

# RESUMEN DE CONFERENCIA TERCER CONGRESO INTERNACIONAL DE METROLOGIA METROCOL 2016

## NOMBRE DEL PANEL

La Metrología, punto de convergencia para el desarrollo

## TITULO DE LA CONFERENCIA

*MIDIENDO LA DINÁMICA TERRESTRE DESDE EL ESPACIO MEDIANTE SEÑALES DE RADIO*

## PANELISTA

Héctor Mora Páez

## CONTEXTUALIZACIÓN

Geodesia, la ciencia más antigua, es la ciencia de la observación y entendimiento de la observación de los cambios dependientes en el tiempo de la forma, del campo de gravedad y la rotación. Después de más de tres décadas, la geodesia se ha convertido en una importante disciplina de las geociencias, debido al mejoramiento gradual de las constelaciones que abarcan el concepto de geodesia espacial GNSS, en especial del Sistema Global de Posicionamiento, más conocido como GPS. La tecnología geodésica espacial ha experimentado avances sustanciales en las tres últimas décadas, alcanzando aplicaciones que van mucho más allá de lo contemplado en el diseño original del sistema. La capacidad de estimar posiciones 3D con precisiones milimétricas con respecto a un marco terrestre global de referencia ha permitido su utilización en diferentes campos del conocimiento, abarcando tópicos de estudio de la Tierra sólida, Tierra líquida y Tierra atmosférica, con múltiples aplicaciones que trascienden incluso la vida diaria del hombre.

## ASPECTOS RELEVANTES

La tecnología geodésica espacial GNSS tiene en la actualidad gran presencia en la sociedad moderna, en la vida cotidiana del hombre. En la medida que se vayan mejorando las constelaciones actualmente en operación, y se terminen de implementar los nuevos sistemas, la capacidad de análisis de datos con diversos propósitos será extremadamente amplia, con dos aspectos esenciales como punto de partida: marco global de referencia en posición y referencia del tiempo universal.

De esta manera, esta tecnología en comparación con otros sistemas de medición en geodesia, proporciona posiciones tridimensionales con respecto a un marco de referencia terrestre de carácter global. Esta determinación precisa de posiciones de puntos sobre la superficie terrestre y sus variaciones a través del tiempo, referidas con respecto al mismo marco, son la respuesta a procesos dinámicos que ocurren en la superficie o en sub-

superficie. Las perturbaciones en la propagación de la señal de radio proveniente de los satélites GNSS y recibidas en el receptor, generalmente asociadas a la dinámica tanto en la troposfera como en la ionosfera, así como la multitrayectoria de dicha señal, proporcionan información valiosa y única de comportamientos asociados a fenómenos particulares.

Cuando se considera el concepto de marco de referencia global, se está incursionando en el tema de metrología, porque dicho marco se constituye en el elemento fundamental para aplicaciones científicas. Es el punto de partida para la realización de observaciones y mediciones precisas, precisas, exactas y consistentes, que gradualmente proporcionan información de la dinámica terrestre, convirtiéndose en un estándar. Las mejoras de la exactitud y la trazabilidad de las mediciones geodésicas han sido la base para la determinación del Marco Internacional Terrestre de Referencia (ITRF de sus siglas en inglés).

## LOGROS

El Servicio Geológico Colombiano a través del Grupo de Investigaciones Espaciales, ha venido desarrollando el proyecto de investigación, innovación y desarrollo, conocido como “Implementación de la Red Nacional de Estaciones Geodésicas Espaciales GNSS con propósitos geodinámicos”, más conocido como GeoRED. Corresponde a una **Infraestructura GNSS de alta calidad**, que sirve como marco de referencia esencial para el estudio e investigación de la dinámica de la corteza terrestre y la atmósfera en la totalidad del territorio colombiano, y que promueve la realización de proyectos de investigación conjuntos.

Son varios los productos que se obtienen a partir de la captura, procesamiento y análisis de los datos de GeoRED, entre los cuales se pueden destacar las series de tiempo de posiciones geodésicas de alta precisión, cálculo de campos de velocidad superficial que registran el comportamiento de la dinámica de la corteza terrestre, y estimación de movimientos asociados a otros tipos de fenómenos geofísicos, los cuales serán ilustrados en la presentación.

## LECCIONES APRENDIDAS

Las lecciones aprendidas respecto al uso de la tecnología geodésica espacial lo constituyen los resultados obtenidos. Por un lado, aquellos obtenidos por el Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales en la determinación del campo de velocidades de la corteza terrestre en Colombia, así aquellas asociadas a la determinación de movimientos en masa. Por otro lado, los resultados visualizados en otros países, con infraestructuras geodésicas de amplia cobertura espacial y temporal, que permiten obtener datos y analizar fenómenos de diversa naturaleza, como una forma diferente de aproximación conceptual a fenómenos asociados a la dinámica de la Tierra. Son ejemplos que hay que seguir y construir las capacidades para incursionar en estas nuevas aplicaciones.

## **RETOS**

El principal reto es alcanzar una adecuada densidad de estaciones de la Red Nacional de estaciones geodésicas GNSS en un esfuerzo para orientar estudios e investigaciones en temas diversos en geociencias. En los estudios geodinámicos, las investigaciones están orientadas entre otras, al análisis de la interacción en límite de placas, dinámica de la corteza terrestre, estimación de velocidades relativas a lo largo de fallas activas y generación de modelos de velocidades, y generación de modelos de deformación actual de la corteza terrestre.

Como los sistemas GNSS se caracterizan por la difusión de señales de radio desde satélites en dos o más frecuencias, su uso directo de las mismas permite obtener información de posición, velocidad y tiempo. Sin embargo, el uso indirecto de las mismas señales permite su aplicación en otros campos disciplinares, lo cual convierte a la geodesia espacial GNSS en una herramienta fundamental para el entendimiento de la dinámica terrestre.

Uno de los principales desafíos lo constituye el uso de las señales reflejadas, refractadas y dispersas provenientes de los satélites de las constelaciones GNSS con el fin de obtener una "imagen" del comportamiento de fenómenos asociados como una nueva herramienta de sensoramiento remoto de alta precisión, continua, independiente de condiciones atmosféricas y casi en tiempo real, que juega un papel importante de aplicación específica en el estudio de campos del conocimiento asociados a la Tierra sólida, atmosférica y oceánica.

Estas nuevas aplicaciones, que en algunos casos deben ser refinadas y validadas, se constituyen en valioso apoyo complementario a otras técnicas existentes. En Colombia, el Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales del Servicio Geológico Colombiano bajo el marco del proyecto GNSS conocido como GeoRED, se ha iniciado el estudio de estas nuevas aplicaciones, orientadas por ahora al estudio de la ionosfera, la troposfera y la determinación del nivel medio del mar.

## **CONCLUSION**

La tecnología geodésica espacial es una herramienta que permite su utilización en diversos campos del conocimiento. Por lo tanto, es importante promover su uso por parte de centros de investigación y de universidades para sacar el mayor provecho posible del esfuerzo del Estado colombiano a través del Servicio Geológico Colombiano, como uno de los mecanismos en la construcción de conocimiento; es importante además su inclusión en programas académicos que potencialmente sean usuarios de este tipo de información. De esta manera, una infraestructura concebida con un propósito específico permite su aplicación con diversos propósitos, que van desde la aplicación sencilla de georreferenciación a establecer movimientos de la Tierra o análisis de flujos del vapor de agua, entre otras aplicaciones de carácter científico.



**MEDICIONES EN UN MUNDO DINAMICO**

# **MIDIENDO LA DINÁMICA TERRESTRE DESDE EL ESPACIO MEDIANTE SEÑALES DE RADIO**

**Héctor Mora-Páez**

**Grupo “Investigaciones Geodésicas Espaciales”**

[hmora@sgc.gov.co](mailto:hmora@sgc.gov.co)

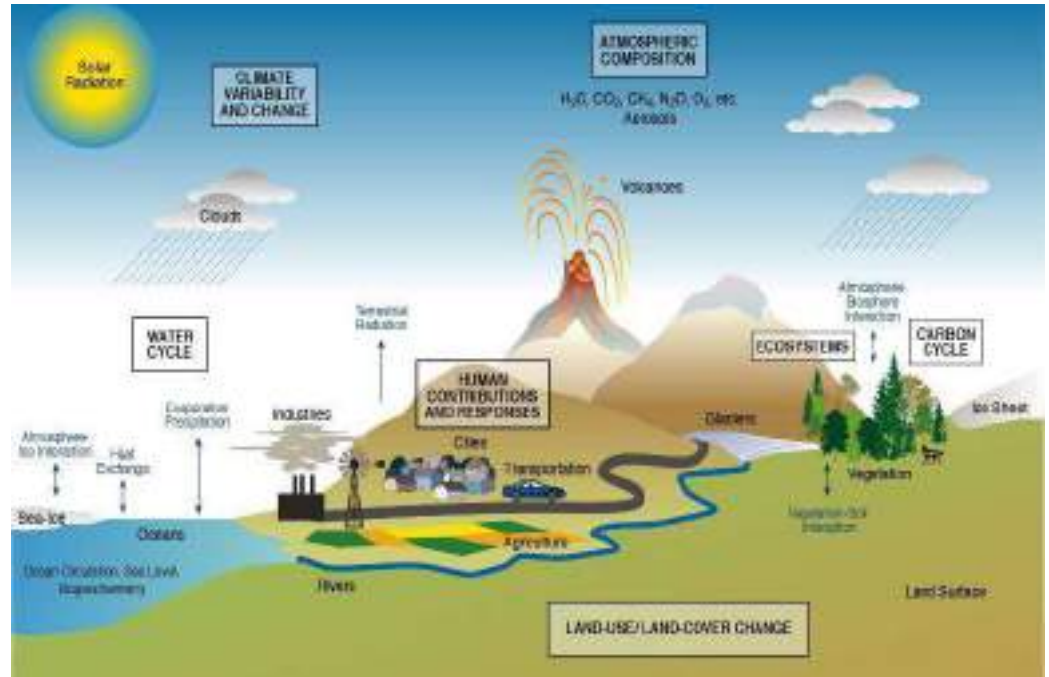


## TEMARIO

- **Dinámica terrestre**
- **Geodesia y geodinámica en Colombia: logros**
- **Conclusiones y desafíos**

# ***Dinámica terrestre***

# La Tierra: Sistema de Sistemas



THE EARTH TIDE



THE EARTH ROTATION

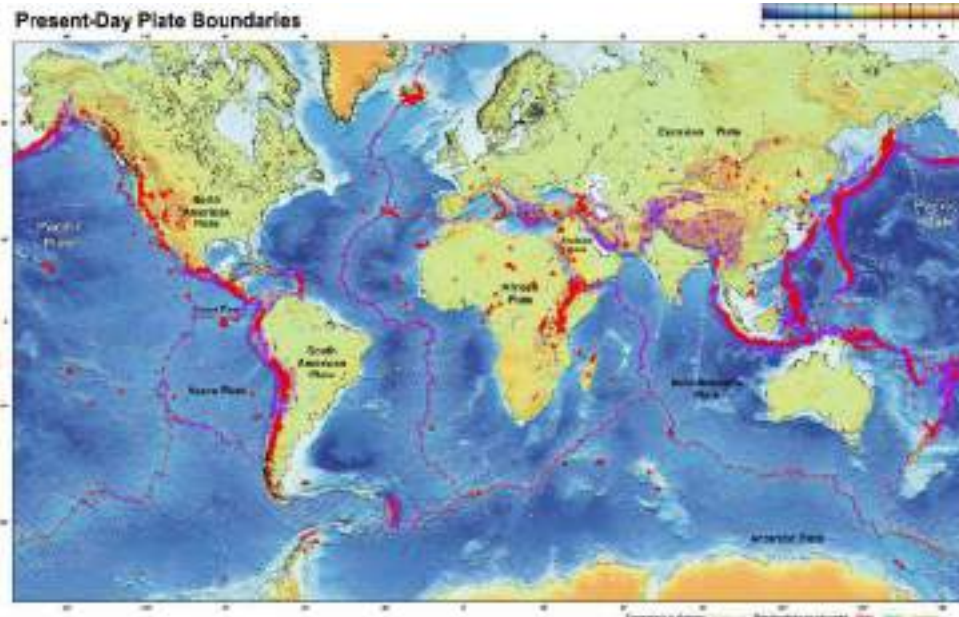
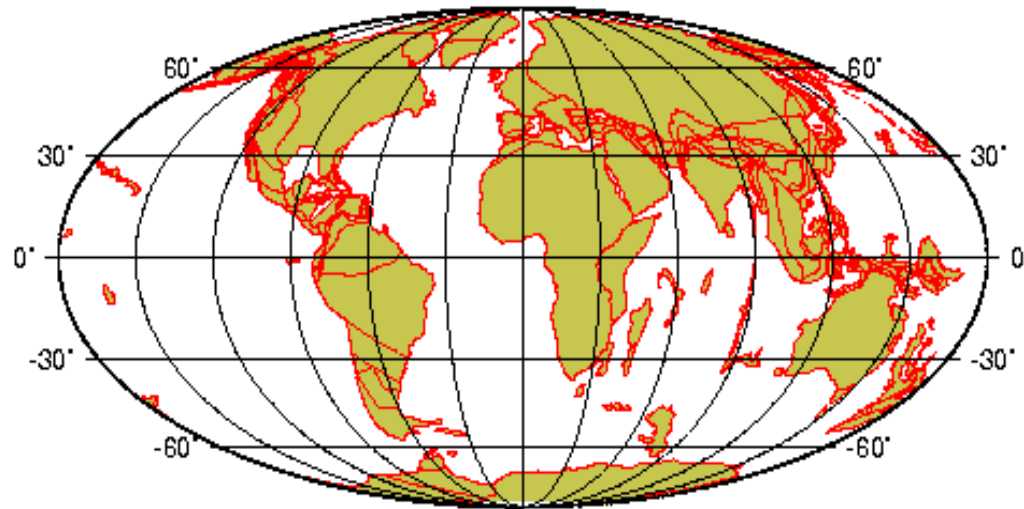


PLATE TECTONICS



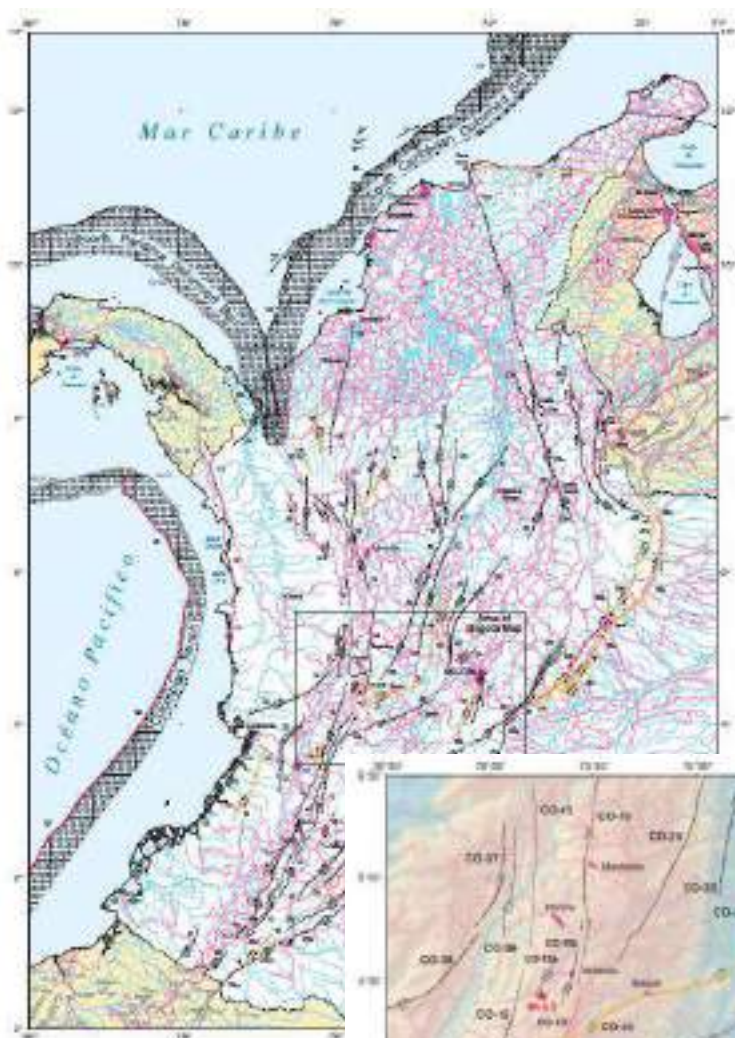
GLOBAL MASS TRANSPORT

# Movimiento de las placas tectónicas

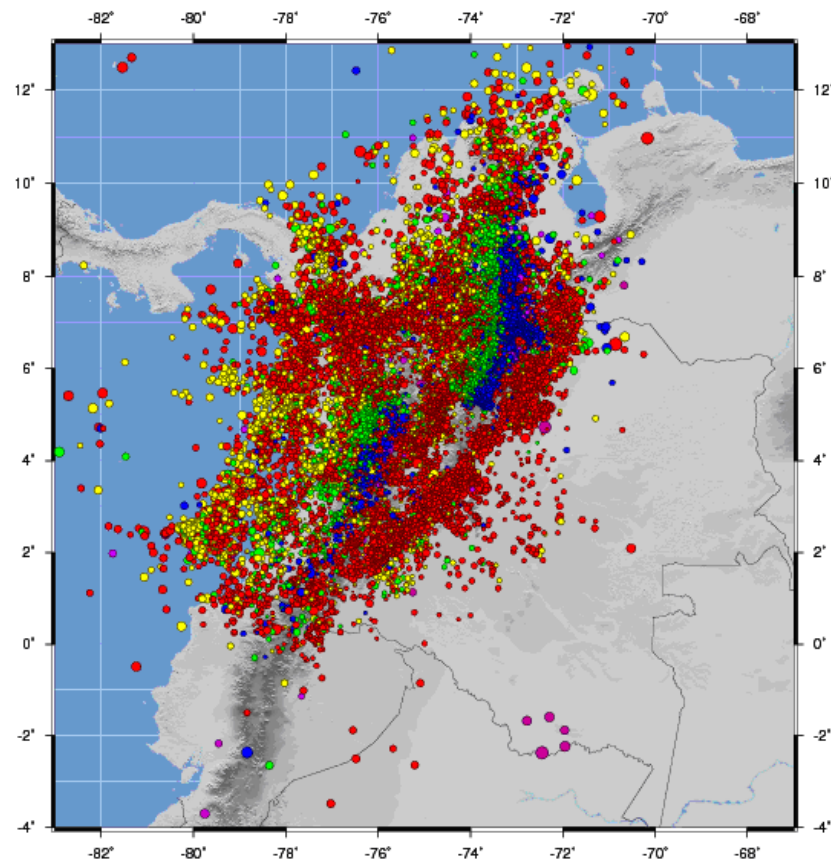
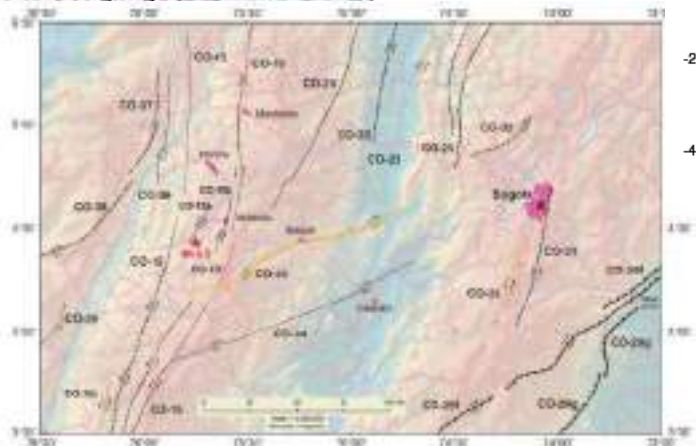




# Efectos del movimiento de las placas tectónicas



USGS, 2000



RSNC, 2015

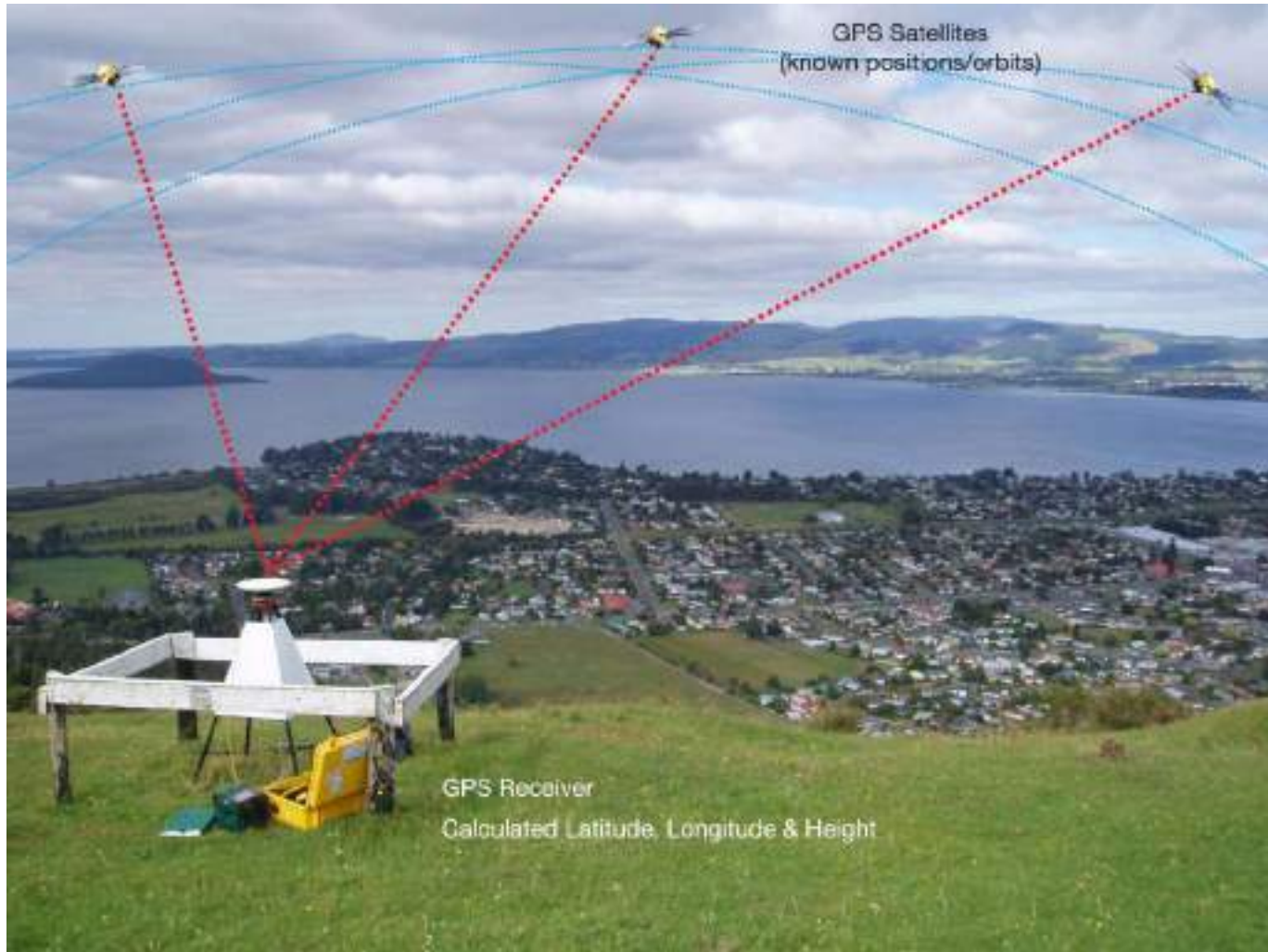
# Qué es geodesia?

## Geodesia es

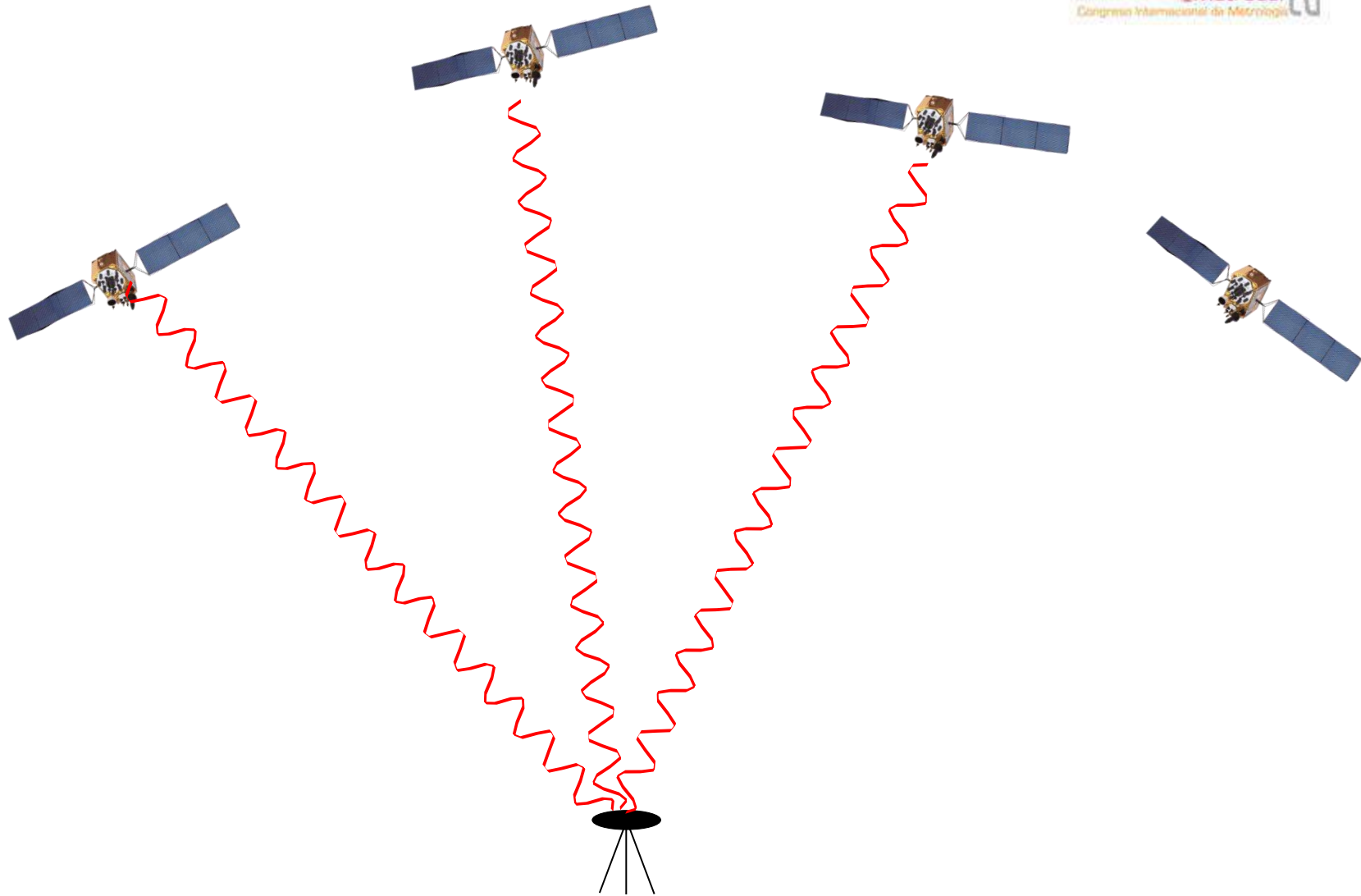
... la ciencia de la **medición precisa del tamaño, forma, orientación y campo de gravedad de la Tierra y las variaciones con el tiempo**



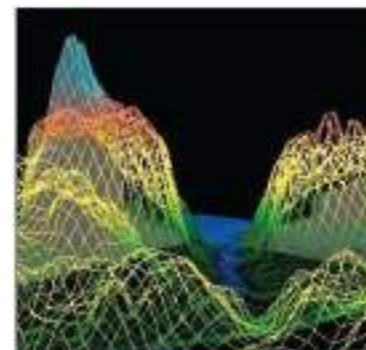
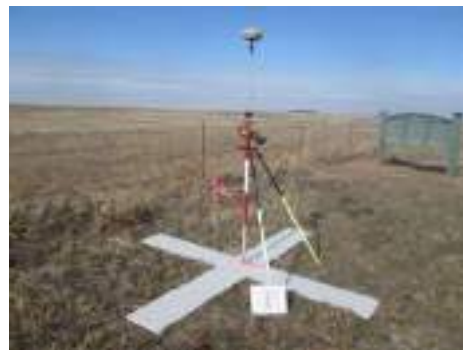
# Posicionamiento



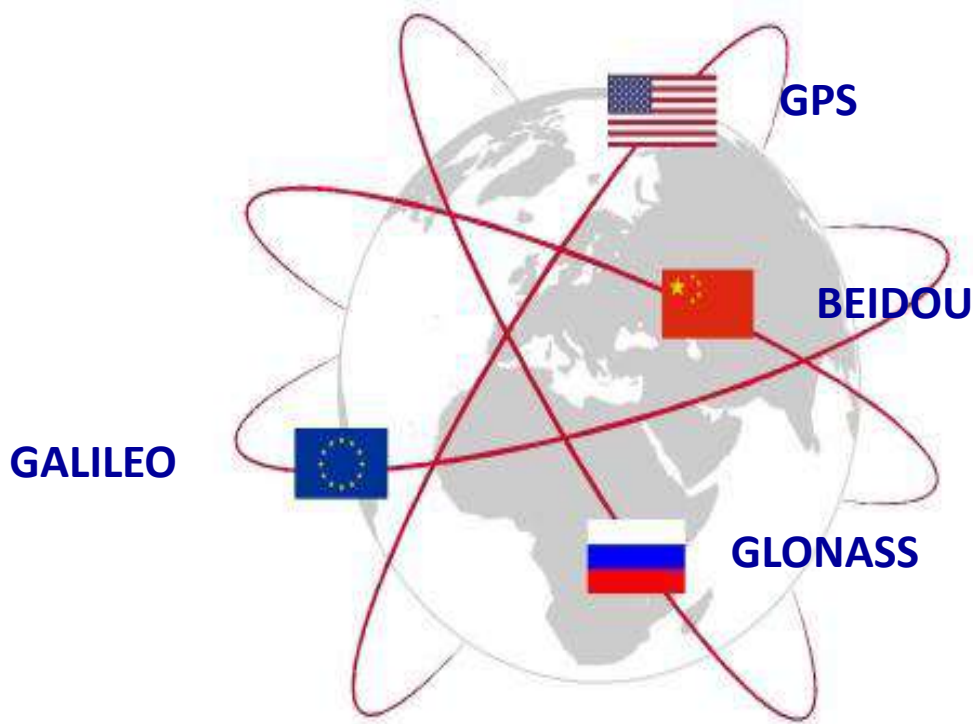
# Señales de radio



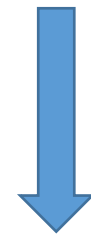
# Geodesia espacial ..... movimiento



# Constelaciones globales



**GPS**

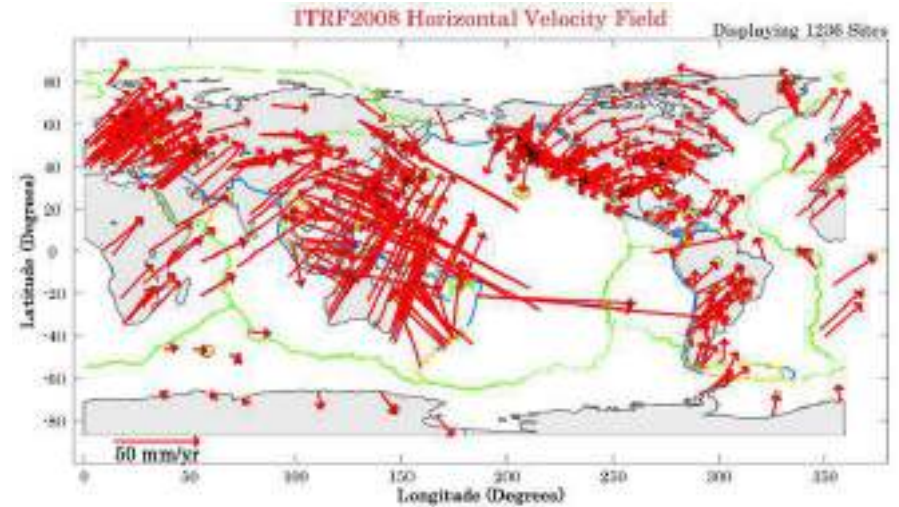


**GNSS**

# Contribución de la Geodesia

## Aplicaciones científicas

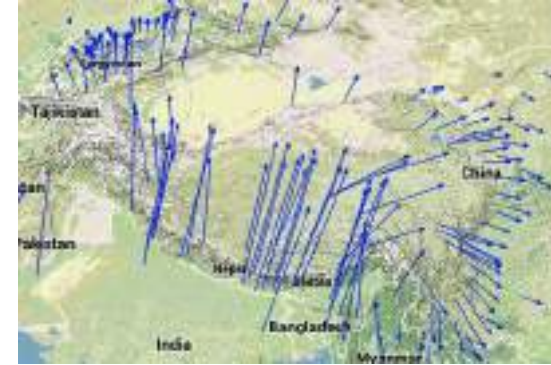
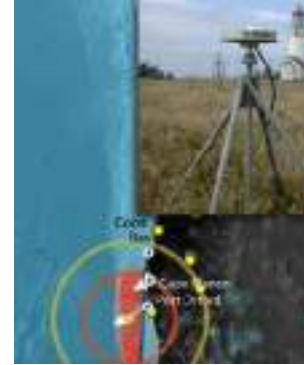
- Tectónica de placas  
Movimientos y mecanismos



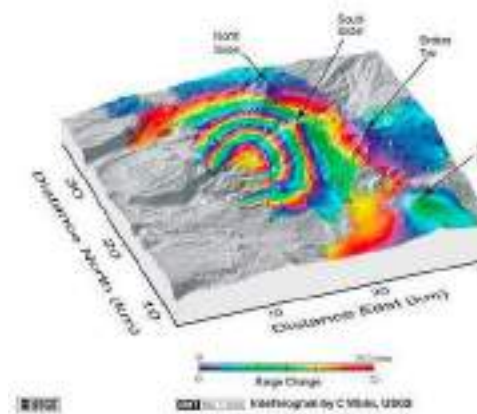
# Contribución de la Geodesia

## Aplicaciones científicas

- Tectónica de placas
  - Movimientos y mecanismos
- Monitoreo amenazas
  - Volcanes, sismos y deslizamientos



facility.unavco.org



landslides.usgs.gov

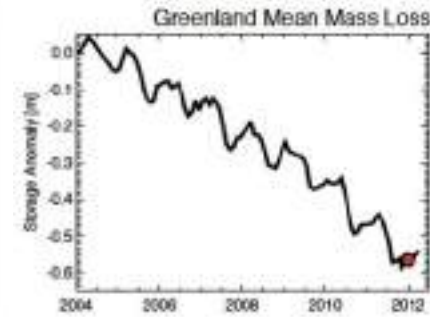
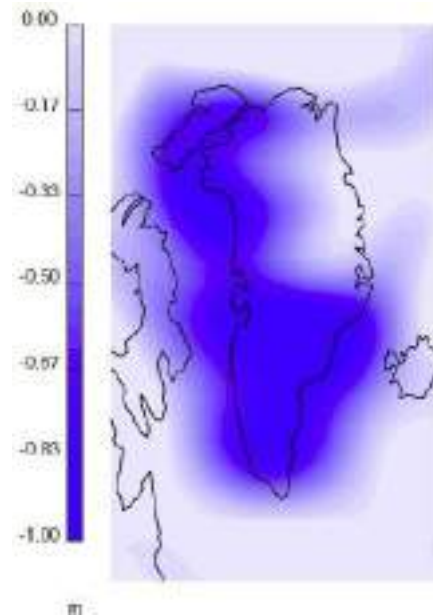
Modificado de Pratt-Sitaula, 2013



# Contribución de la Geodesia

## Aplicaciones científicas

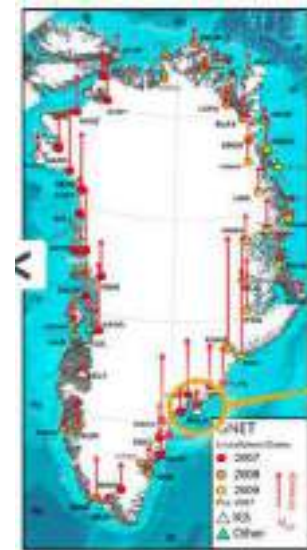
- Tectónica de placas
  - Movimientos y mecanismos
- Monitoreo amenazas
  - Volcanes, sismos y deslizamientos
- Dinámica glaciár
  - Cambios de masa
  - Velocidades



Pérdida de masa de hielo de GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment)

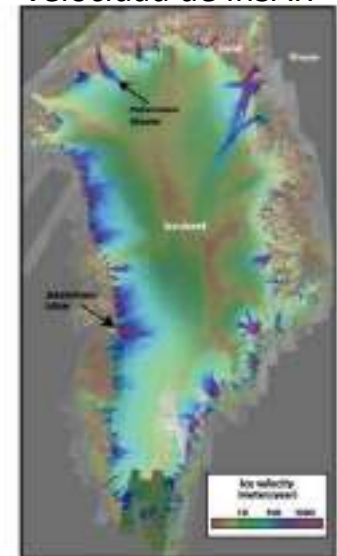
Permiso de Sean Swenson (colorado.edu)

Estaciones  
GPS  
muestran  
movimiento  
ascensional



Permiso de Mike Bevis (osu.edu)

Velocidad de InSAR



Permiso de Twila Moon (uw.edu)

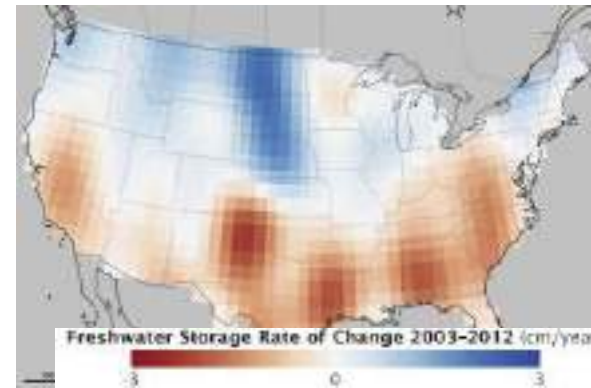
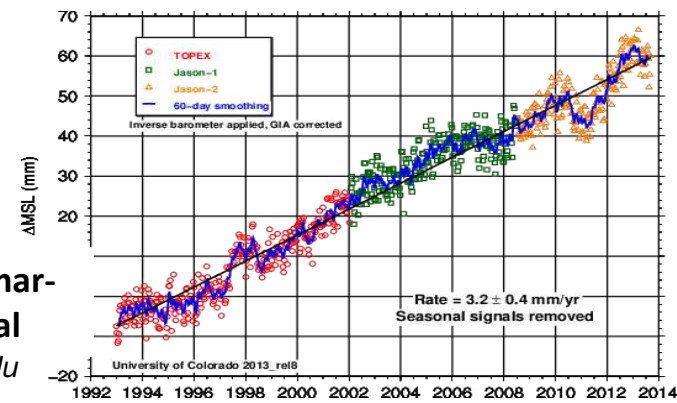
Modificado de Pratt-Sitaula, 2013

# Contribución de la Geodesia

## Aplicaciones científicas

- Tectónica de placas
  - Movimientos y mecanismos
- Monitoreo amenazas
  - Volcanes, sismos y deslizamientos
- Dinámica glacial
  - Cambios de masa
  - Velocidades
- Fuentes de agua
  - Superficial/subterránea, subsidencia, nivel del mar

Nivel medio del mar-  
Altimetría satelital  
*sealevel.colorado.edu*



Cambios en  
almacenamiento de  
agua subterránea

2003-2012 (Grace)  
*climate.nasa.gov*

Cambio de nivel de  
agua en los humedales  
a partir de InSAR  
*serc.carleton.ed*

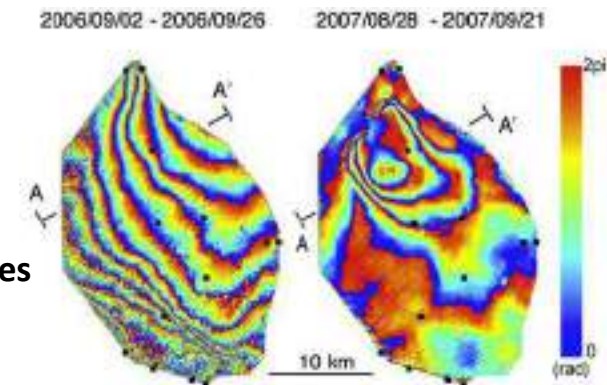


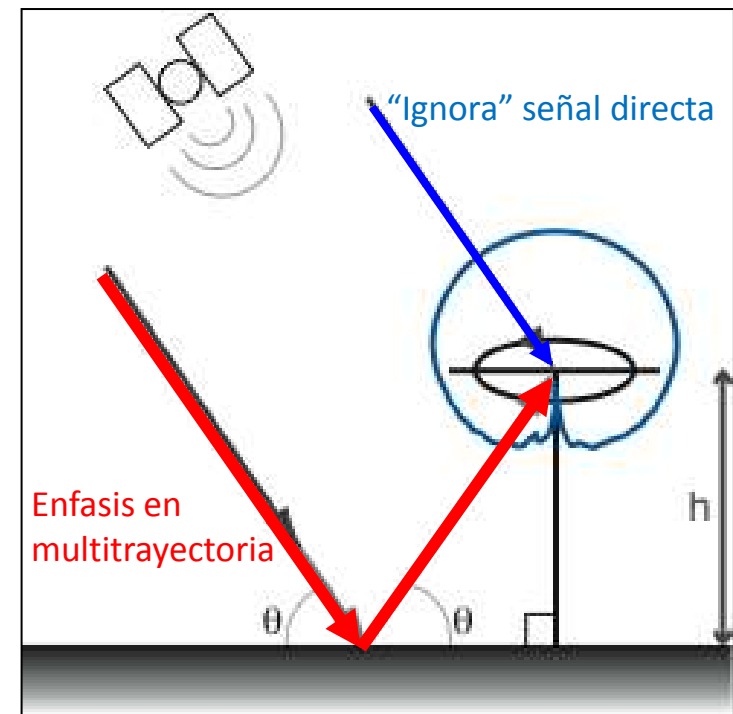
Figure 3. RADARSAT-1 interferograms of WCA-1 showing phase change over a 24 day period. Black squares mark the stage station locations.

Modificado de Pratt-Sitaula, 2013

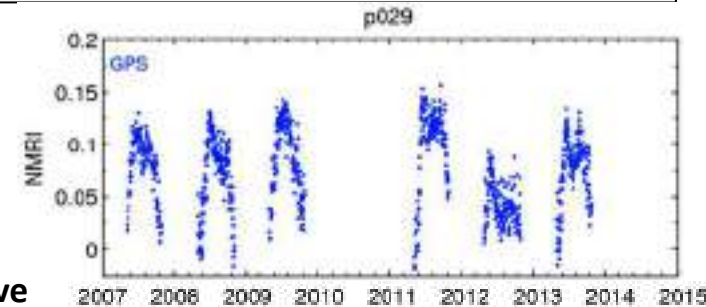
# Contribución de la Geodesia

## Aplicaciones científicas

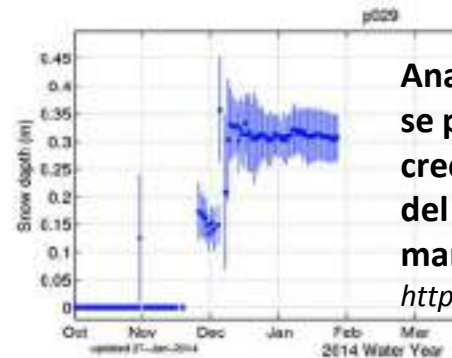
- Tectónica de placas
  - Movimientos y mecanismos
- Monitoreo amenazas
  - Volcanes, sismos y deslizamientos
- Dinámica glaciár
  - Cambios de masa
  - Velocidades
- Fuentes de agua
  - Superficial/subterránea, subsidencia, nivel del mar



### Vegetación



### Espesor de nieve



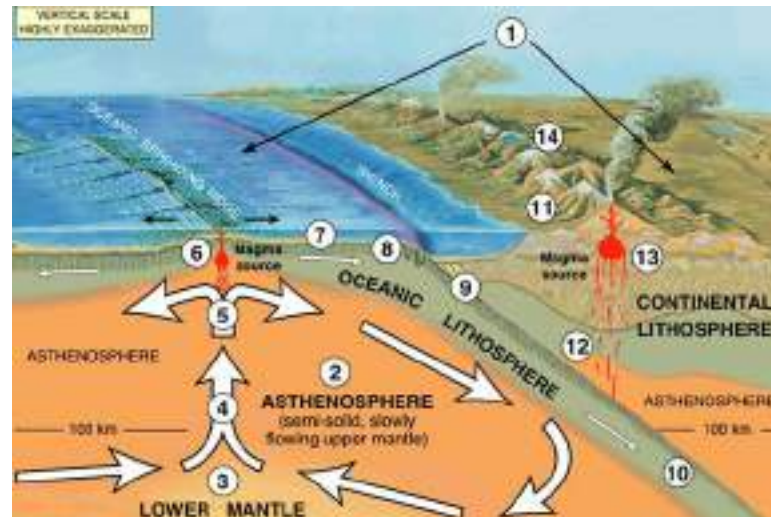
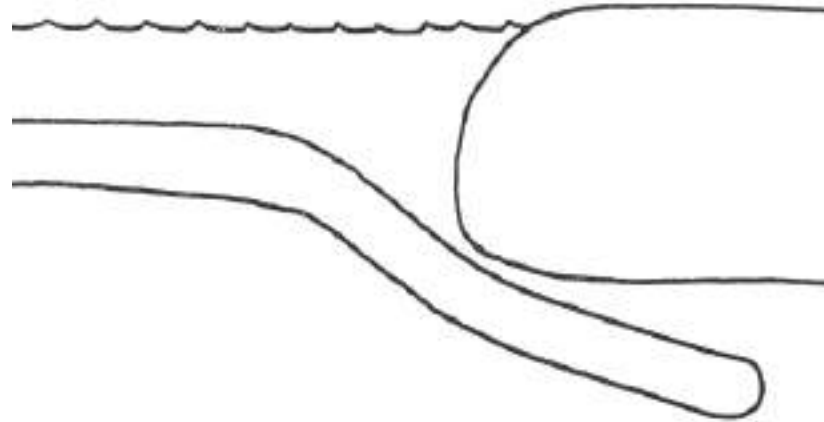
Analizando las señales reflejadas GPS se puede estimar el espesor de nieve, crecimiento de vegetación, humedad del suelo y variaciones del nivel del mar

<http://xenon.colorado.edu/portal/>

Modificado de Pratt-Sitaula, 2013

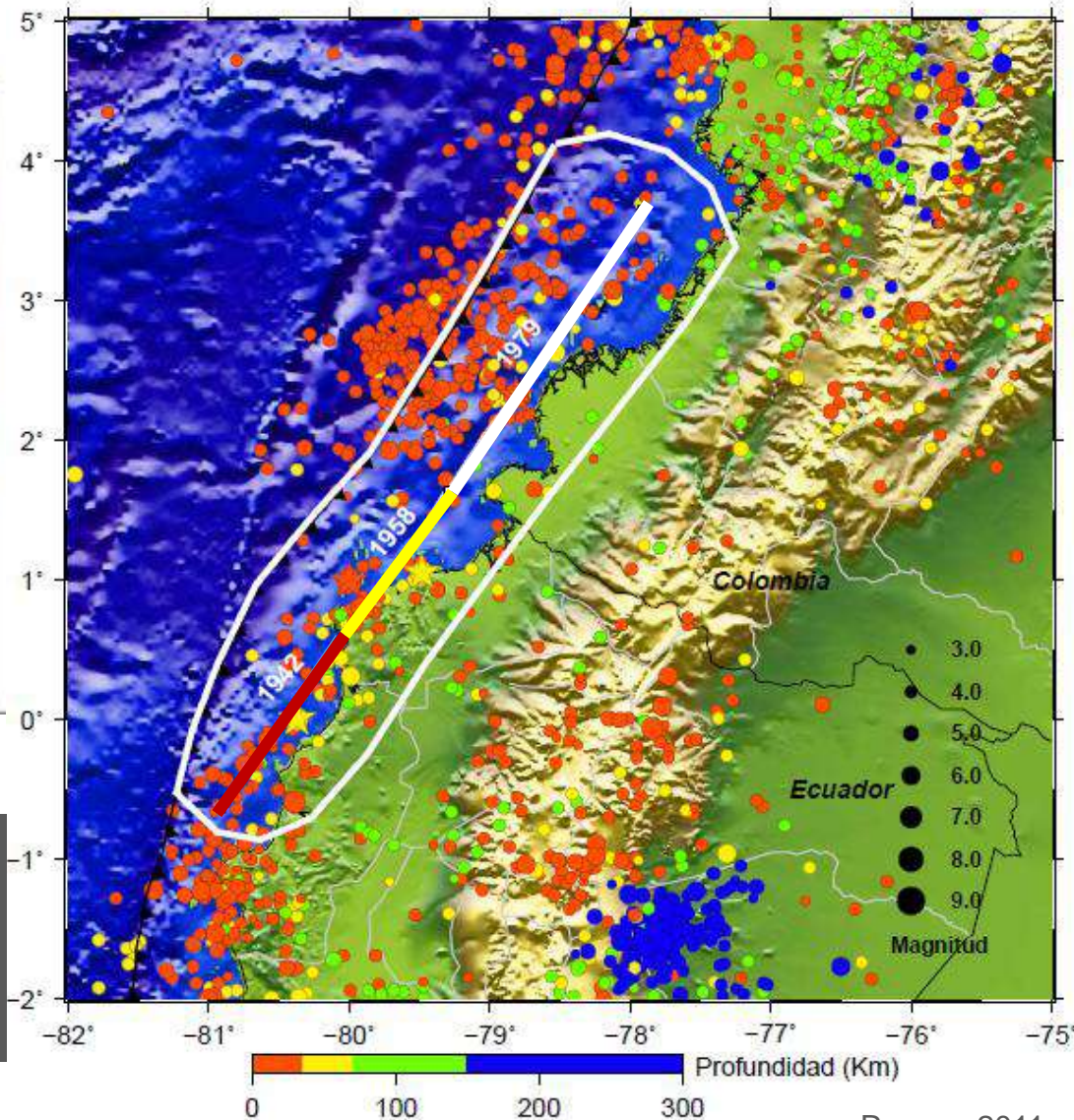
# ***Geodesia y geodinámica en Colombia: logros***

# Geodinámica



# Subducción

# Sismos siglo XX – Zona subducción Nazca

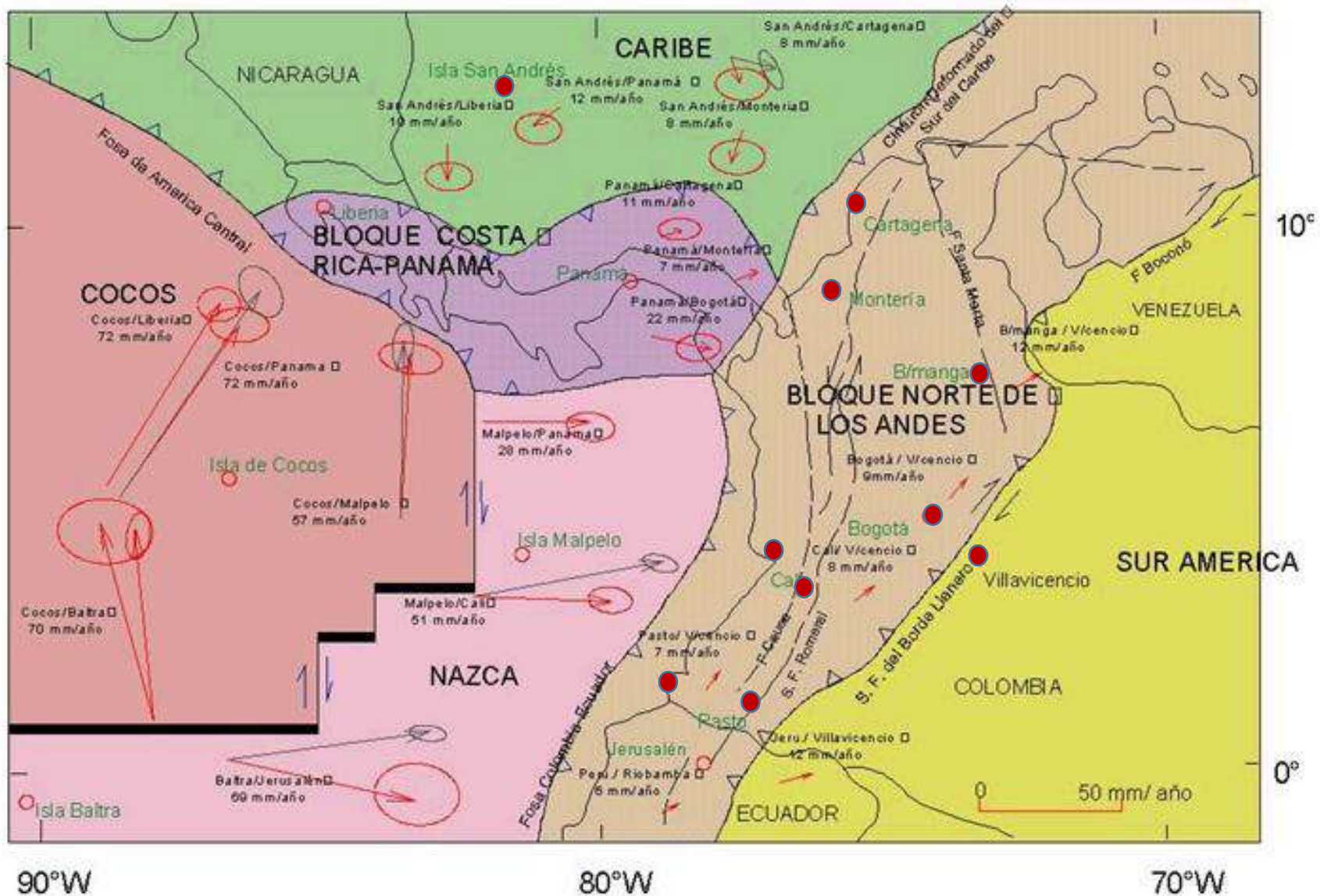


**1906,  $M_w = 8,8$**   
**1942,  $M_w = 7,6$**   
**1958,  $M_w = 7,6$**   
**1979,  $M_w = 8,2$**

Ramos, 2011



# Resultados Proyecto CASA

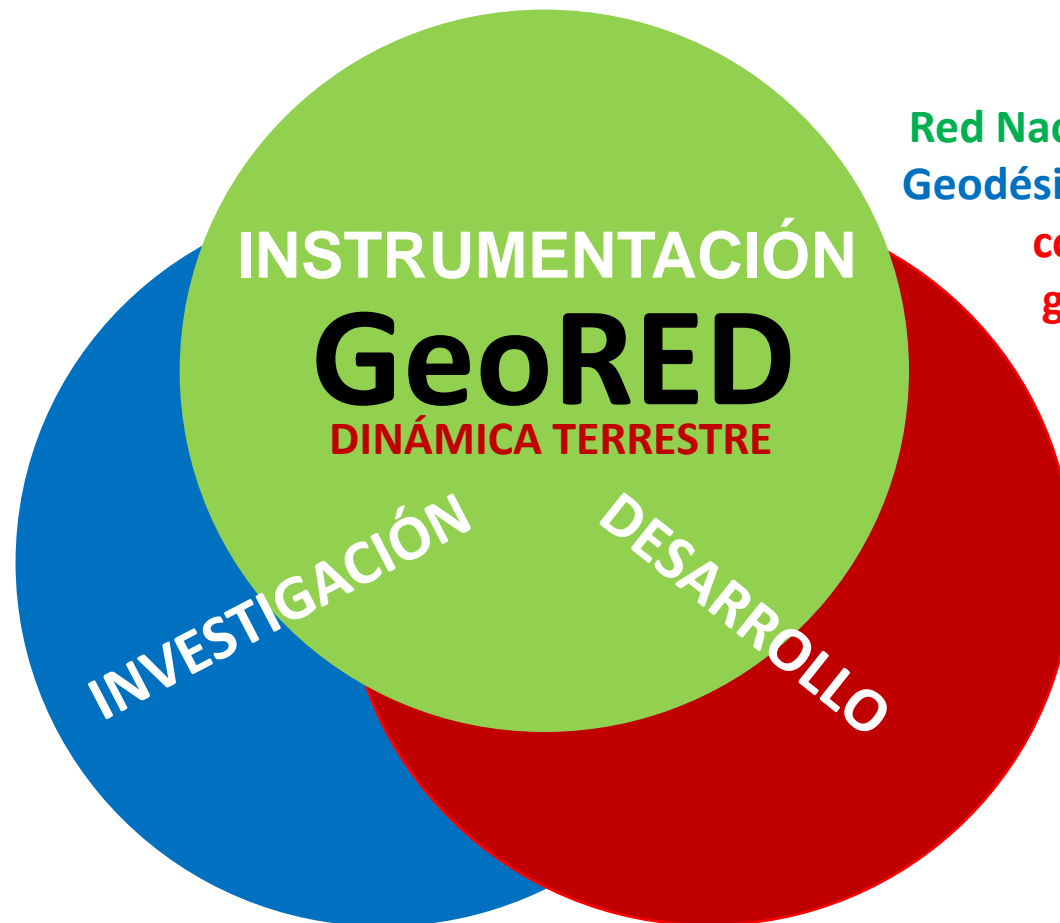


# Investigaciones geodésicas espaciales



**GeoRED**  
Geodesia:  
Red de Estudios  
de  
Deformación

Red Nacional de Estaciones  
Geodésicas Espaciales GNSS  
con propósitos  
geodinámicos



**ASEDT : Grupo de Investigación y Desarrollo en Aplicaciones Satelitales  
para el Estudio de la Dinámica de la Tierra - COLCIENCIAS**



# Investigaciones geodésicas espaciales

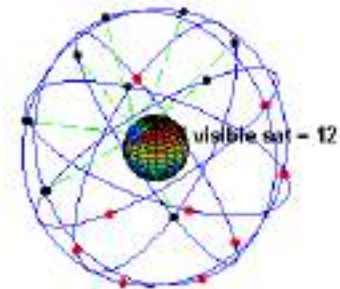
## GeoRED

Proyecto de investigación e innovación cuyo objetivo es el estudio y análisis de la deformación de la corteza terrestre en Colombia, a partir de una red nacional de estaciones geodésicas GNSS. (Mora, 2006).

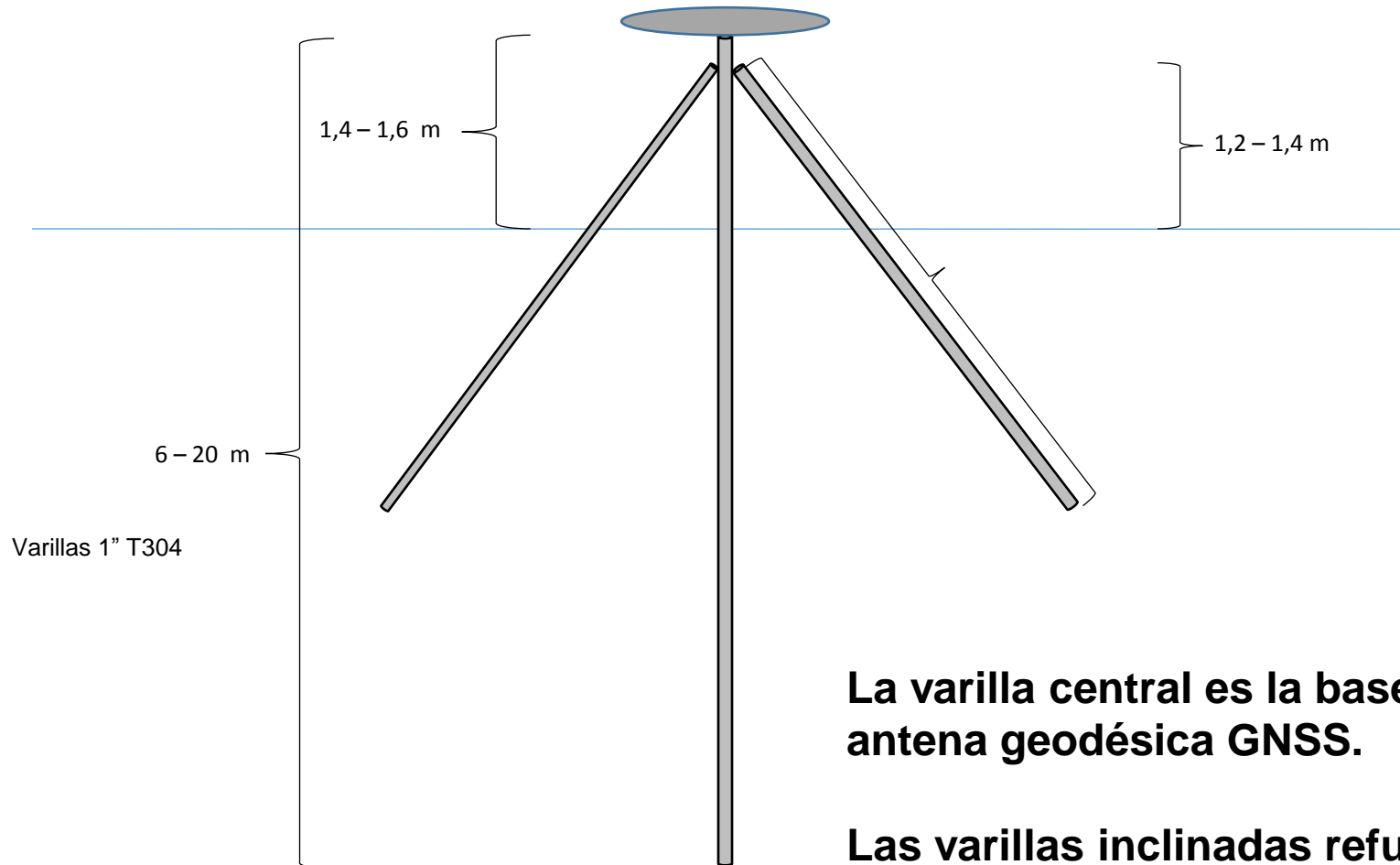


## GNSS y Geodinámica

Uso de instrumental GNSS para determinar posiciones de alta precisión (**mm**) con estaciones geodésicas de **alta estabilidad** en diversos períodos de tiempo para establecer cambios relativos en posición (**mm/año**).



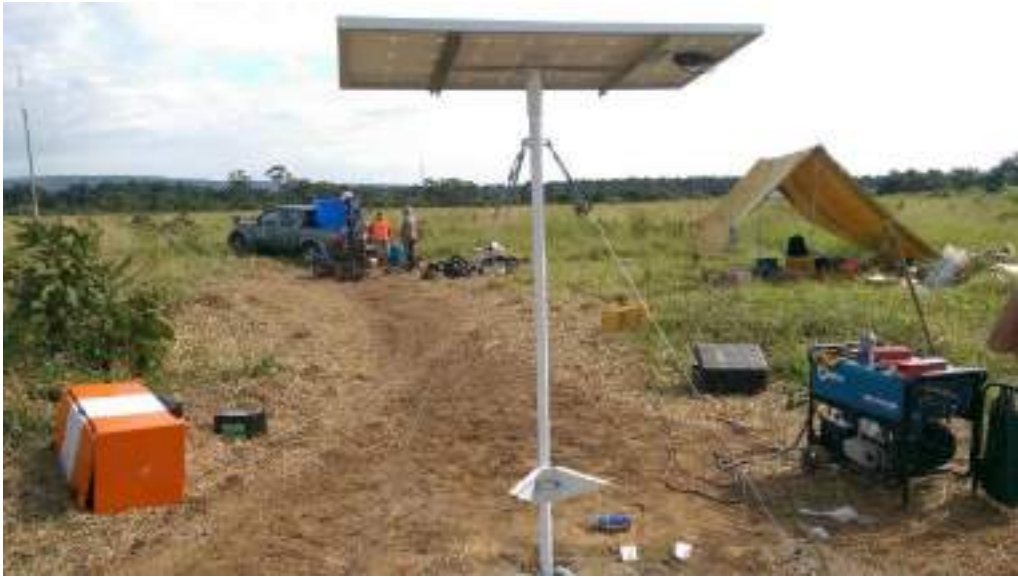
# Monumentación



**La varilla central es la base de la antena geodésica GNSS.**

**Las varillas inclinadas refuerzan el anclaje y verticalidad de la varilla central**

# Monumentación

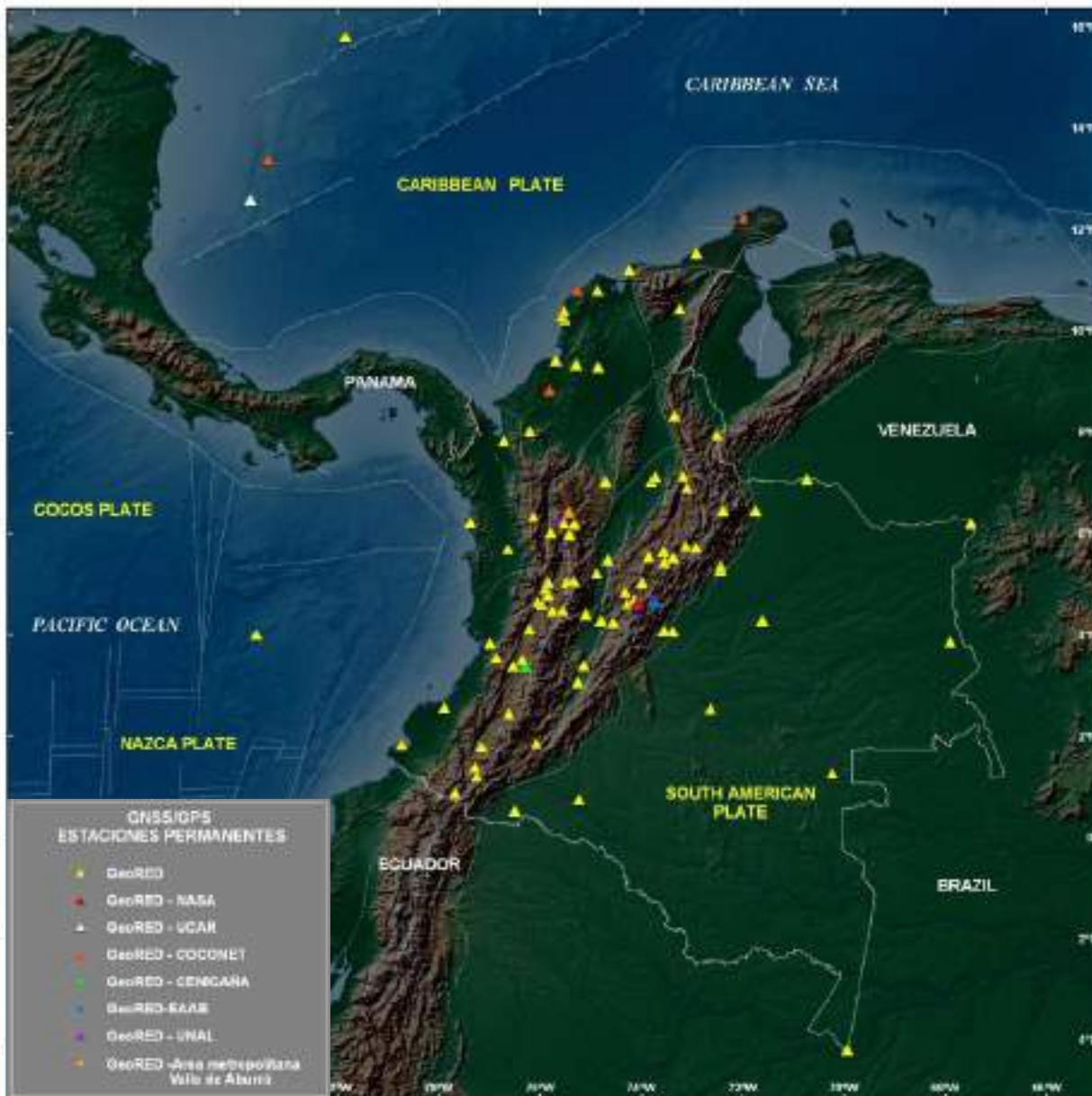


# Estación geodésica permanente de operación continua



Herramienta esencial en geoposicionamiento, georreferenciación

# Infraestructura geodésica red activa



**95**  
Estaciones  
Permanentes  
de  
operación  
continua  
CORS

**Red activa**

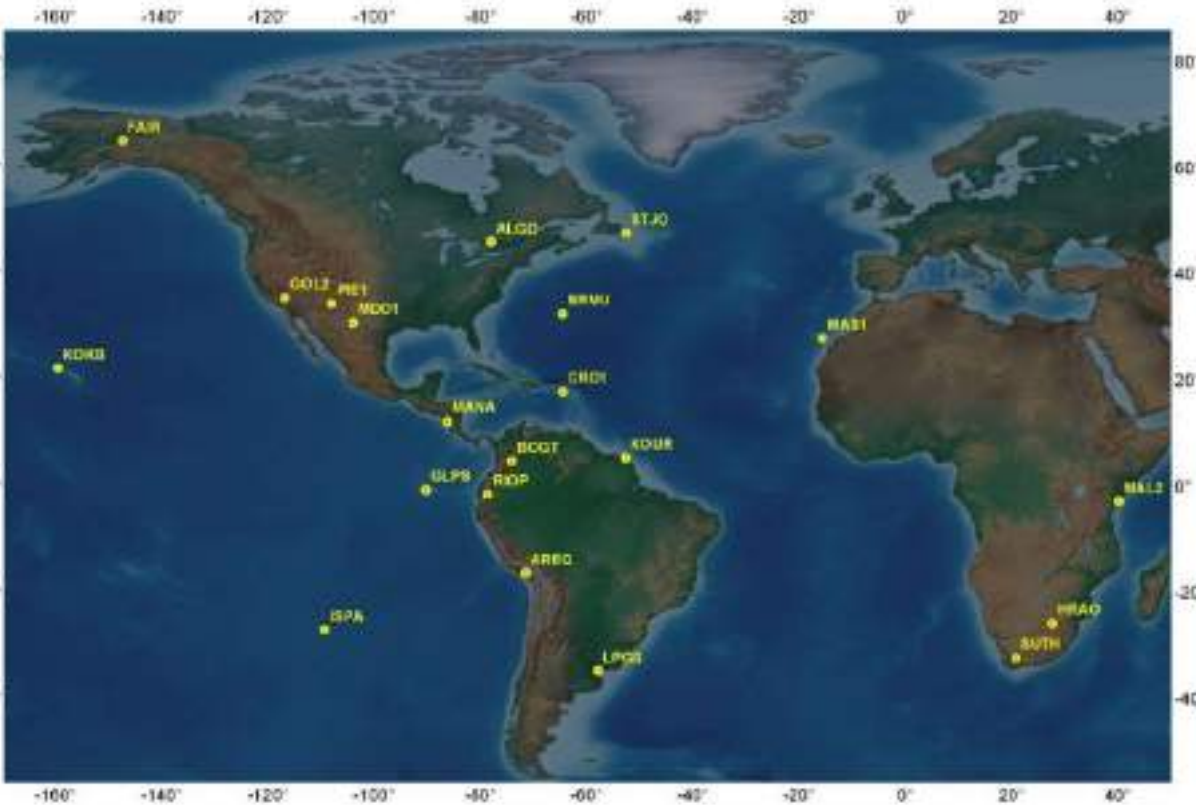
Octubre 2016



# Centro Regional de Procesamiento Científico Datos GNSS



TEQC



Héctor



DefNode



SNAPHU

*Estaciones de rastreo red global*

# Velocidades estaciones CORS GeoRED



**Velocidades geodésicas expresadas con respecto al Marco Internacional Terrestre de Referencia ITRF2008**

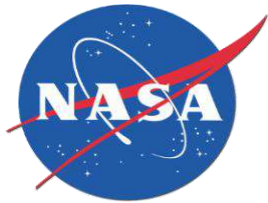
*Mora et al, in prep.*

**Nuevo modelo de velocidades para Suramérica**



*Fernandes et al, in prep.*

# Cooperación internacional



## DATOS COMPARTIDOS





# Cooperación y colaboración nacional



Fuerza Aérea



Armada Nacional



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.  
HACIENDA  
Unidad Administrativa Especial  
Catastro Distrital



Gobernación de Boyacá



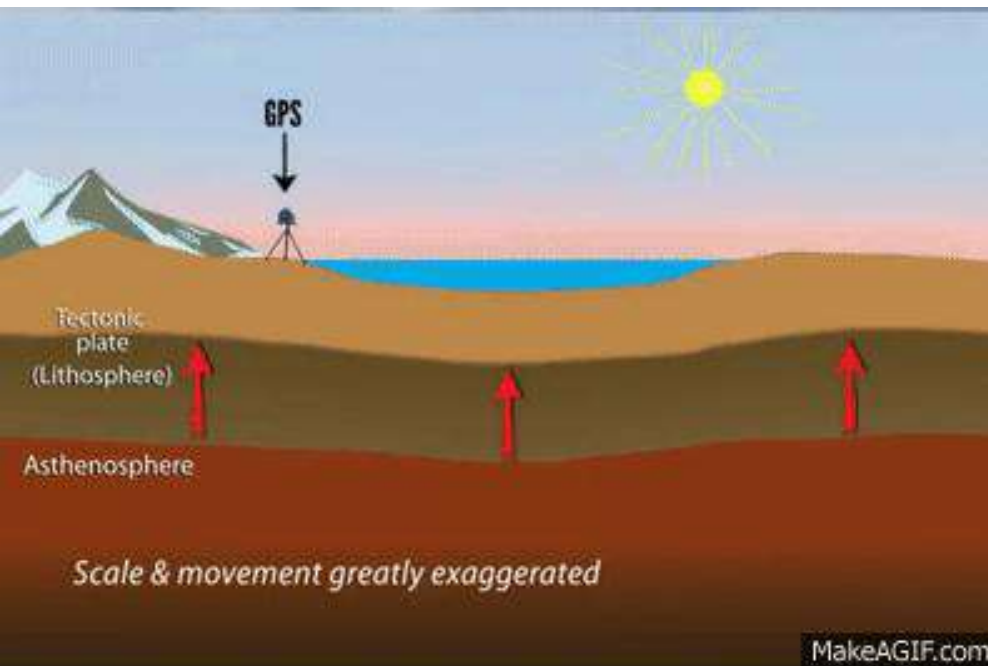
Alcaldía de Pereira



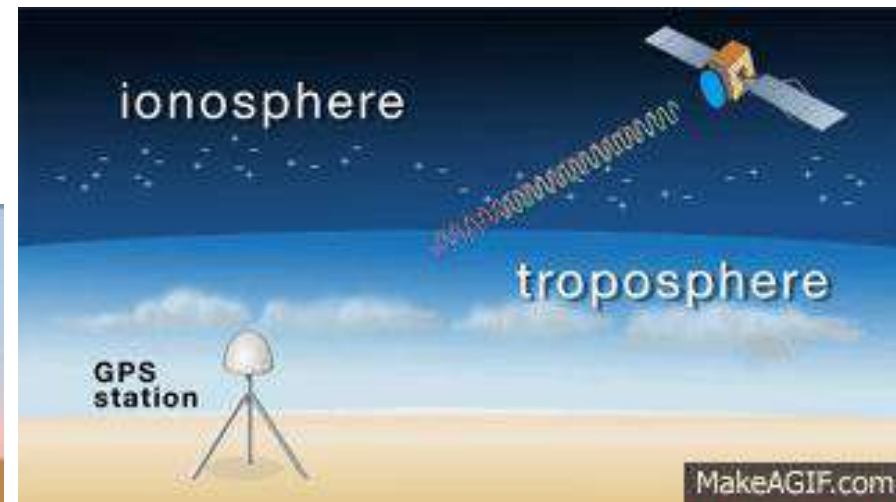
y ..... ciudadanos de

## ***Conclusiones y desafíos***

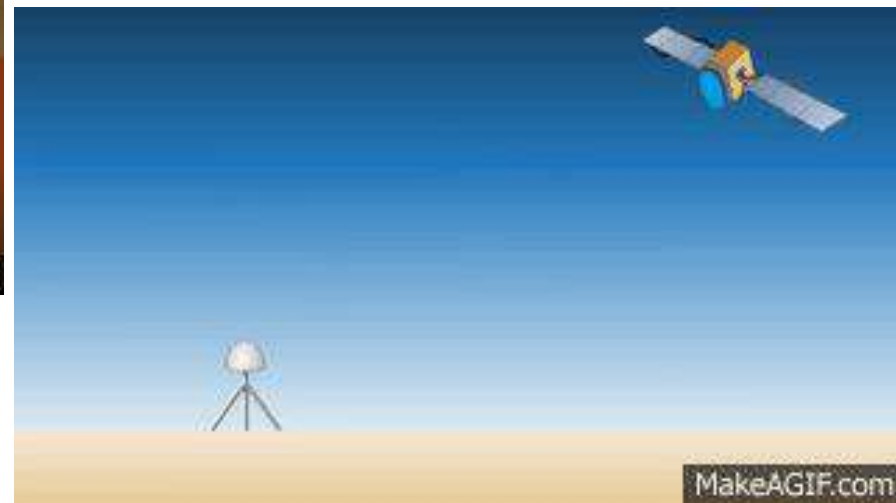
# Geodesia Espacial y Geociencias



EarthScope -McLean Media



UNAVCO

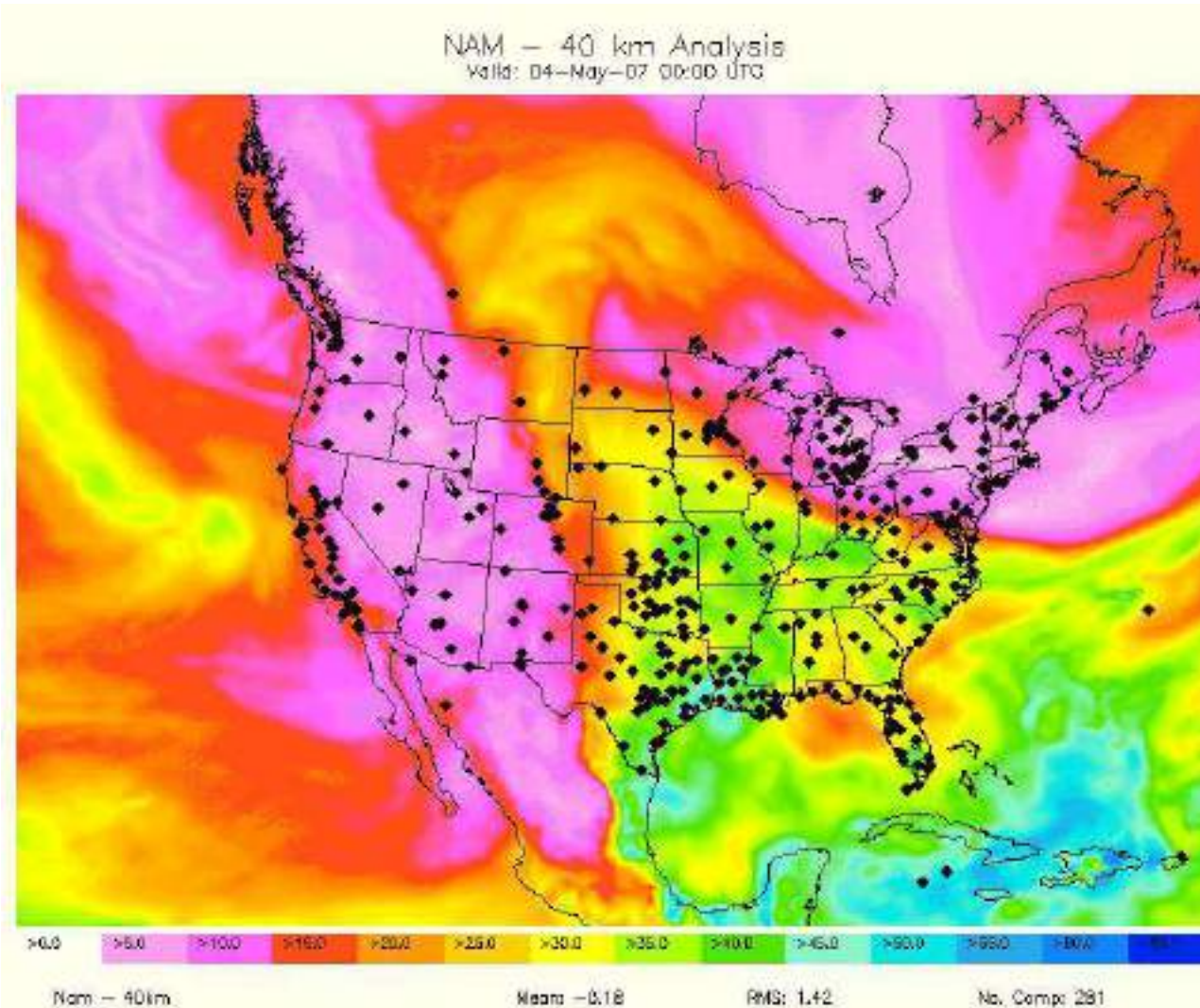


EarthScope -McLean Media

# Contribución de geodesia espacial GNSS en los estudios atmosféricos

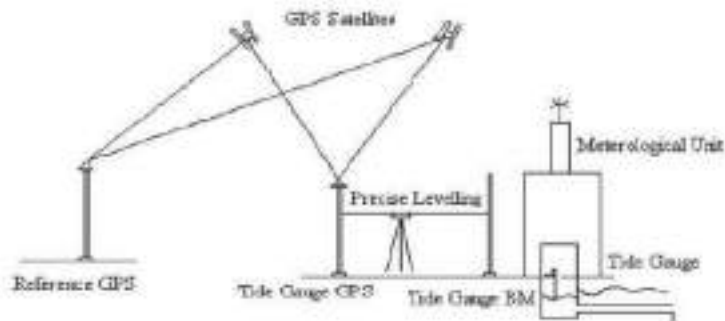
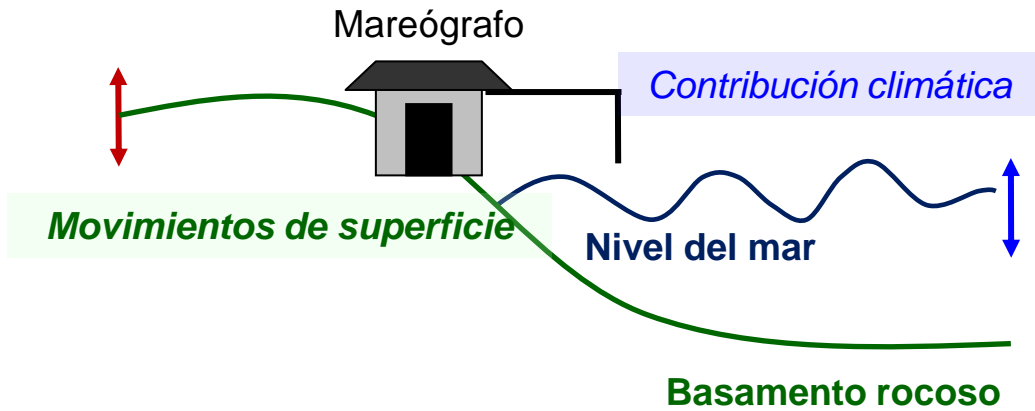


# Contribución de geodesia espacial GNSS en los estudios atmosféricos

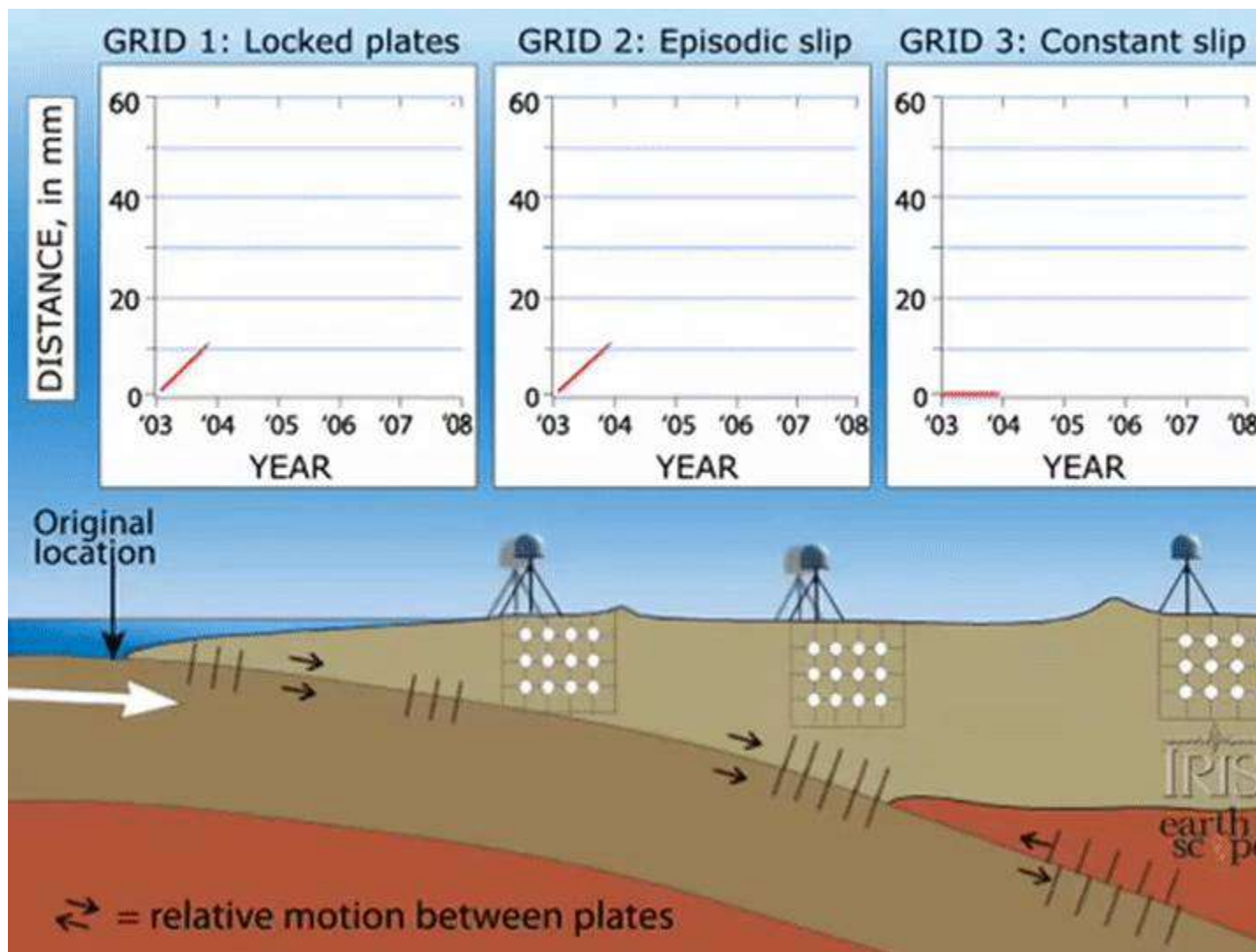


- 1) Flujos de humedad del Golfo de México al interior de USA
- 2) Esto genera fuertes tormentas a lo largo de la costa del Golfo y al interior
- 3) La colisión entre el frente frío y la humedad caliente del aire dispara los problemas en las Carolinas .....  
(Sur y Norte)

# Nivel del mar



# Deformación en una zona de subducción registrada por estaciones GPS/GNSS - ETS



# Importancia de la tecnología GNSS en el Servicio Geológico Colombiano



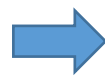
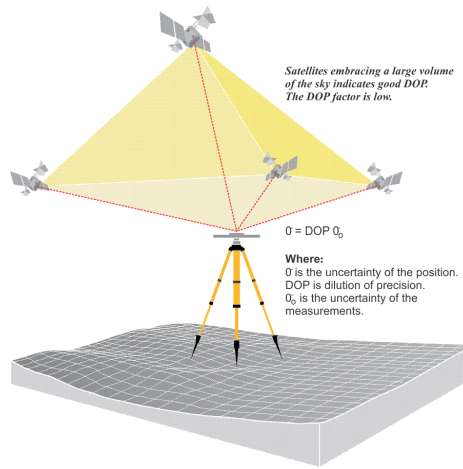
Infraestructura geodésica de alta precisión y calidad



Estudios ambientales

## Sensoramiento atmosférico GNSS

- Ionosfera
- Troposfera
- Reflectometría GNSS
- .....
- .....

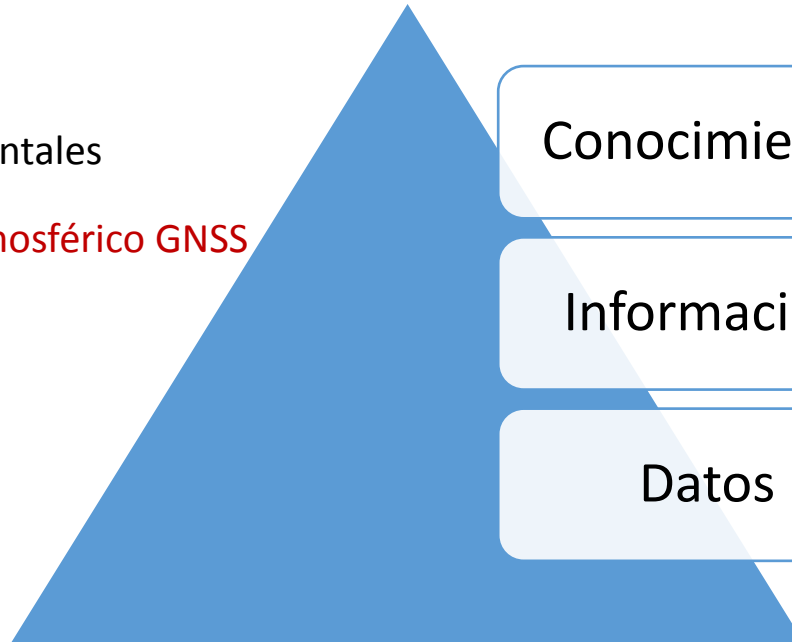


Geodinámica (Tierra sólida)



## Dinámica de la corteza terrestre

- Placas tectónicas
- Fallas activas
- Campos de velocidad
- Modelos de deformación
- Movimientos en masa
- Diapirismo de lodo
- Nivel del mar
- Volcanes
- .....



Conocimiento geodésico (interdisciplinarietà)



Contribución a la sociedad







SERVICIO  
GEOLÓGICO  
COLOMBIANO



Dirección de  
Geoamenazas

*Grupo*  
**Investigaciones Geodésicas Espaciales**  
*Proyecto GeoRED*

<http://geored.sgc.gov.co>  
[geored@sgc.gov.co](mailto:geored@sgc.gov.co)

