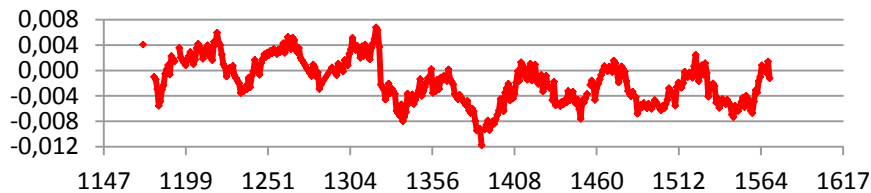
Guatemala, nov. de 2012



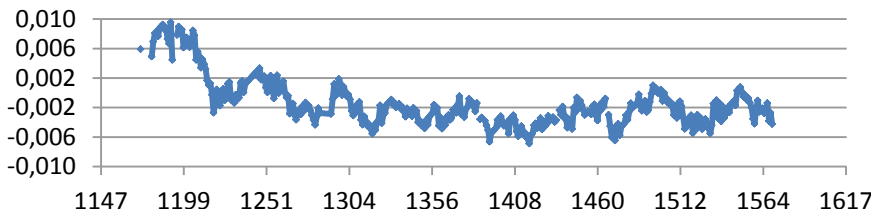
Desafío de la Tierra sólida: buscar precursores de terremotos



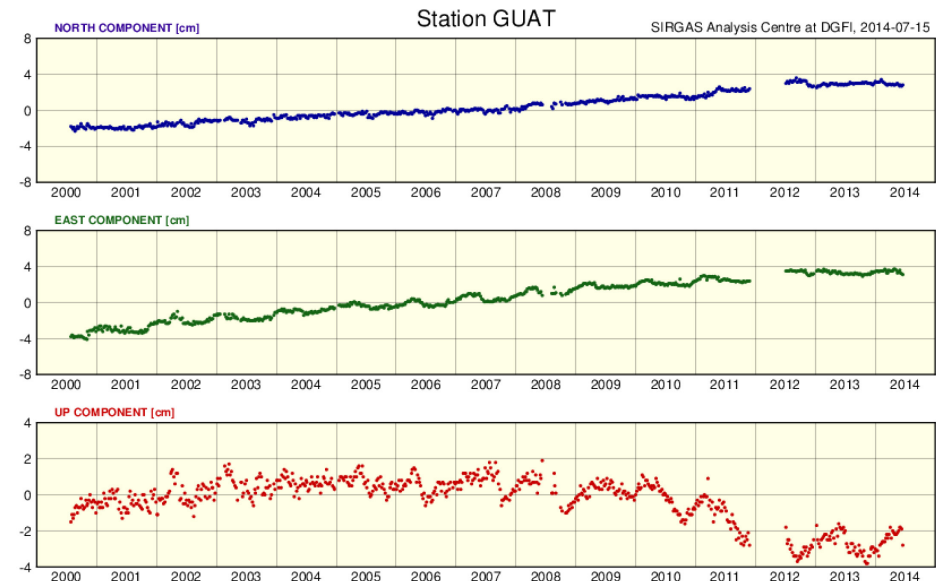
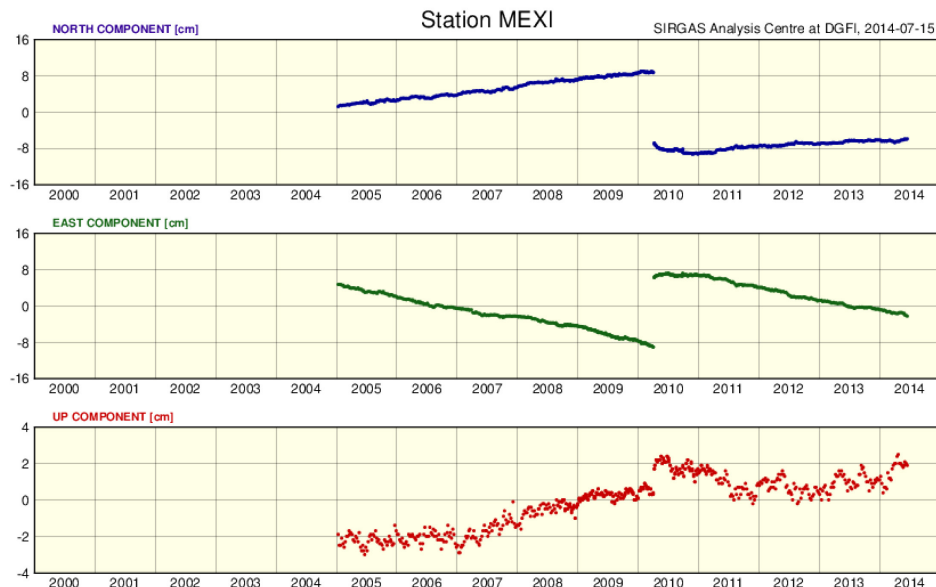
CONZ sir ($\Delta N - 0,0214 * \Delta t$)



CONZ sir ($\Delta E - 0,0340 * \Delta t$)

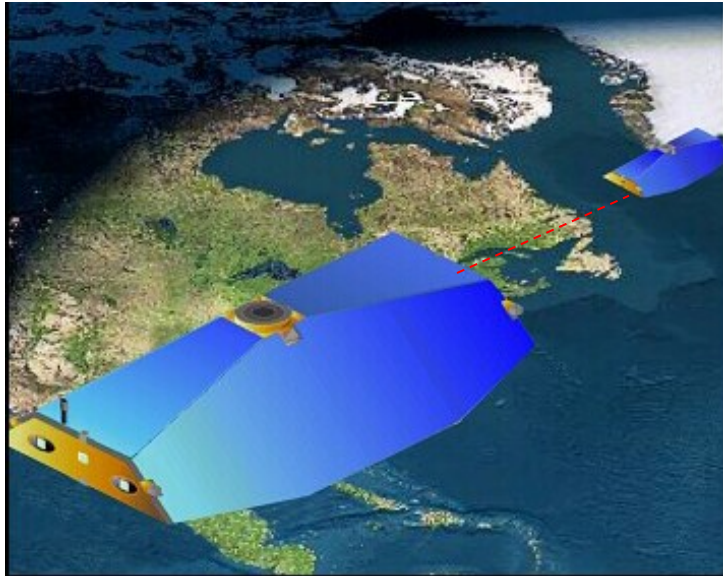


Year 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010



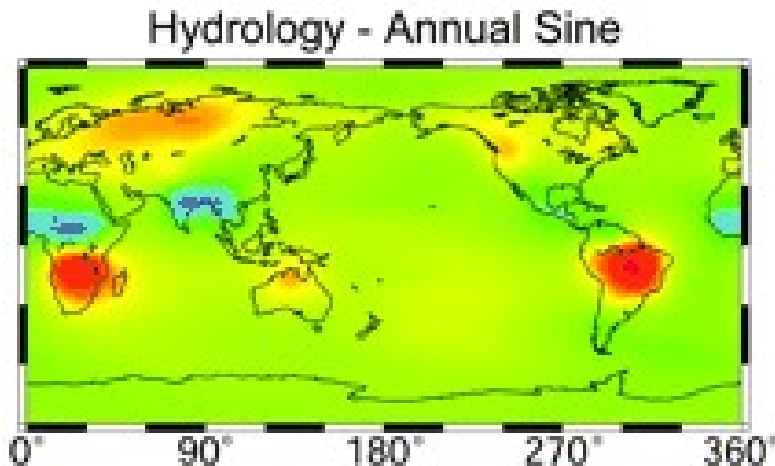
Desafío de la hidrosfera: índice del cambio global?

Hidrología y gravedad



En la misión satelital GRACE se mide, continuamente, la distancia entre dos satélites con precisión muy alta (μm). La distancia cambia por la atracción de masas terrestres heterogeneas. De estos cambios se calcúlan modelos de gravedad. La repetición de mediciones en épocas diferentes muestra el cambio de masas.

La variación mayor se genera por el cambio de masas fluidas (precipitación – evaporación – desagüe = acumulación del agua en el suelo)



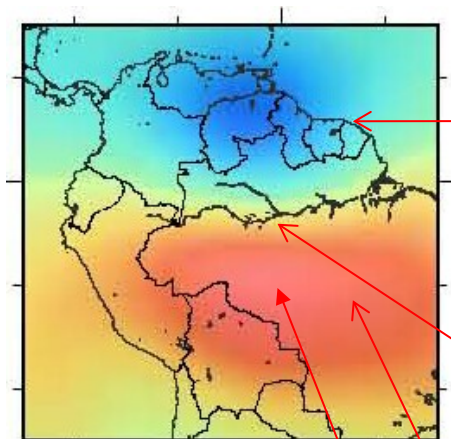
Variación del geoide

Hidrosfera: comparación de geometría y gravimetría

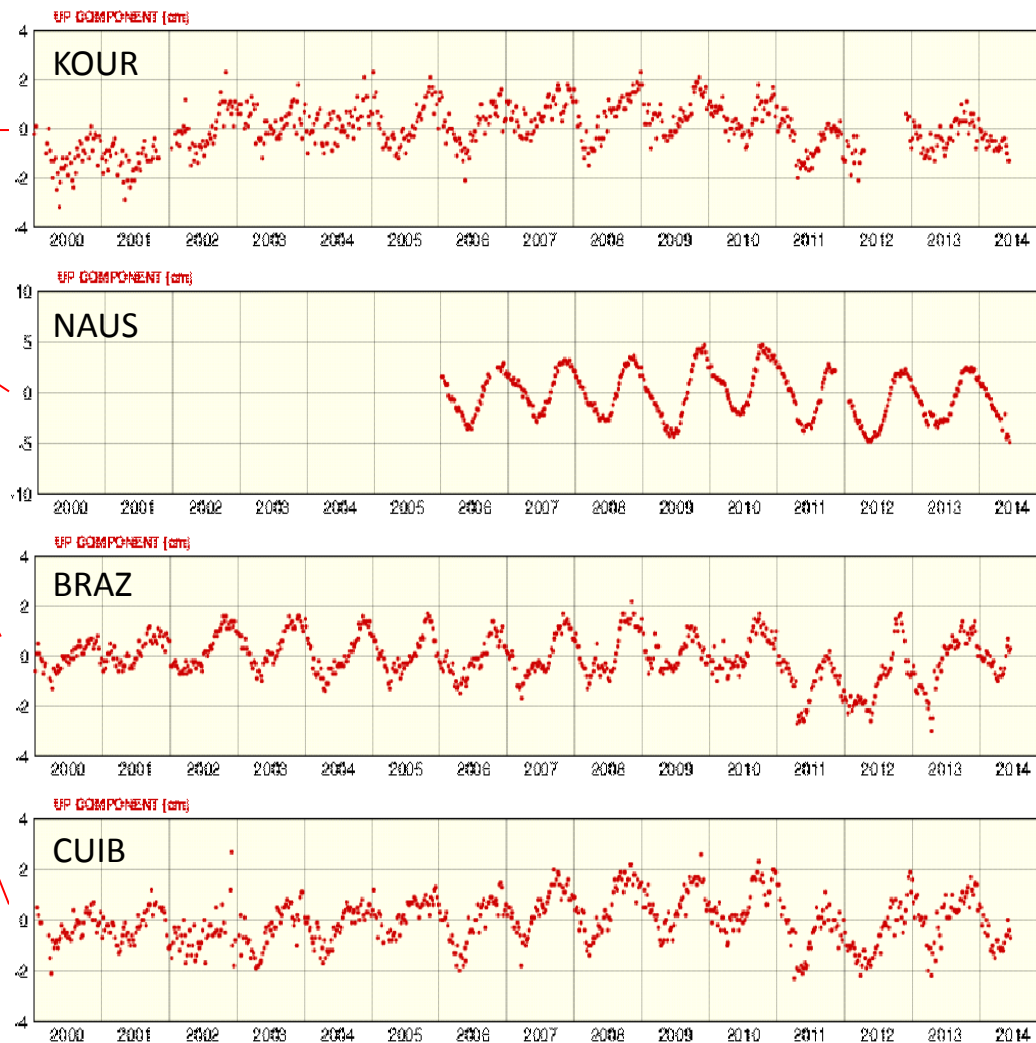
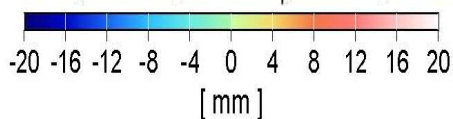
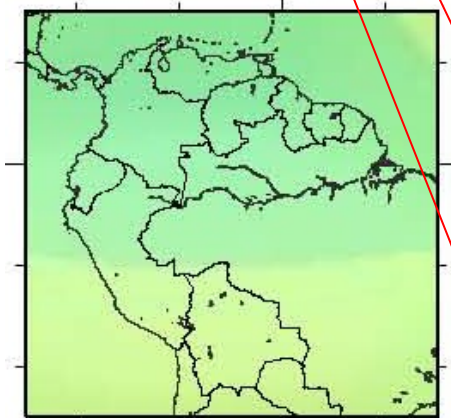
- Observaciones gravimétricas (geoide GRACE): desplazamientos de masas

- Observaciones geométricas (GPS): variación de alturas

Geoide en abril



Geoide en septiembre



Océanos: control del nivel del mar por mareógrafos

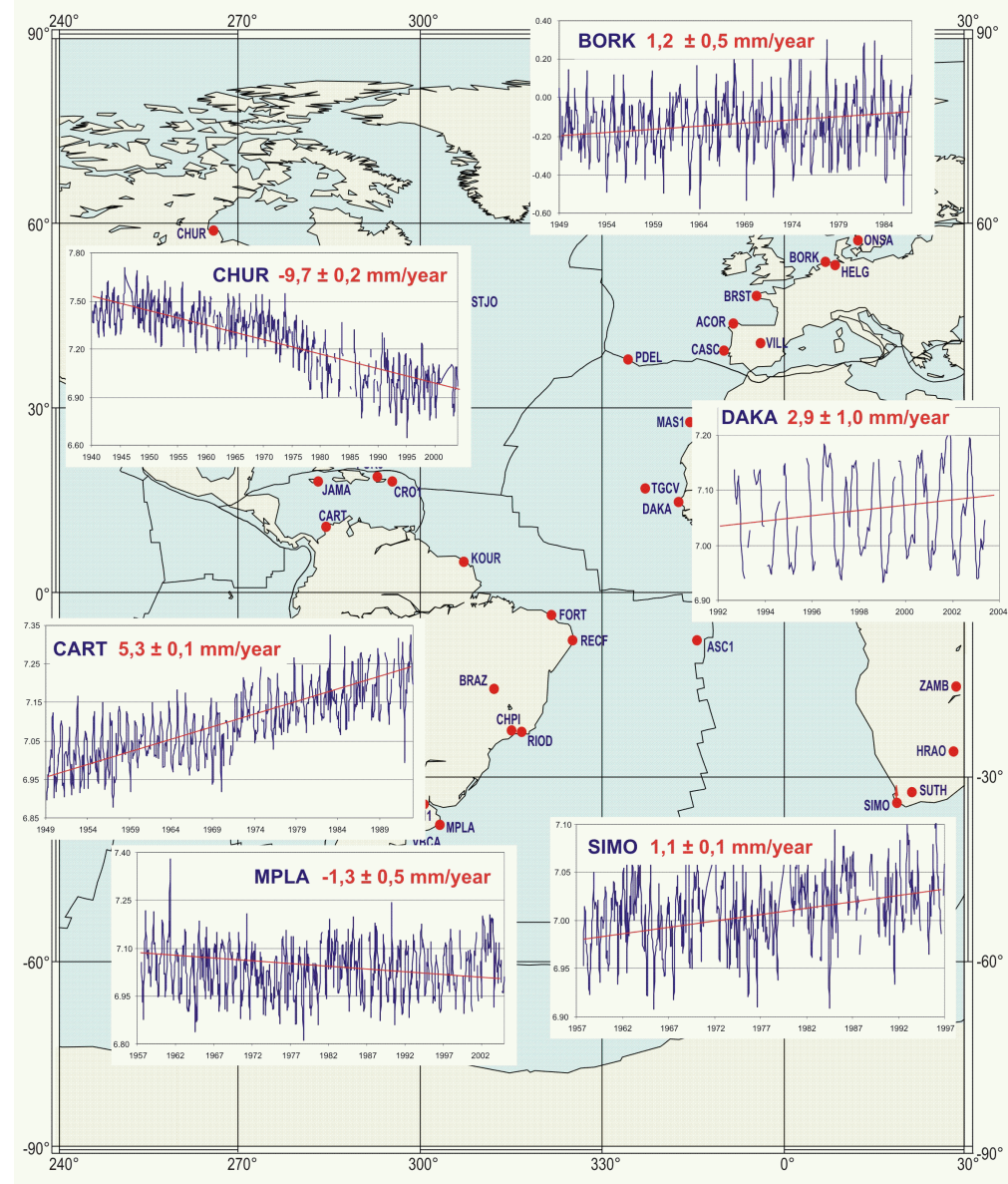
Registros de los mareógrafos muestran variaciones del nivel del mar muy diferentes, entre -9.7 mm/año y $+5.3 \text{ mm/año}$ en el Atlántico occidental.

Mucha gente tomó estas variaciones como medida de la subida del nivel del mar por el cambio del clima.

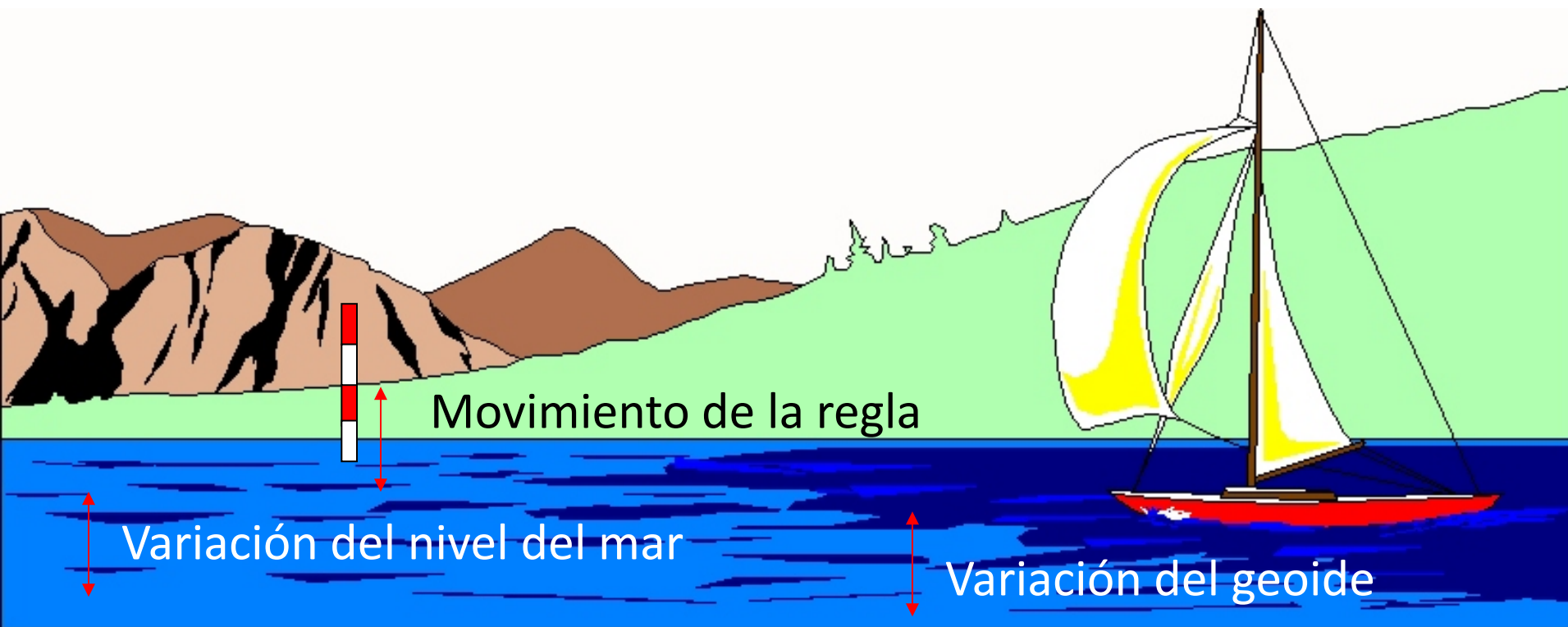
Pero hay un problema principal

...

Red del DGFI dentro del Grupo de Trabajo IGS TIGA (Tide Gauge Monitoring)



Causas de las variaciones en mareógrafos



Consecuencias:

- Hay que controlar los movimientos verticales de los mareógrafos por mediciones GNSS
- Hay que determinar las variaciones del geoide por métodos gravimétricos

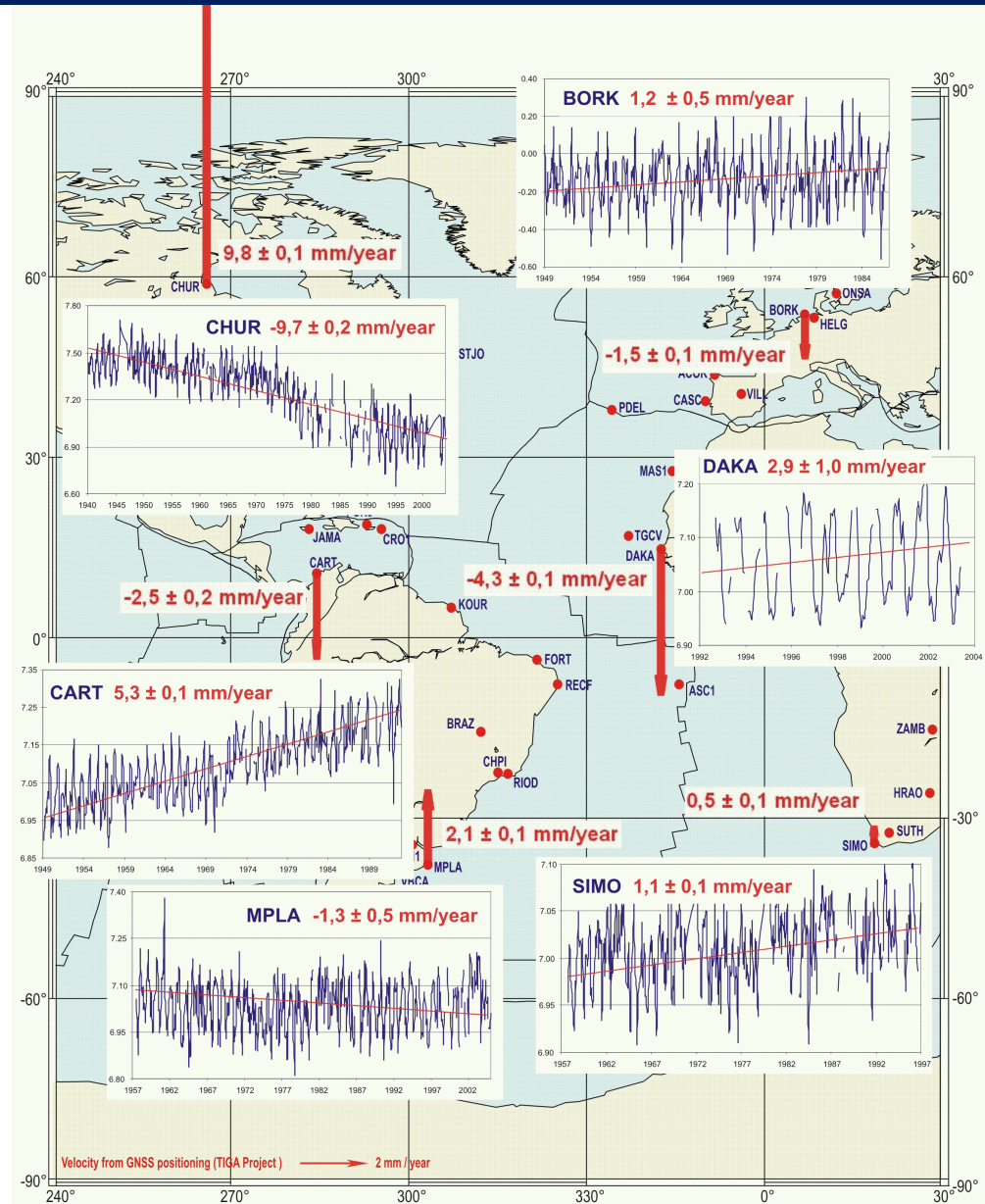
Control de los movimientos de los mareógrafos

La variación es la suma del movimiento de la superficie del mar y del mareógrafo:

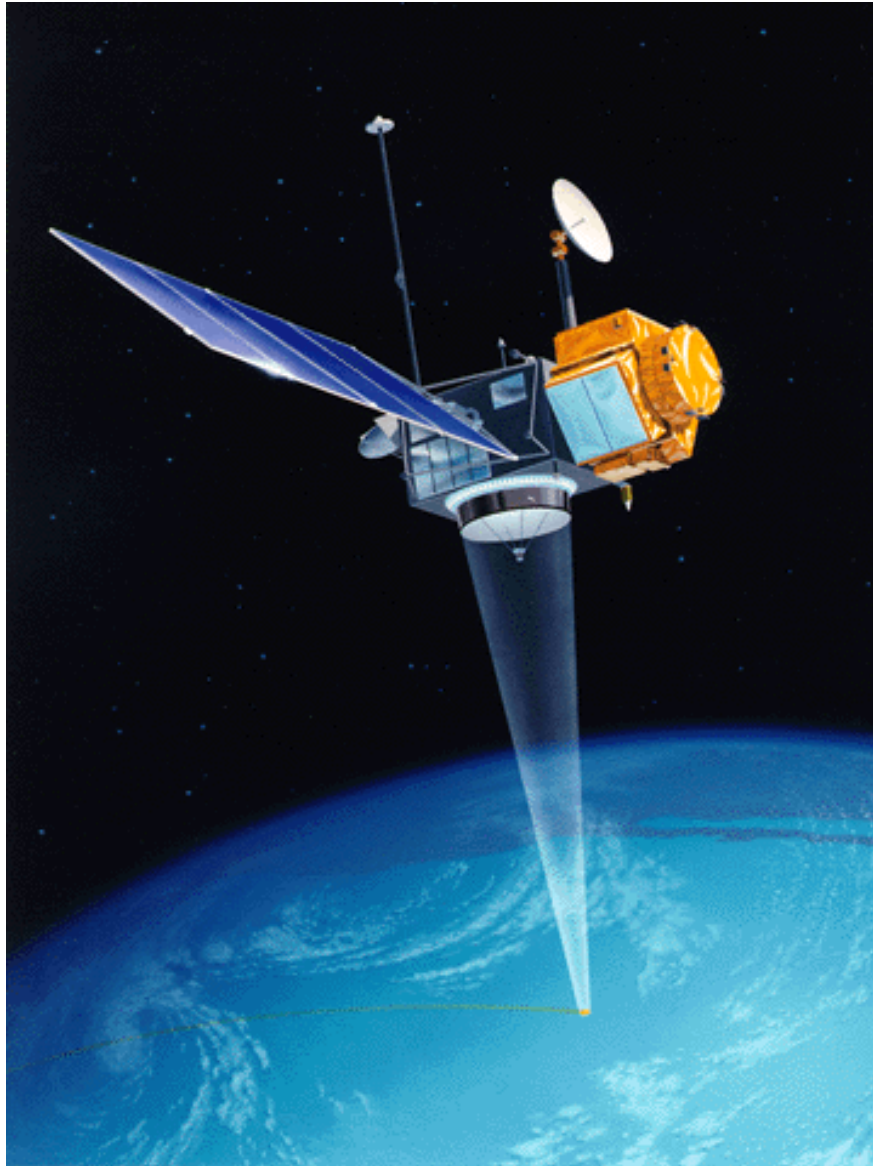
BORK	$1.2 - 1.5 = -0.3 \text{ mm/a}$
CHUR	$-9.7 + 9.8 = 0.1 \text{ mm/a}$
DAKA	$2.9 - 4.3 = -1.4 \text{ mm/a}$
CART	$5.3 - 2.5 = 2.8 \text{ mm/a}$
SIMO	$1.1 + 0.5 = 1.6 \text{ mm/a}$
MPLA	$-1.3 + 2.1 = 0.8 \text{ mm/a}$

El control de los mareógrafos es un objetivo de SIRGAS.

Un complemento del control de la superficie del mar es la altimetría satelital.



Control de la superficie del mar en los océanos



La altimetría por satélites mide la distancia entre un satélite y la superficie del mar por radar.

Misiones importantes son:

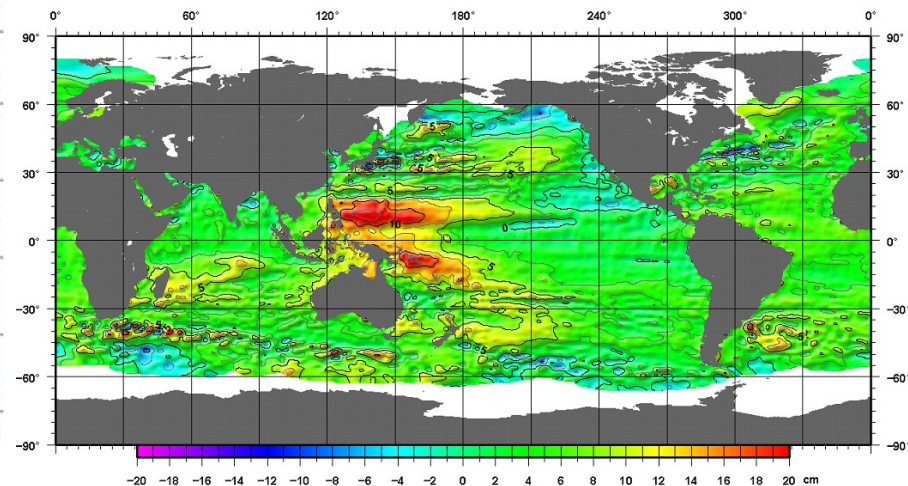
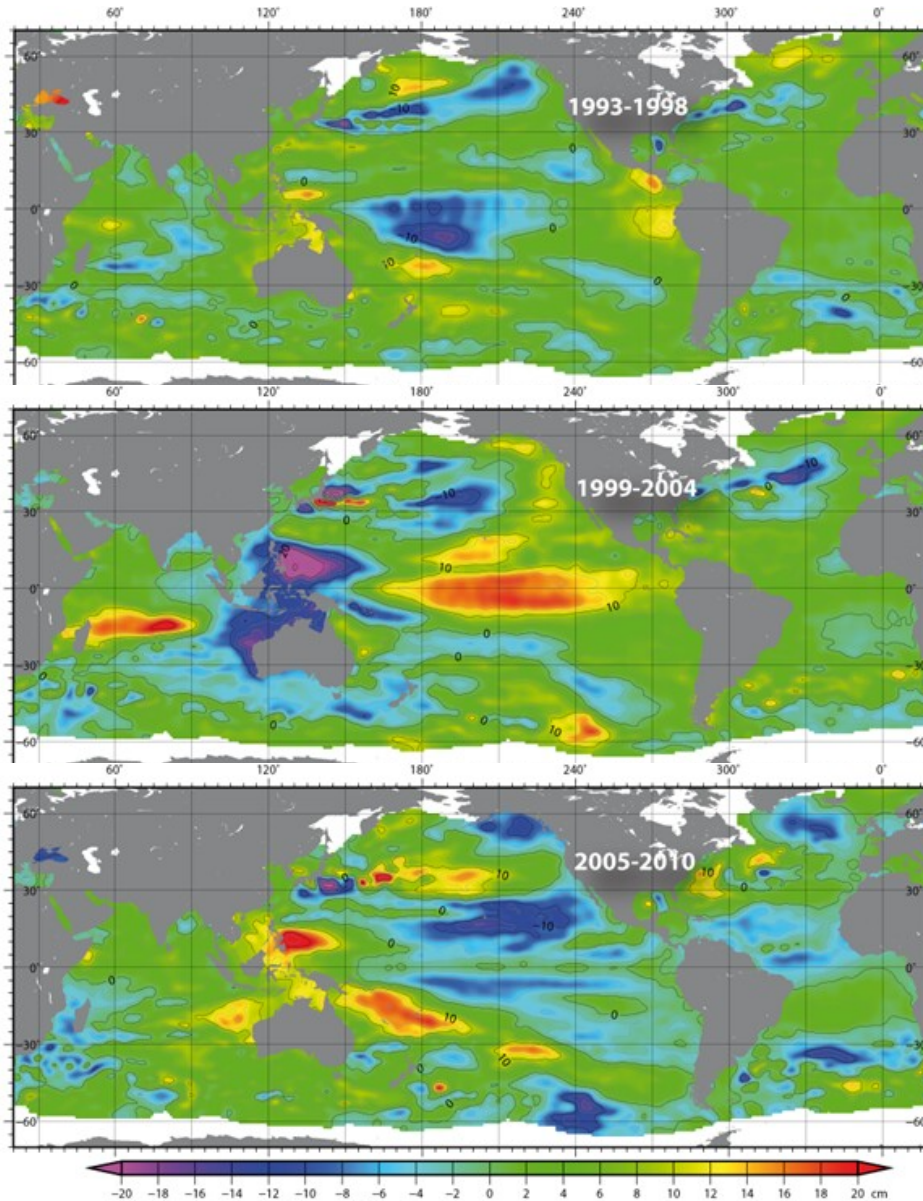
- GFO
- TOPEX/Poseidon
- Jason 1 / 2
- ENVISAT

Por combinación de las misiones se obtiene un registro continuo de la variación de la superficie del mar por décadas.

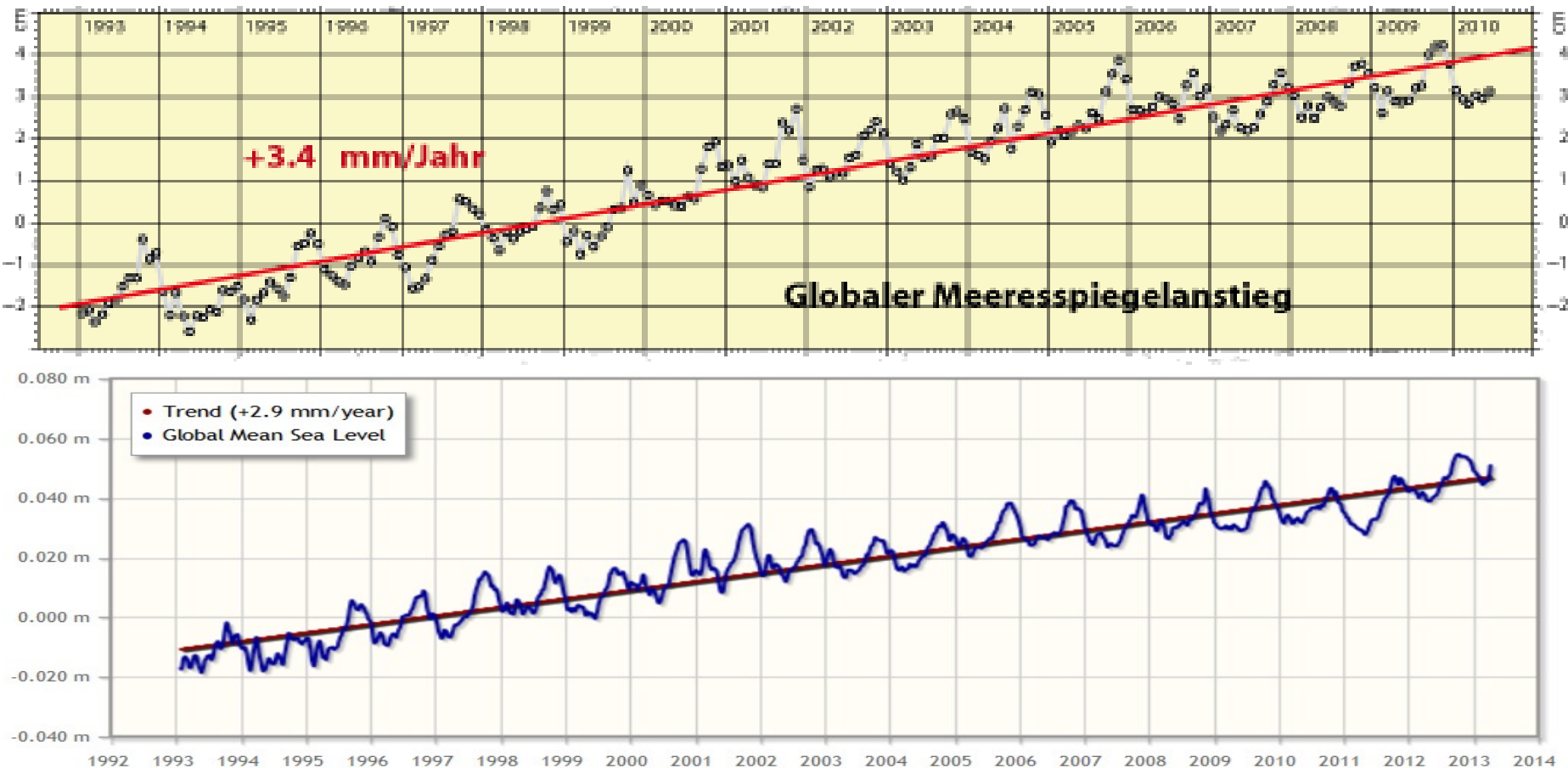
Variación de la superficie del mar

El cambio de la superficie del mar no es uniforme (ni en el tiempo, ni geográficamente).

El promedio de la variación de la superficie del mar depende del periodo seleccionado.
(↓ octubre 1992–octubre 2009)



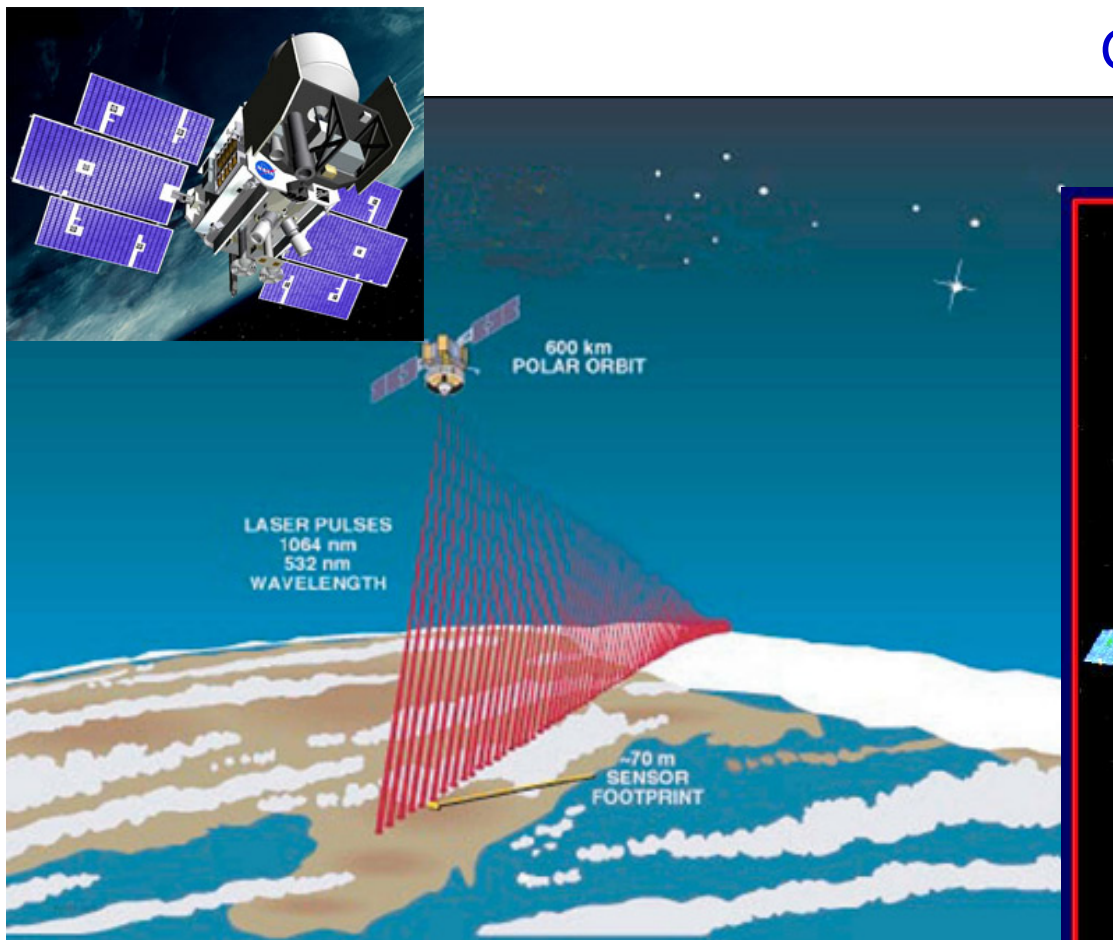
Variación de la superficie del mar



Problemas:

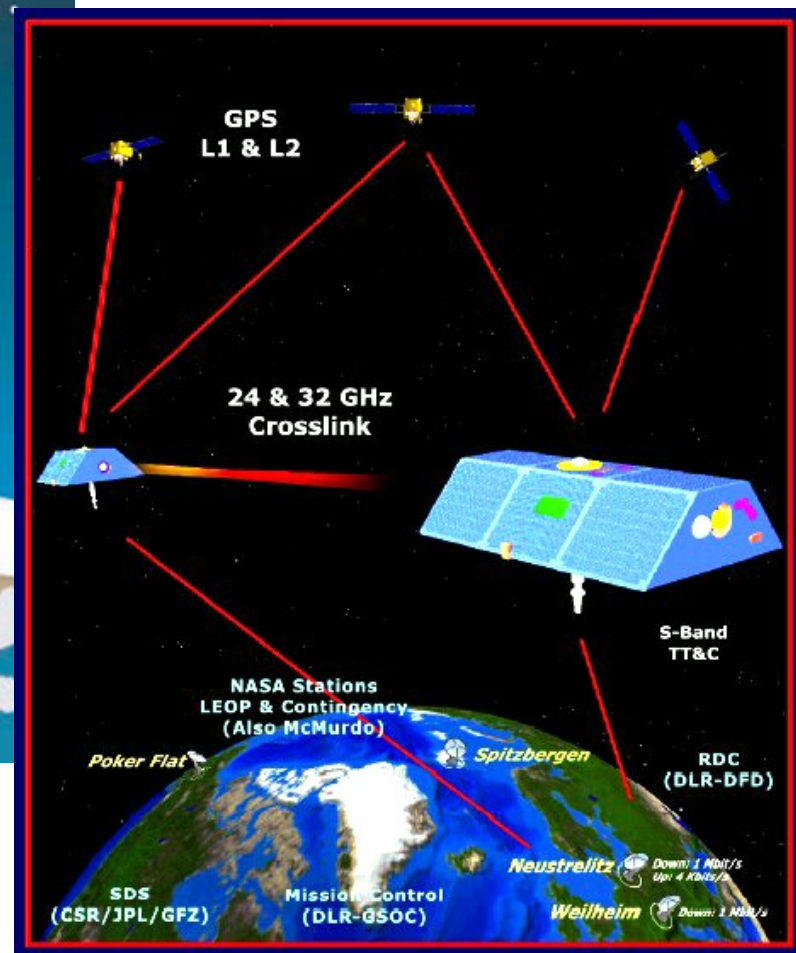
¿ Hay una aceleración en la subida del nivel del mar causada por intervención humana?
Las órbitas de los satélites son la referencia principal de la altimetría satelital. Se calculan con el ITRF. Los mareógrafos sirven para la calibración de la altimetría satelital.
Para satélites nuevos hay que cuidar la órbita correcta y la calibración.

Desafío de la criósfera: control de las capas glaciales

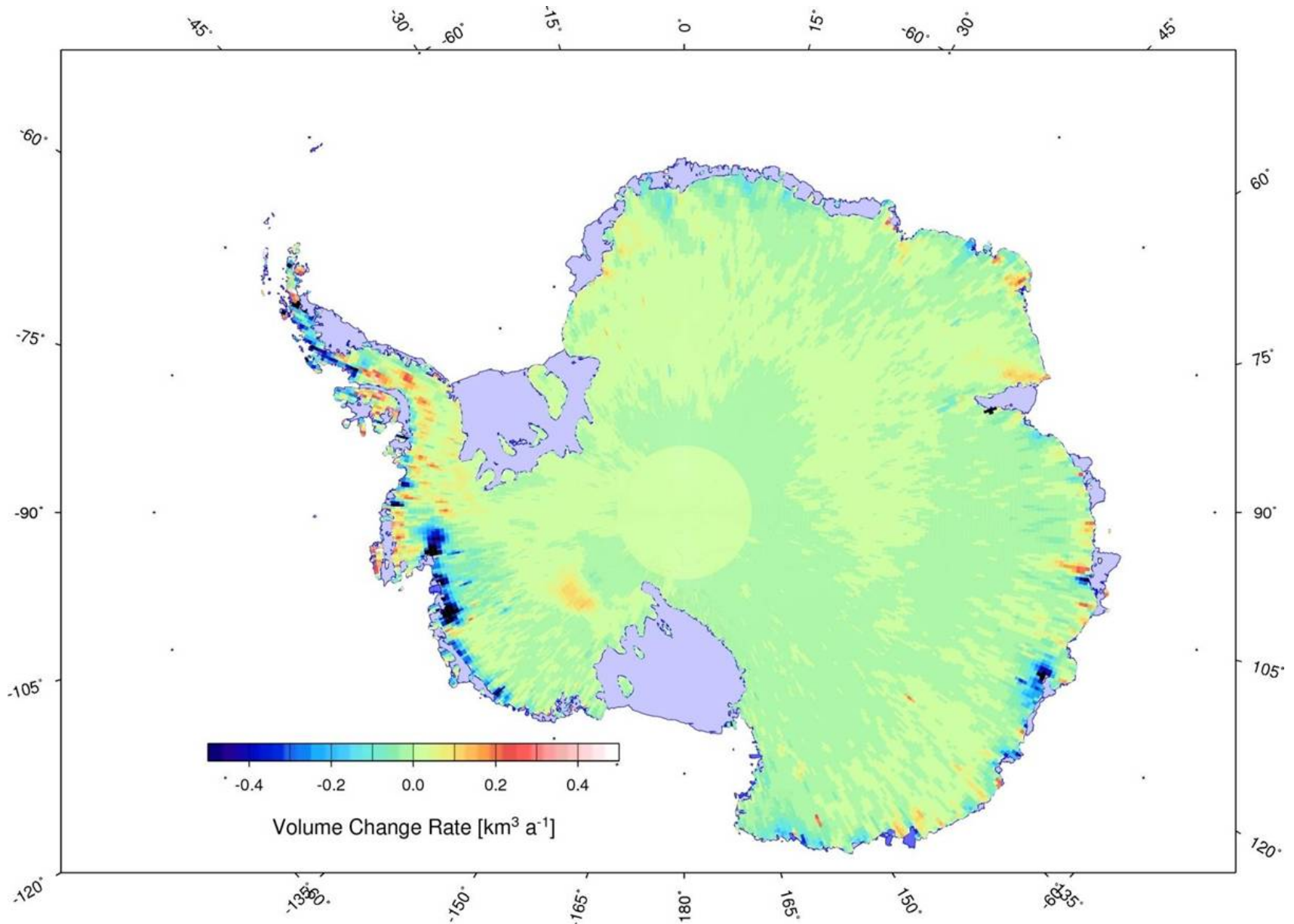


ICESat / GLAS (Laser Altimeter)
muestra las variaciones geométricas

GRACE muestra variaciones
del campo de la gravedad



ICESat: Variaciones de alturas en Antártida



ICESat: Variaciones del volumen de masas en Antártida

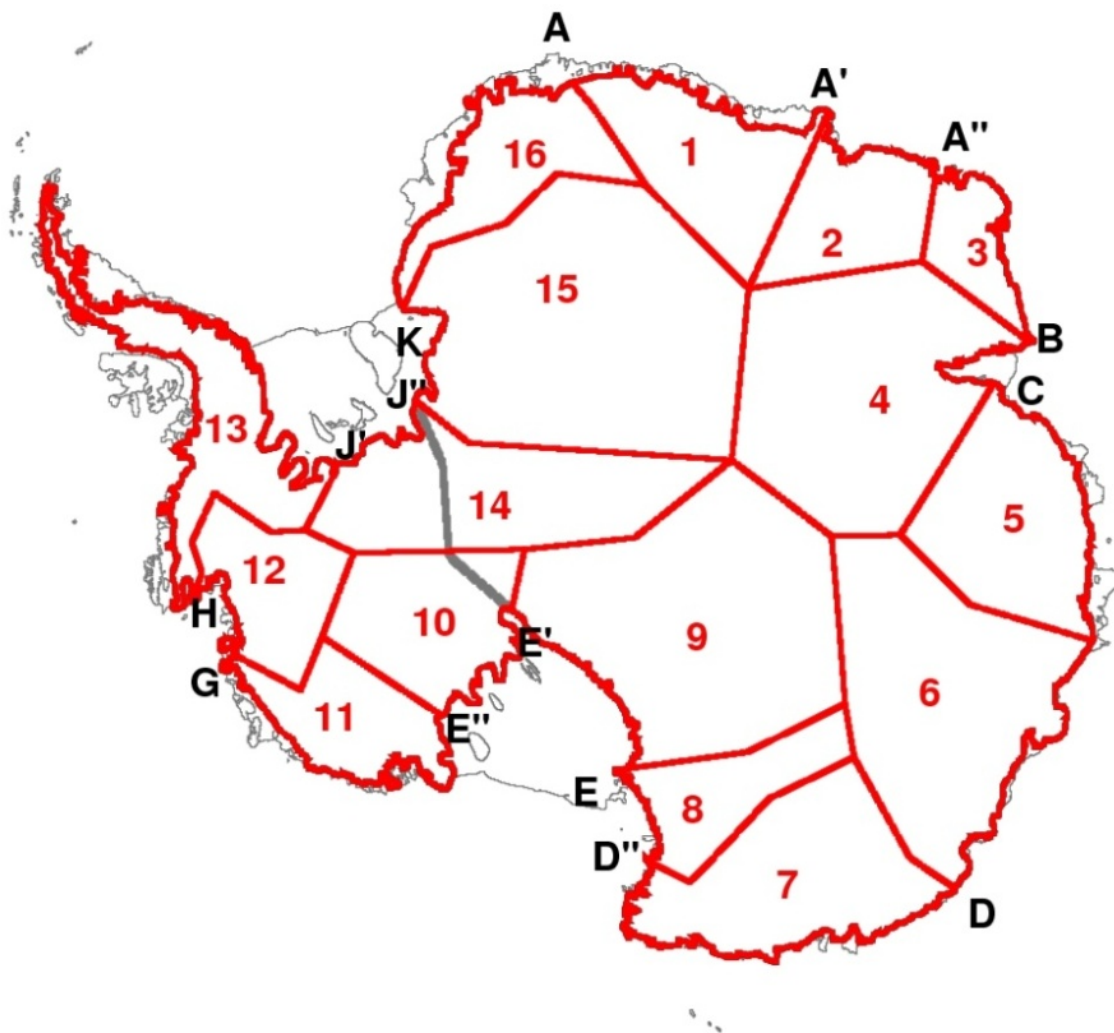
Variaciones principales
en Antártida occidental
($-160^\circ < \lambda < 0^\circ$)

13: $15,4 \pm 4,6 \text{ km}^3/\text{a}$

12: $-95,3 \pm 3,7 \text{ km}^3/\text{a}$

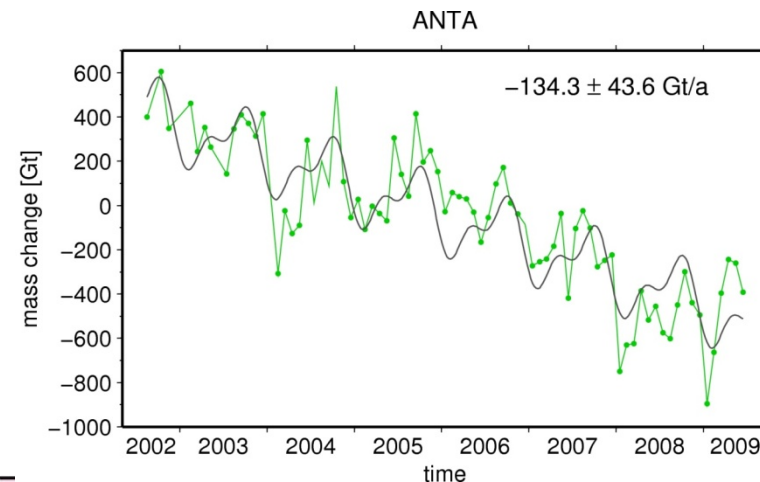
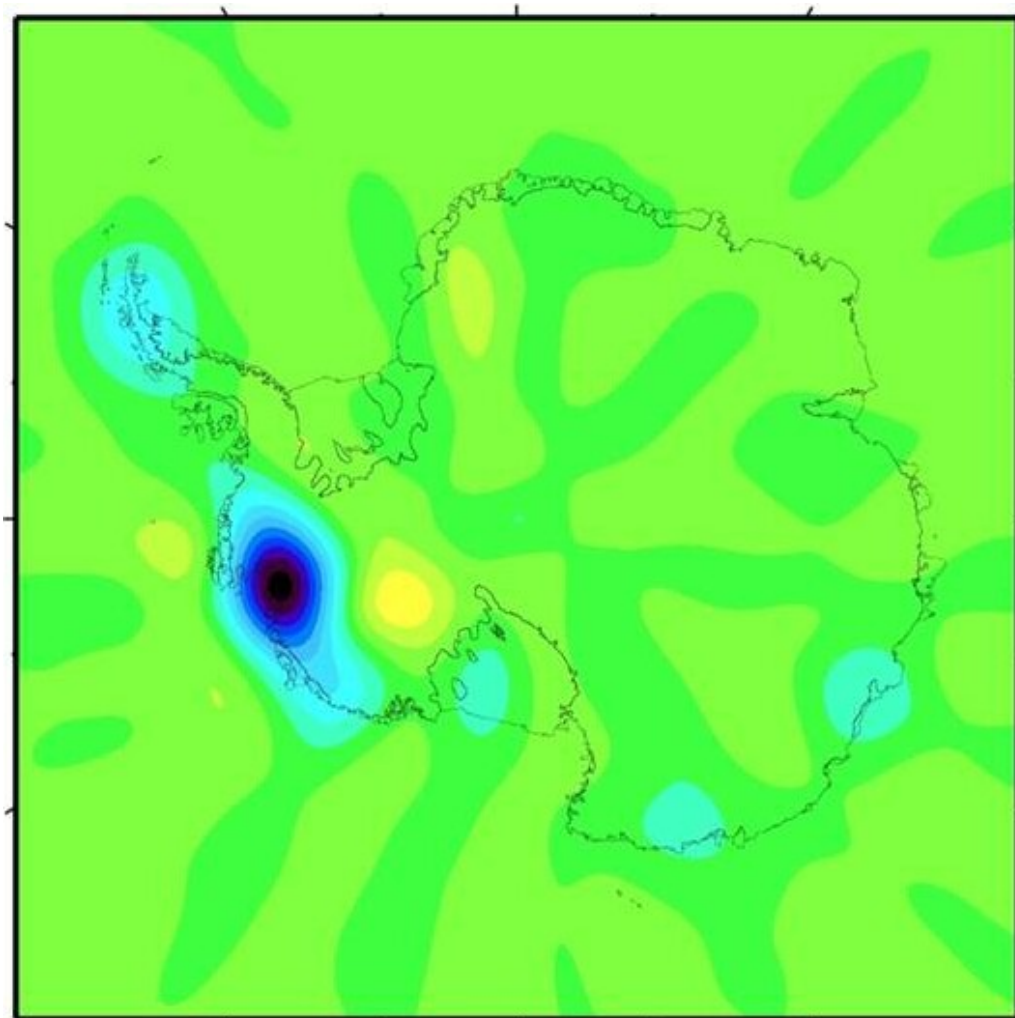
11: $-20,4 \pm 2,8 \text{ km}^3/\text{a}$

Total: $-137,4 \pm 8,4 \text{ km}^3/\text{a}$



ICESat: Variaciones del atracción de masas en Antártida

GFZ Potsdam, Release 04, 08/2002 ... 06/2009, GIA-Model red.



Serie vs. modelo

$-134,3 \pm 43,6 \text{ Gt/a}$

Equivalente al nivel
de agua [mm/a]

Comparación de geometría y gravimetría

Pérdida de volumen ICESat: $-137,4 \text{ km}^3/\text{a}$
Pérdida de masa de GRACE: $-134,3 \text{ Gt/a}$ } Densidad de masas:
 $0,98 \pm 0,06 \text{ g/cm}^3$

13: $13,8 \pm 9,8 \text{ Gt/a}$
 $-27,0 \pm 26,2 \text{ Gt/a}$

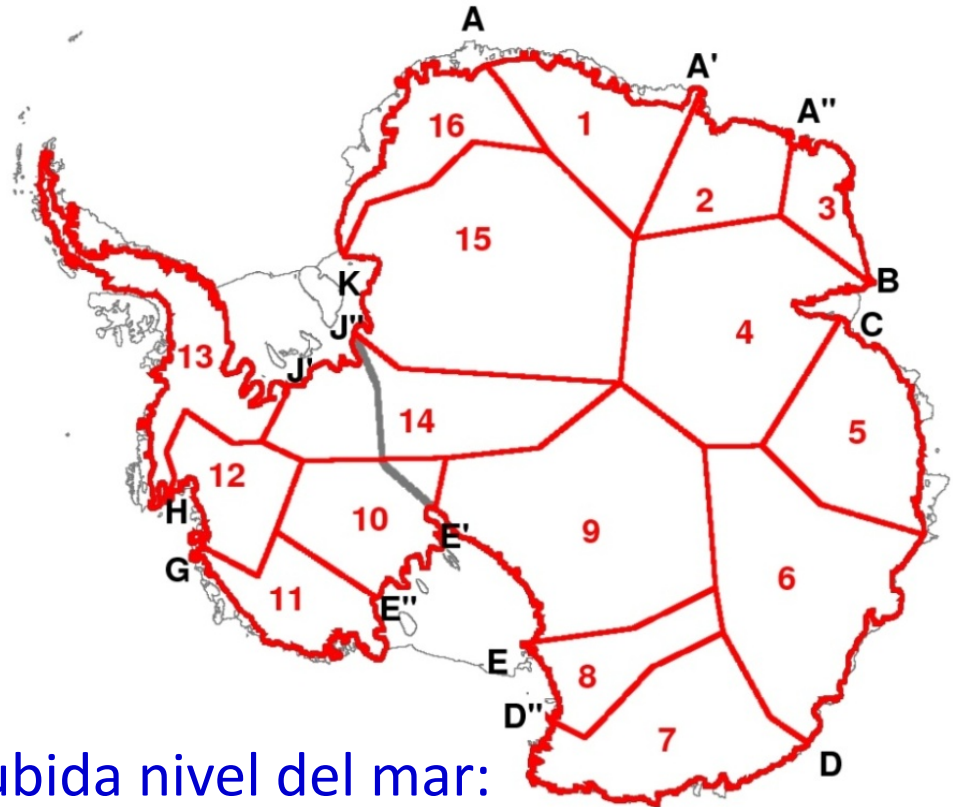
12: $-85,7 \pm 18,4 \text{ Gt/a}$
 $-67,0 \pm 6,5 \text{ Gt/a}$

11: $-18,3 \pm 6,9 \text{ Gt/a}$
 $-26,8 \pm 5,5 \text{ Gt/a}$

Total:

$-123,6 \pm 28,3 \text{ Gt/a}$
 $-134,3 \pm 43,6 \text{ Gt/a}$

Subida nivel del mar:
 $0,36 \pm 0,07 \text{ mm/a}$
($0,52 \pm 0,05 \text{ mm/a}$ por Groenlandia)

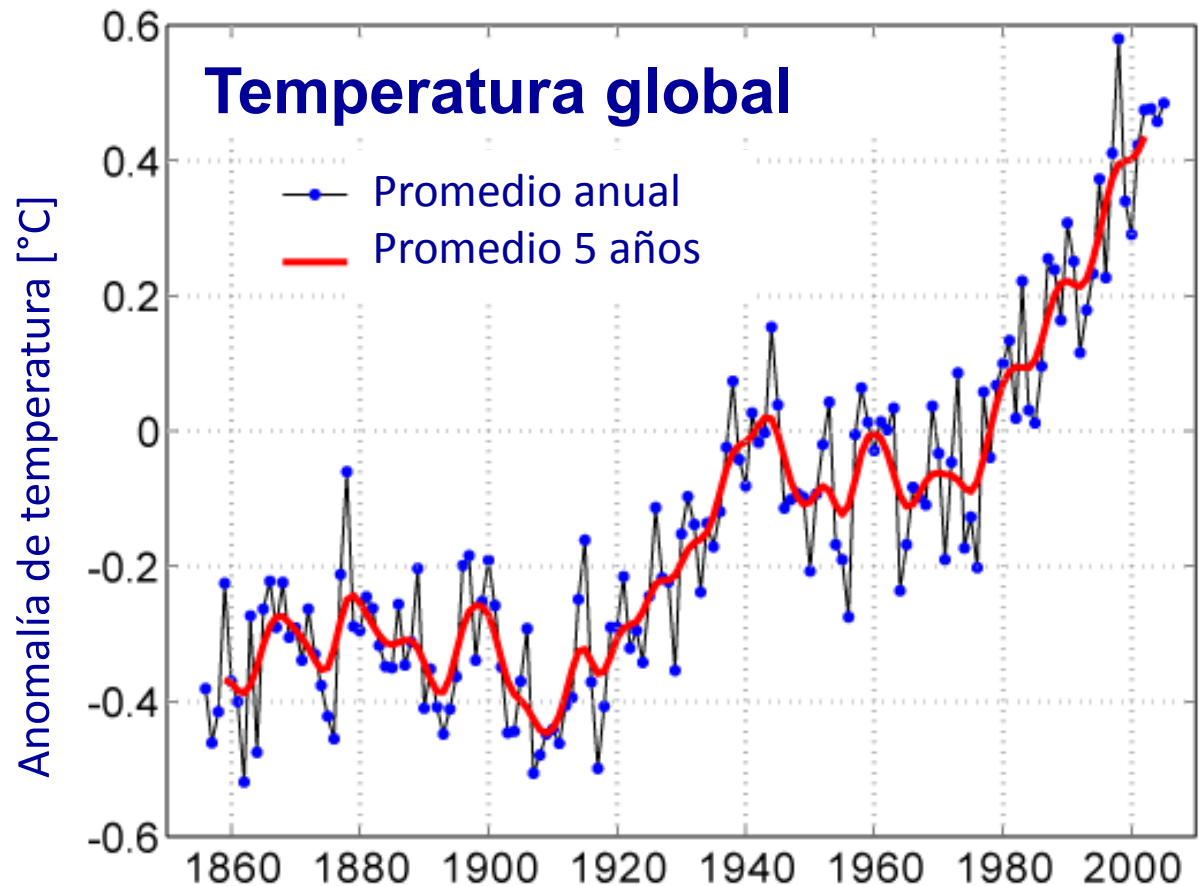


Control de la atmósfera

Uno de los efectos del cambio global más discutido es el calentamiento de la atmósfera (efecto invernadero, “greenhouse effect”).

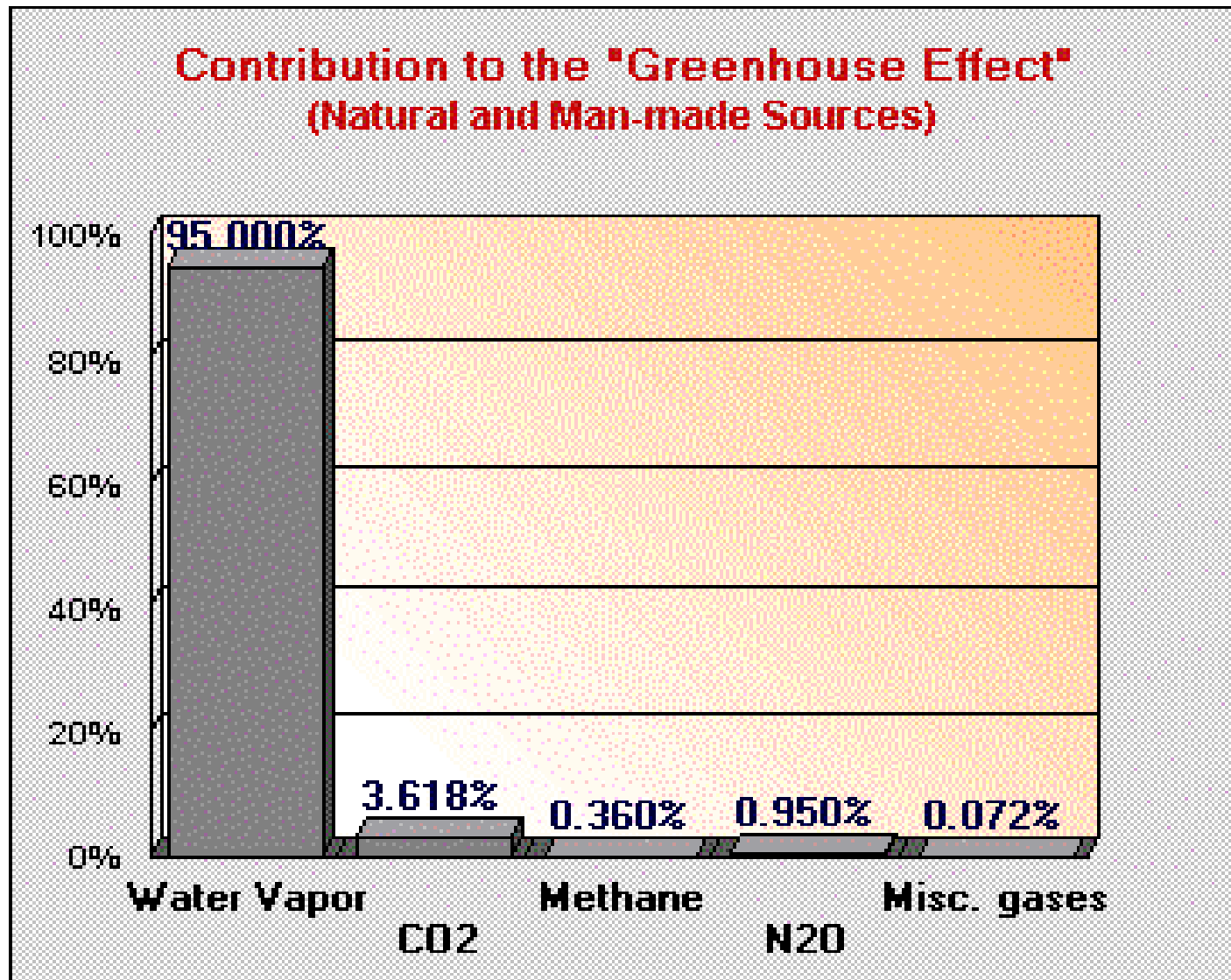
Hay un cambio dramático entre 1910 y 1940, así como desde 1975 hasta el presente en la temperatura global.

Las causas del efecto se discuten con controversia.

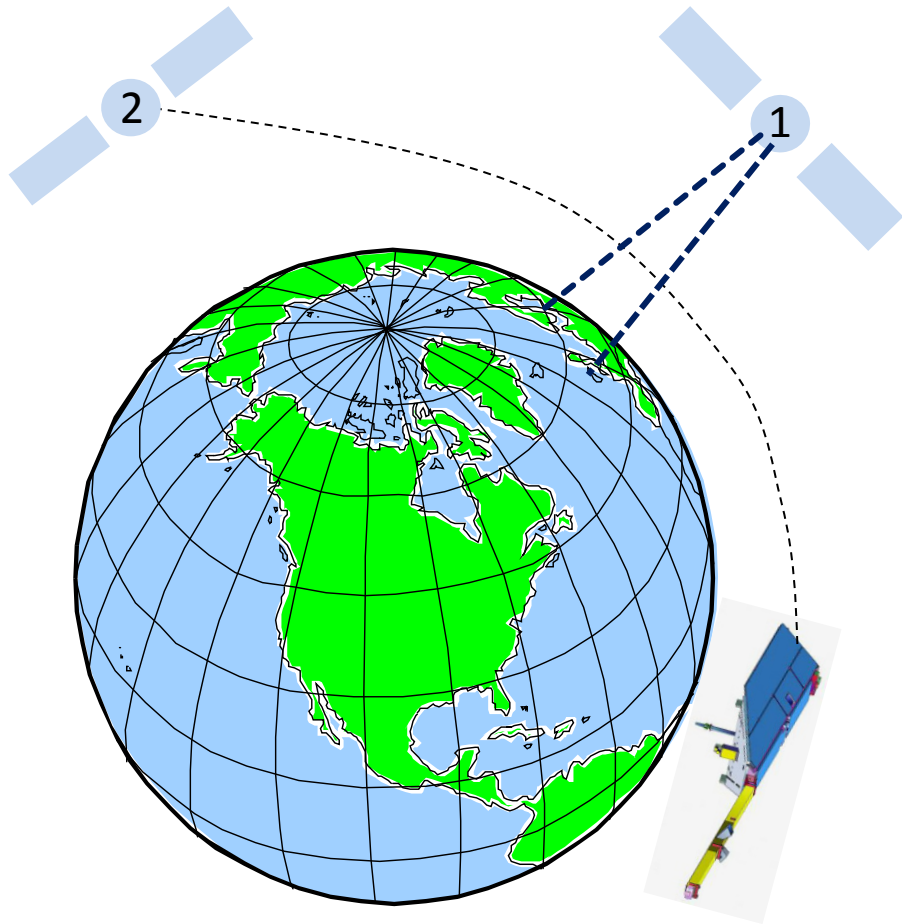


Contribución del efecto Greenhouse

95 % se genera por vapor del agua de la atmósfera



Vapor de agua en la atmósfera



1. Sondeo atmosférico por GNSS basado en Tierra: Estimación del vapor de agua por redes terrestres.
2. Sondeo atmosférico por GNSS basado en espacio: Observaciones de la ocultación entre satélites.
3. Resultado: Perfiles globales verticales y esféricos.

<http://www.gfz-potsdam.de>

Principio: Medir el retraso de las señales (refractividad) GNSS entre posiciones „conocidas“ en Tierra y satélites.

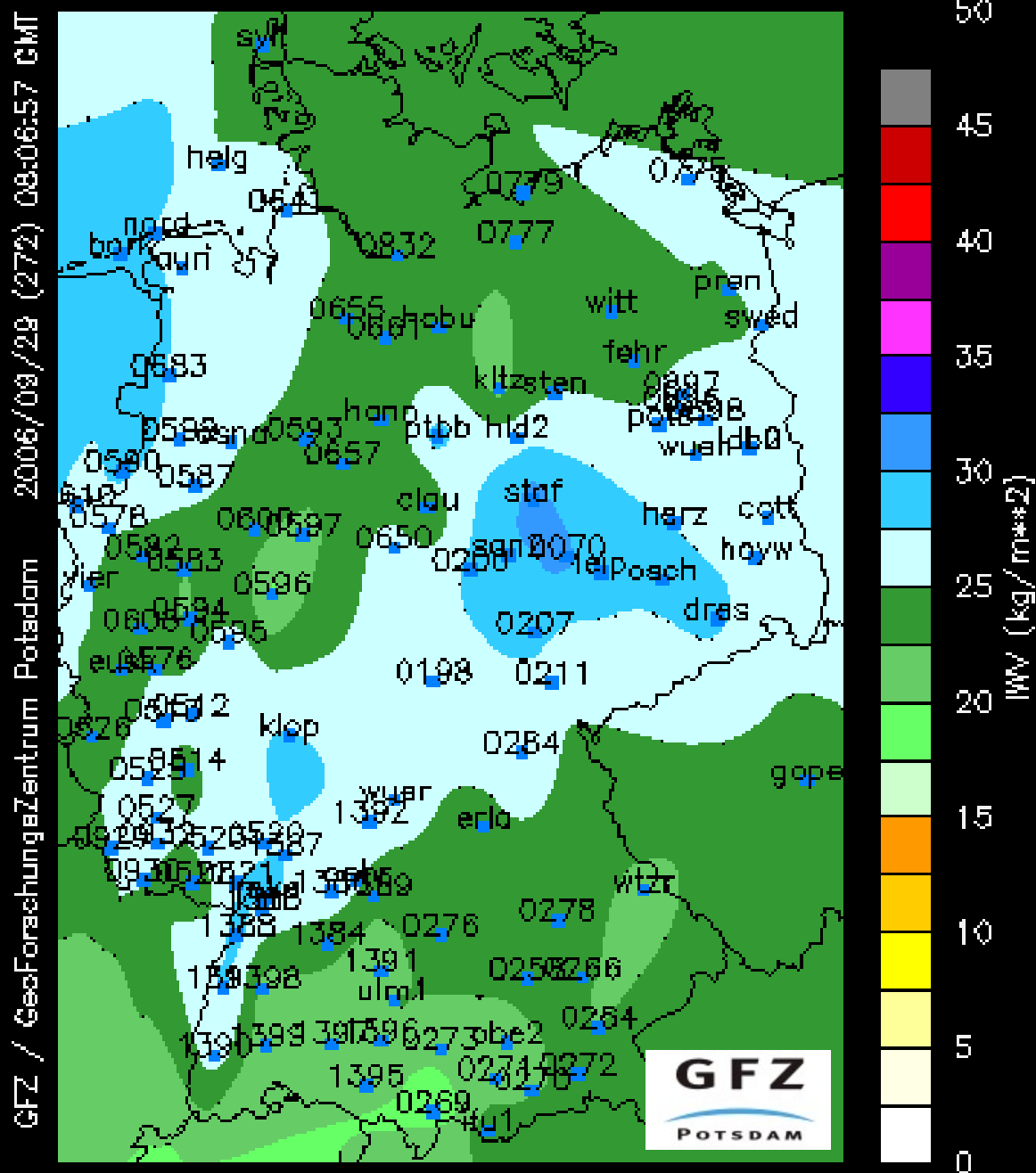
Sondeo de la atmósfera

Red de Alemania:

Estimación horaria del vapor integrado de agua (IWP) en la atmósfera.

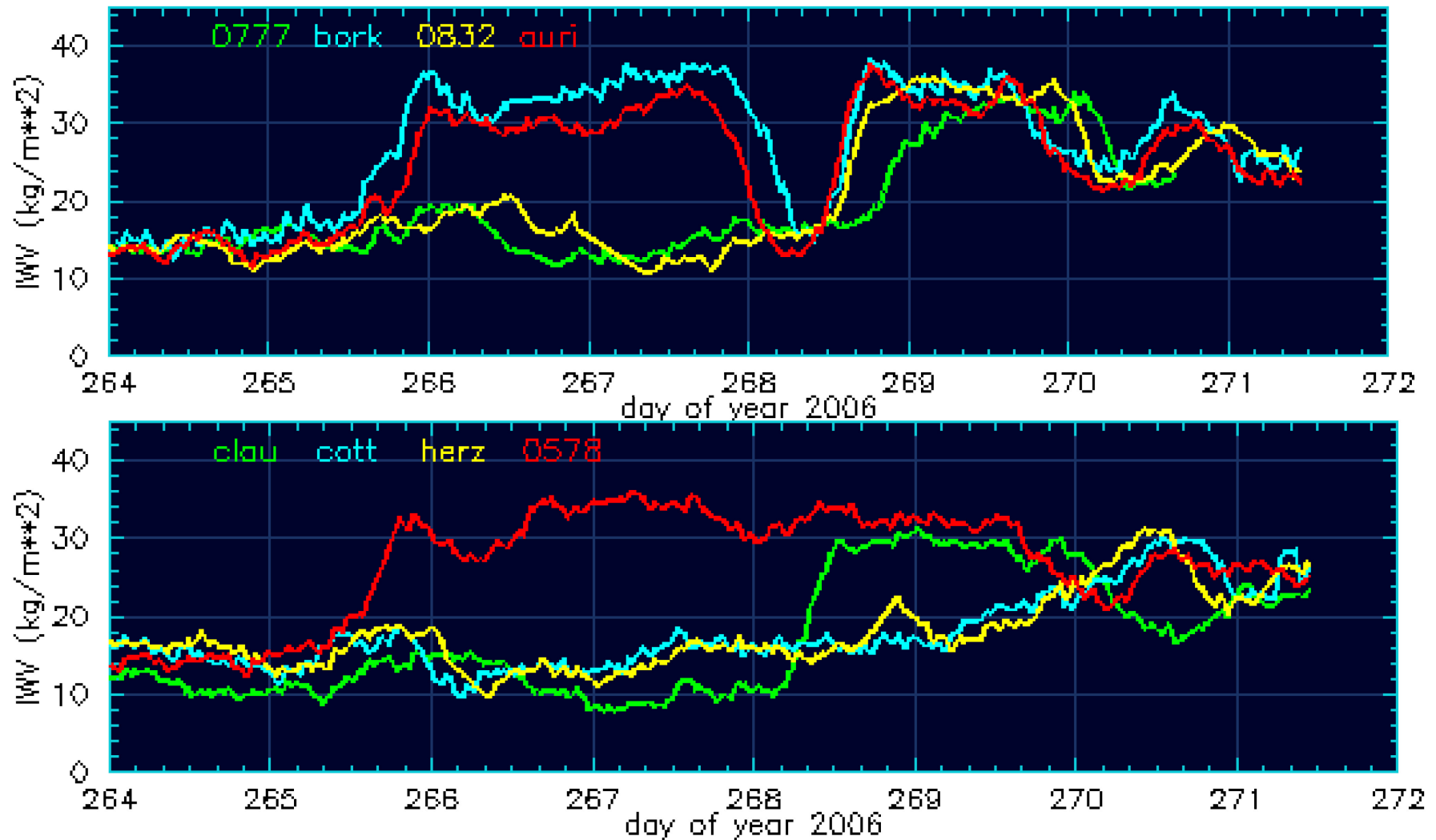
Esto es un desafío de todos los países como complemento a los servicios regionales de meteorología.

2006/09/28 (271) 19:15 GMT



Series de tiempo del IWV de estaciones

Tendencia común en series de tiempo del IWV indica cambio global



Series de tiempo del IWV de estaciones

Parámetros troposféricos medidos: Cambio del retardo zenital (ZTD)

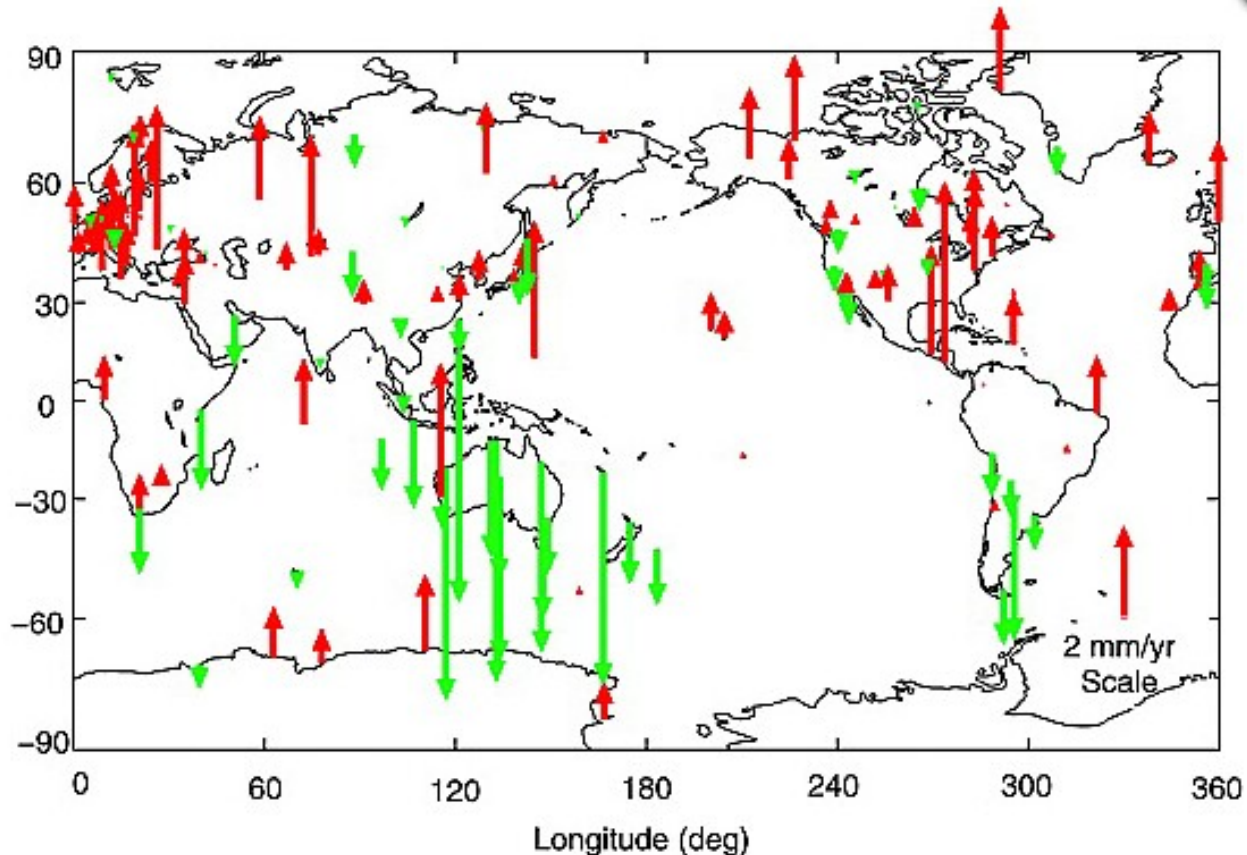
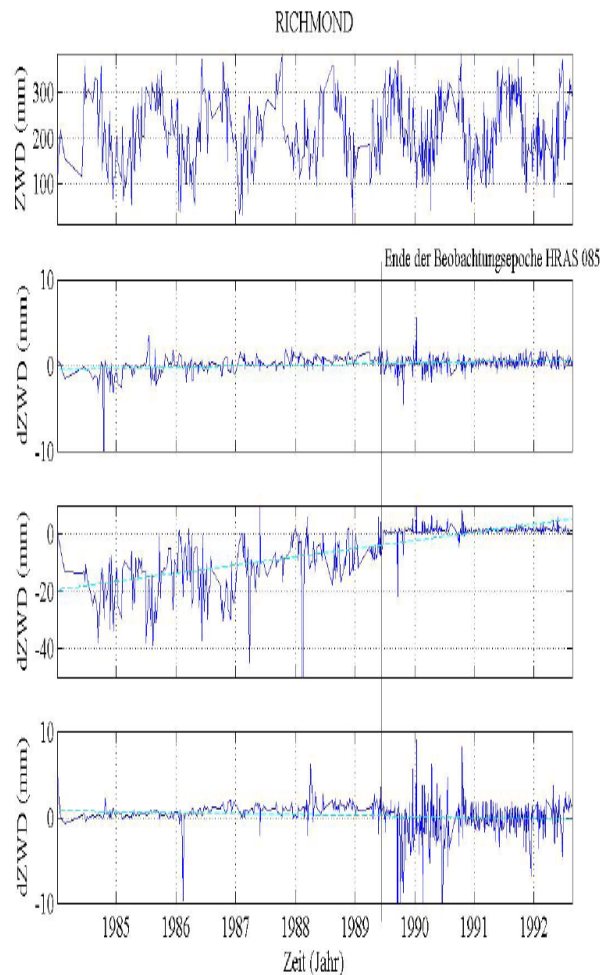


Figure 9. Secular variation trend of ZTD at global IGS sites. The red upward arrows represent the increase of secular ZTD variations, and the green downward arrows stand for the decrease of secular ZTD variations.

Realización de la investigación por cooperación internacional

International Council for Science (ICSU): 113 naciones, 29 uniones

IAU

IGU

ISPRS

IUGG

IUGS

...

otros

International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)

IACS

IAG

IAHS

IAGA

IAMAS

IAPSO

IASPEI

IAVCEI

International Association of Geodesy (IAG)

Comisiones

1 Reference Frames

2 Gravity Field

3 Geodynamics

4 Applications

Inter-Commission Committee on Theory

Servicios científicos

IERS

IDS

IGS

ILRS

IVS

BIPM

IAS

IGFS

BGI

ICET

ICGEM

IDEMS

ISG

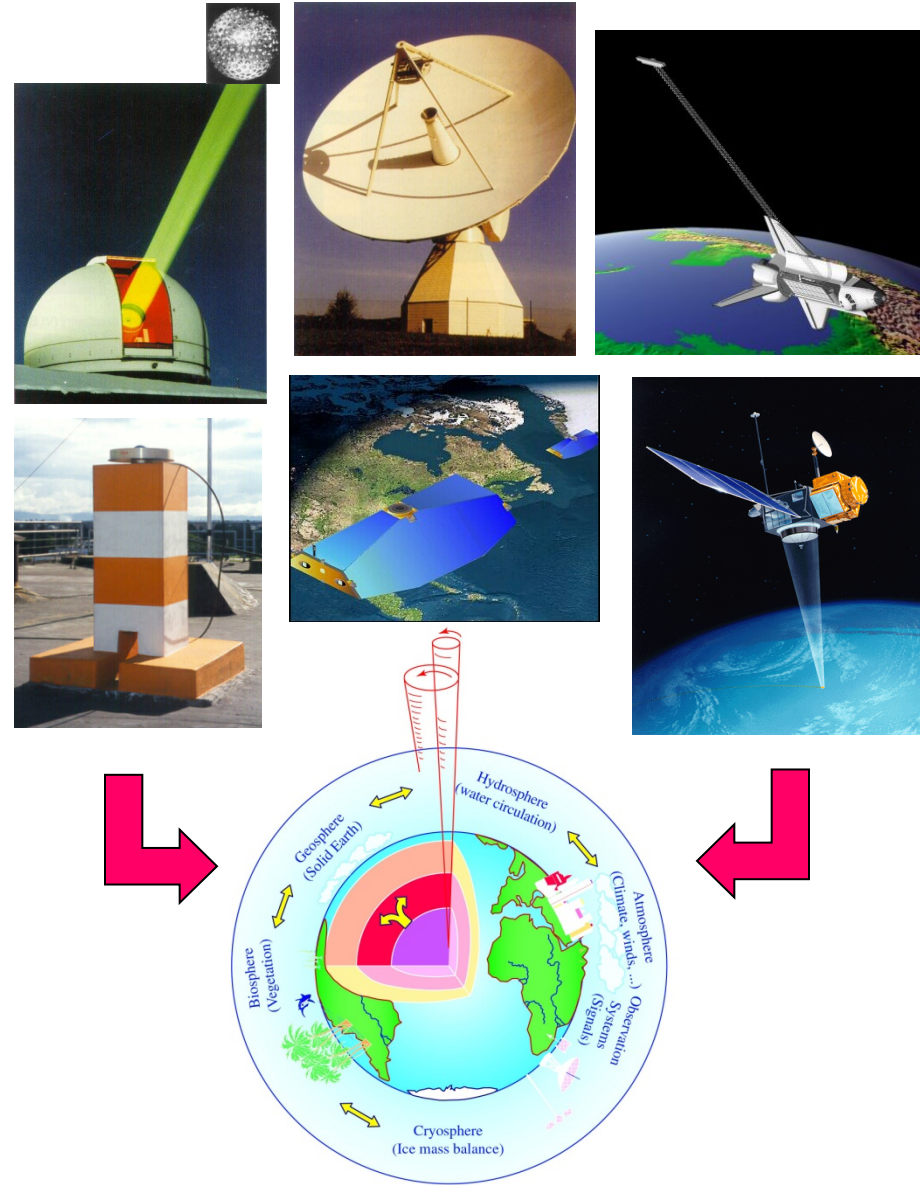
PSMSL

Global Geodetic Observing System (GGOS)

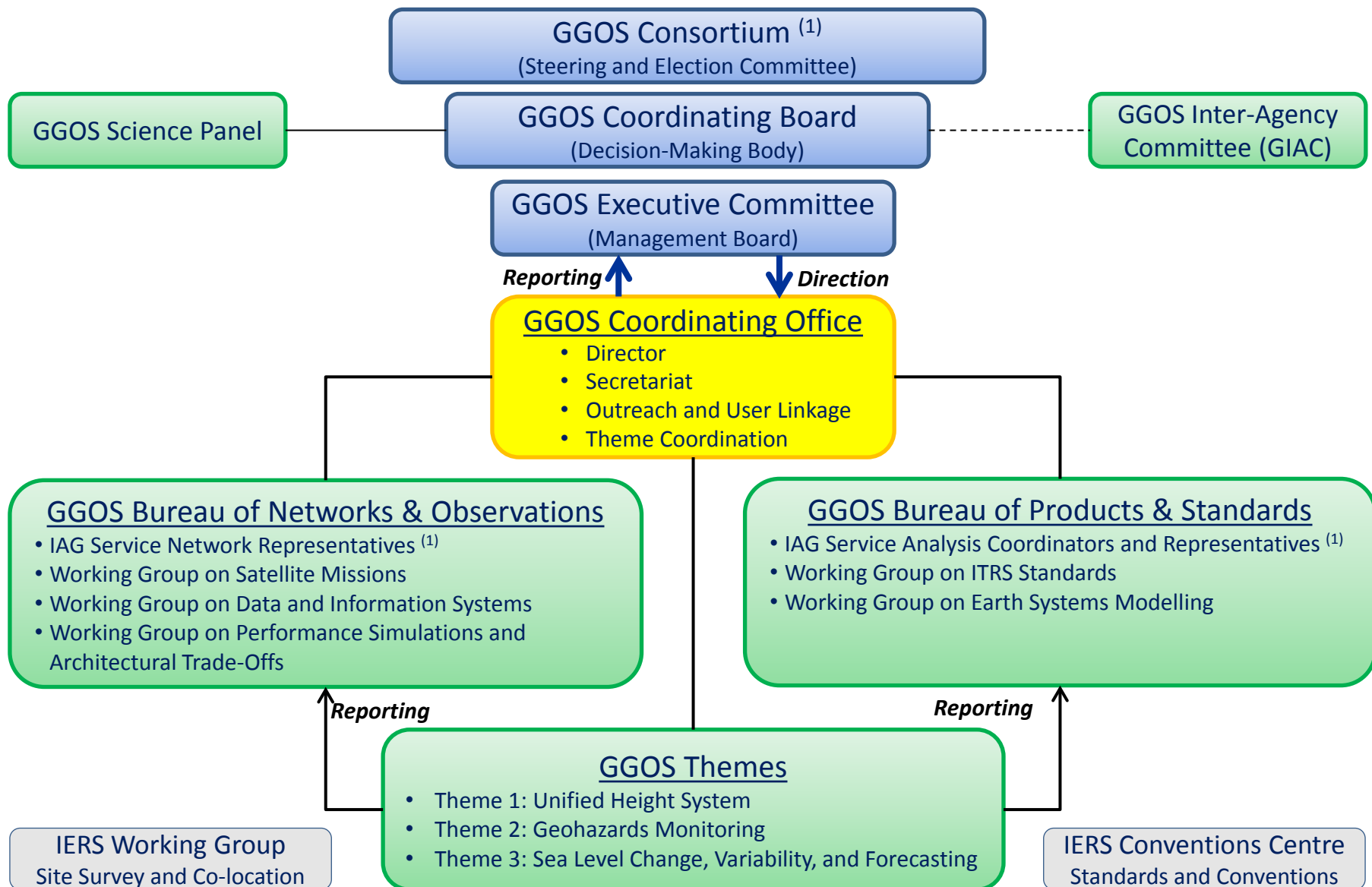
Sistema de Observación Geodésica Global (GGOS)

GGOS (Sistema de Observación Geodésica Global, inglés: Global Geodetic Observing System) de la IAG se dedica a la observación integrada de todos los efectos en el sistema Tierra y su representación internacional uniforme. Se basa en los servicios y las comisiones de la IAG.

SIRGAS forma parte de esta infraestructura internacional como subcomisión IAG 1.3b y contribuye significativamente a los objetivos mencionados.



Organización de GGOS



⁽¹⁾ GGOS is built upon the foundation provided by the IAG Services, Commissions, and the Inter-Commission Committees

Conclusiones

La Geodesia es capaz de medir efectos de los procesos del cambio global y de la geodinámica. SIRGAS contribuye a estas actividades.

Atmósfera:
sondeo GNSS

Continentes: misiones
gravimétricas, GNSS

Océanos y hielos:
altimetría satelital

