



**GTIII-SIRGAS: Datum Vertical**  
**Estado actual y tareas urgentes**

**Laura Sánchez**

**SIRGAS Workshop**  
**Aguascalientes, México, diciembre 9 y 10 de 2004**

## Situación actual

En América del Sur existen diversos sistemas de alturas (tantos como países, inclusive más), cuyas principales características son:

- Diferentes mereógrafos (inconsistencias en el rango de 2 m)
- Nivelación geométrica sin reducción gravimétrica (o con diferentes reducciones) (incertidumbres hasta de 1,20 m)
- Diferentes épocas de medición (movimientos verticales asumidos como errores de observación, magnitudes hasta varios decímetros)
- Estáticos (omisión de las variaciones temporales)

El sistema de referencia geométrico (ITRS/TRF, SIRGAS y sus densificaciones nacionales) es consistente en un orden de precisión de  $10^{-9}$

El sistema de alturas (físicas) sólo alcanza precisiones en el orden  $10^{-6}$

- **Las alturas clásicas utilizadas actualmente son inconsistentes con la Geodesia de precisión al milímetro, deben ser modernizadas!!**



## **Necesidades de la Geomática presente**

- Integración regional y global de la Geodesia Geométrica y Física (ITRF vs. modelos geoidales de alta resolución:  $h = H + N$ )
- Disposición de la información para soluciones regionales y globales (compatibilidad internacional)
- Intercambio de información a nivel regional y global
- Unificación de los sistemas de alturas para ingeniería, navegación, infraestructuras de datos espaciales, etc. (requerimiento de 0,5 m no garantizado)

## Solución: Sistema vertical de referencia unificado

### Unificación:

#### Continental (regional)

Ajuste continental de las líneas de nivelación  
(números geopotenciales o alturas físicas)

#### Global

Definición de  $W_0$

Definición de  $W_0$

Relación a los niveles individuales de los mareógrafos  $W_i$

### Realización:

Actual (local): nivel medio del mar en mareógrafos individuales  $W_i$

Esperada (global):  $W_0$  global (absoluto) a partir de altimetría satelital y un modelo geopotencial

- nivel medio del mar en los mareógrafos individuales de referencia y su relación con  $W_0$
- números geopotenciales del marco de referencia
- ITRF + modelos (cuasi)geoidales de alta resolución



## Cómo hacerlo?

1. Determinación de números geopotenciales (asociados al nivel individual definido por cada maréografo de referencia  $W_i$ )
2. Adopción de un valor de referencia  $W_0$
3. Determinación de las diferencias de potencial entre  $W_0$  y cada realización local  $W_i$
4. Ajuste continental de los circuitos de nivelación fundamentales (conexiones entre estaciones SIRGAS: pasivas + permanentes)
5. Transformación de los números geopotenciales en alturas físicas (normales)
6. Vinculación del marco vertical de referencia a SIRGAS (h)
7. Cálculo unificado de un modelo cuasigeoidal regional utilizando el nivel  $W_0$  adoptado anteriormente ( $\zeta$ )
8. Combinación de las alturas físicas [5], posicionamiento GNSS [6] y el modelo cuasigeoidal [7] (iterativamente)
9. Observación a través del tiempo de las variaciones verticales del marco de referencia (red permanente)

## Determinación de $W_0$

$$W = \frac{GM}{r} \left[ 1 + \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left( \frac{a}{r} \right)^l (C_{lm} \cos m\lambda + S_{lm} \sin m\lambda) P_{lm}(\cos \theta) \right] + \frac{1}{2} \omega^2 p^2$$

$$\int_{S_o} (W - W_0)^2 dS_o = \min \quad ; \quad S_o = \text{Sup. oceánica}$$

### Propiedades de $W_0$ :

- Estable por definición (no variación con respecto al tiempo)
- Invariante con respecto al sistema de mareas (tide-free, mean-tide, zero-tide)

Parámetros geodésicos fundamentales:      GM,  $\omega$ ,  $J_2$

Parámetros geodésicos derivables:      a, f,  $\gamma$

- **Participación de GTIII-SIRGAS en el IAG Inter-commission Project 1.2: Vertical Reference Frames**

## Evaluación numérica de $W_0$ [ $m^2 s^{-2}$ ]

GGM	Grid	60' x 60'		30' x 30'		15' x 15'		
		$\varphi$	-80° / +80°	-60° / +60°	-80° / +80°	-60° / +60°	-80° / +80°	-60° / +60°
		No.	43 073	34 300	169 423	135 645	670 737	538 809
GGM01S	n = 120	62 836 853,43	1,98	3,36	1,91	3,31	1,86	
GGM01C	n = 200	3,44	1,99	3,37	1,93	3,32	1,88	
TEG4	n = 200	3,43	1,98	3,37	1,92	3,33	1,89	
EGM96	n = 360	3,45	1,93	3,35	1,86	3,30	1,82	
EGM96	n = 250	3,42	1,92					
EGM96	n = 200	3,42	1,92					

**Modelo:** MSS-CLS01

**Elipsoide T/P:**  $a = 6\,378\,136,3$   
 $1/f = 298,257$

## Realización de $W_0$

$$W_0 = H_0$$

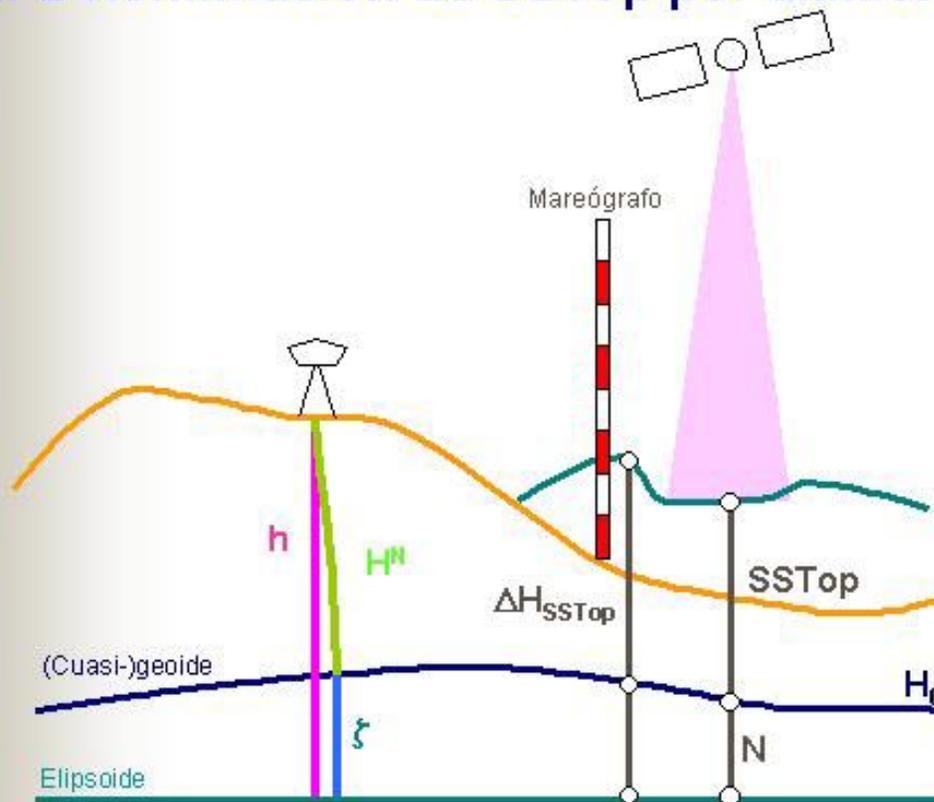
$$\Delta W_i = \Delta H_i$$

$$W_i = W_0 + \Delta W_i$$

$$H_i^{\text{Clásico}} = H_0 + \Delta H_i$$

# Realización de $H_0$ ( $W_0$ ) (I)

## I. Determinación de $SSTop$ por altimetría satelital



$$H_0^{SSTop} = \frac{\sum \Delta H_i}{n}$$

$$H_0^{SSTop} = \int \frac{\Delta H}{l}$$

$l$ : extensión total de la costa en América del Sur

## Realización de $H_0 (W_0)$ (II)

### II. Posicionamiento GPS en los mareógrafos de referencia

$$\Delta H_i = h_i - \zeta_i \quad H_0^{\text{Mareog}} = \frac{\sum \Delta H_i}{n} \quad H^N = 0$$

**Problema:** El nmm actual no coincide con el nmm en la época de definición ( $H^N \neq 0$ )

**Solución:** Reducción a la época de definición

$$\left( \frac{dH_i}{dt} \right) \Delta t$$

- **Posicionamiento GPS repetitivo, registros mareográficos, altimetría satelital**

## Realización de $H_0 (W_0)$ (III)

### III. Relación $h$ , $H^N$ , $\xi$ (SIRGAS2000 + permanentes)

$$\Delta H_i = h_i - \zeta_i - H_i^N \quad H_0^{Marco} = \frac{\sum \Delta H_i}{n}$$

Problema:

- La determinación del Cuasigeoide es muy imprecisa, (dm...m)
- Las anomalías gravimétricas se refieren a los sistemas clásicos
- Las alturas niveladas parten de mareógrafos, que no coinciden con el (cuasi-)geoide y que no están conectados entre sí
- Las alturas se han modificado por movimientos verticales, es decir que el posicionamiento GPS y altura nivelada no se refieren a una misma época

$$H_i^N(t_j) \rightarrow h_i(t_k)$$

Solución:

1. Utilización de un modelo de cuasigeoide derivado de las misiones satelitales
2. Densificación del modelo de cuasigeoide mediante anomalías locales (iteración)
3. Corrección de  $H_i^N$  mediante  $H_0$  y consideración del cambio con el tiempo  
( $t_k - t_j$ )  $dH/dt$
4. Conexión de las redes  $\rightarrow$  discrepancia entre los sistemas clásicos

## Resultado: corrección de cada sistema nacional $H_i (W_i)$ con respecto a $H_0 (W_0)$

Combinación:

$$\left. \begin{array}{l} \text{I} \quad H_0^{SSTop} = \int \frac{\Delta H}{l} \\ \text{II} \quad H_0^{Mareog} = \frac{\sum \Delta H_i}{n} \\ \text{III} \quad H_0^{Marco} = \frac{\sum \Delta H_i}{n} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Mareógrafos (línea de costa)} \\ \text{Continente} \end{array}$$

Corrección para cada sistema local:

$$\Delta H_{Individual} = \Delta H_i^{Mareog + SSTop} \pm H_0$$



## **Actividades URGENTES relacionadas con la realización del nivel de referencia vertical en América del Sur**

- **Conexión de las redes de nivelación entre países vecinos (vinculaciones faltantes)**
- **Nivelación geométrica de las estaciones SIRGAS2000 + Permanentes (estaciones nuevas)**
- **Cálculo de números geopotenciales**



## **Actividades INMEDIATAS relacionadas con la realización del nivel de referencia vertical en América del Sur**

- **Determinación UNIFICADA de un modelo de cuasigeoide basado en un modelo gravitacional global y densificado mediante anomalías locales (iteración)**
- **Determinación de la topografía de la superficie del mar (SSTop) referida al mismo modelo gravitacional global**



## **Compromiso INMEDIATO de los países integrantes**

- 1. Disposición de las conexiones (nivelación geométrica) entre las estaciones SIRGAS (pasivas + permanentes) y los mareógrafos de referencia: diferencias de nivel, distancia, año de nivelación, coordenadas horizontales, valor de gravedad (observado o interpolado)**
- 2. Disposición de las conexiones entre las redes de nivelación de países vecinos: diferencias de nivel, distancia, año de nivelación, coordenadas horizontales, valor de gravedad (observado o interpolado)**
- 3. Preparación de las redes de nivelación y datos de gravedad en pro de un ajuste continental**
- 4. Posicionamiento GPS de los mareógrafos**



# Mareógrafos con Estaciones de Funcionamiento Continuo

# Argentina



## Referencia

Marcógrafo Mar del Plata

Período de observación: 1923 - ?

PARN: Tandil (~1950)

## Red de Nivelación

Primer Orden: 16 320 puntos, 64 000 km

Segundo Orden: 7 600 puntos, 30 000 km

Tercer Orden: 8 600 puntos, 34 000 km

Cordenadas ~50%, Destruídos ~33%

## Red Gravimétrica

IAGBN (IGSN71), Potsdam\*

Absolutas: 5 (1989/1991)

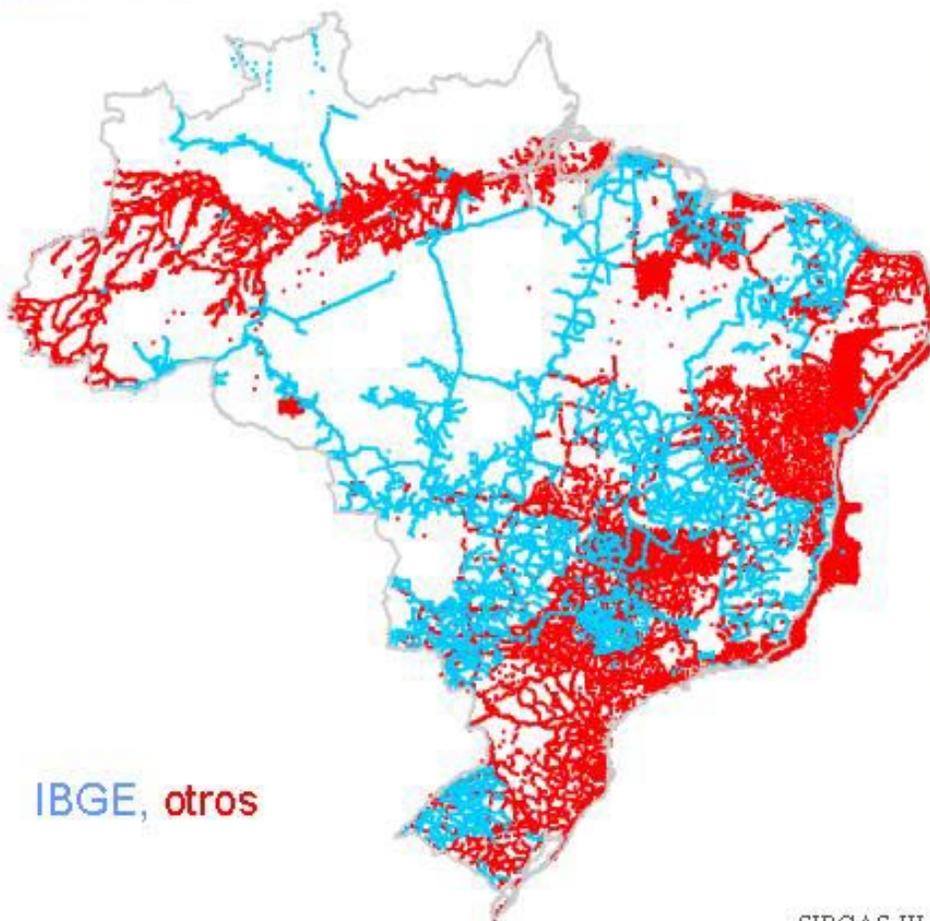
BACARA: 86 puntos

Segundo orden: 15 905 puntos

Tercer orden: 2 175 puntos

SIRGAS-Workshop, Aguascalientes, México, diciembre 9/10 de 2004

# Brasil



IBGE, otros

## Referencia

Mareógrafo Imbituba

Período de observación: 1949 - 1957

Mareógrafo Santana (Amapa)

Período de observación: ?

## Red de Nivelación

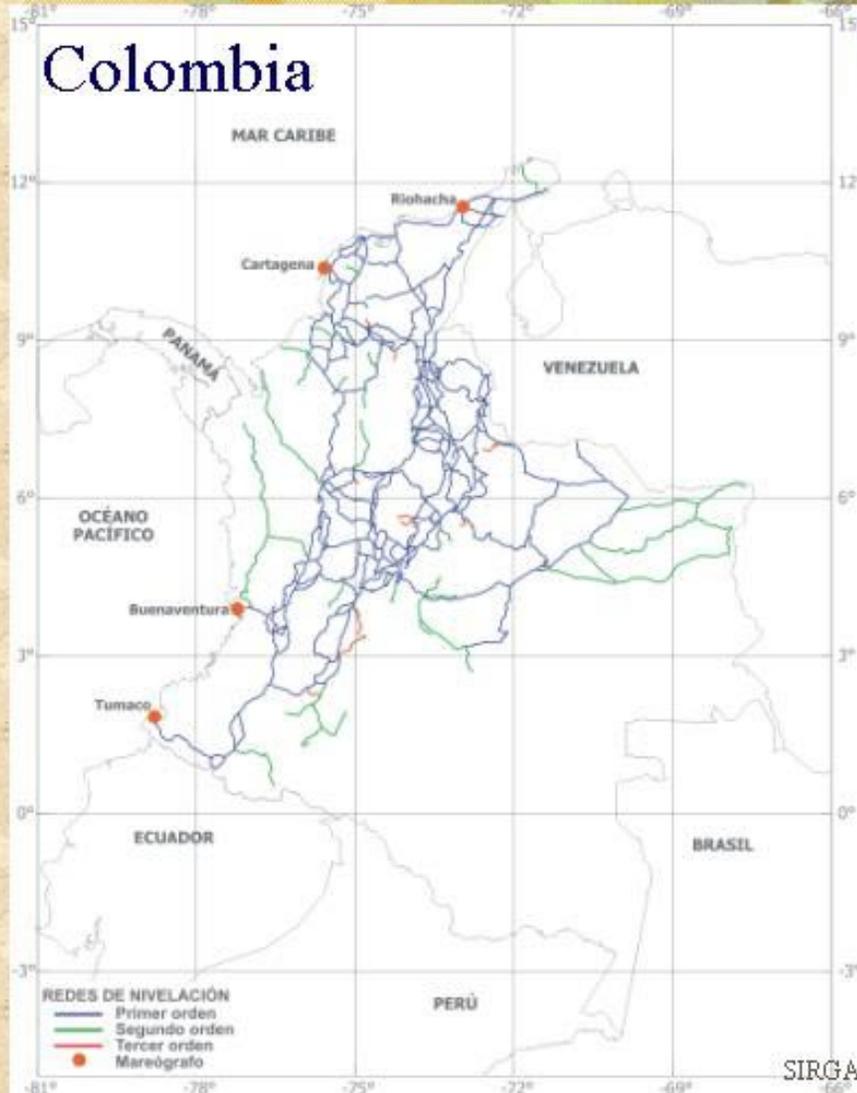
65 000 puntos, 160 000 km

Cordenadas 100%, Destruídos ?

## Red Gravimétrica

Información gravimétrica disponible  
LAGBN (IGSN71)

# Colombia



## Referencia

Mareógrafo Buenaventura  
Período de observación: 1942 - 1951,  
1955, 1957 - 1963

## Red de Nivelación

Primer Orden: 13 965 puntos, 18 900 km  
Segundo Orden: 5 938 puntos, 6 500 km  
Tercer Orden: 160 puntos, 2 000 km  
Cordenadas ~80%, Destruídos ~50%

## Red Gravimétrica

LAGBN (IGSN71)  
Absolutas: 3 (1995)  
SIGNAR: Primer orden: 45 puntos  
Segundo orden: 35 puntos  
Tercer orden: 9 000 puntos



## **Puntos de discusión**

- 1. Aceptación del procedimiento propuesto por el GTIII**
- 2. Disponibilidad efectiva de la información requerida**
- 3. Estaciones de funcionamiento continuo nuevas como parte del marco vertical de referencia**
- 4. Campaña GNSS en los mareógrafos que no cuentan con estación permanente**
- 5. Otros**