

Necesidad de una Infraestructura para Geodesia Espacial de Precisión

Michael Pearlman, Presidente
Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge MA, USA

Erricos Pavlis, Coordinador Científico
GEST, UMBC, Baltimore MD, USA

Carey Noll, Director Asociado
NASA GSFC, Greenbelt MD, USA

Sistema de Observación Geodética Global (GGOS)
Agencia de Redes y Comunicaciones



Space Conference of the Americas 2010
Pachuca Mexico
November 15-19, 2010

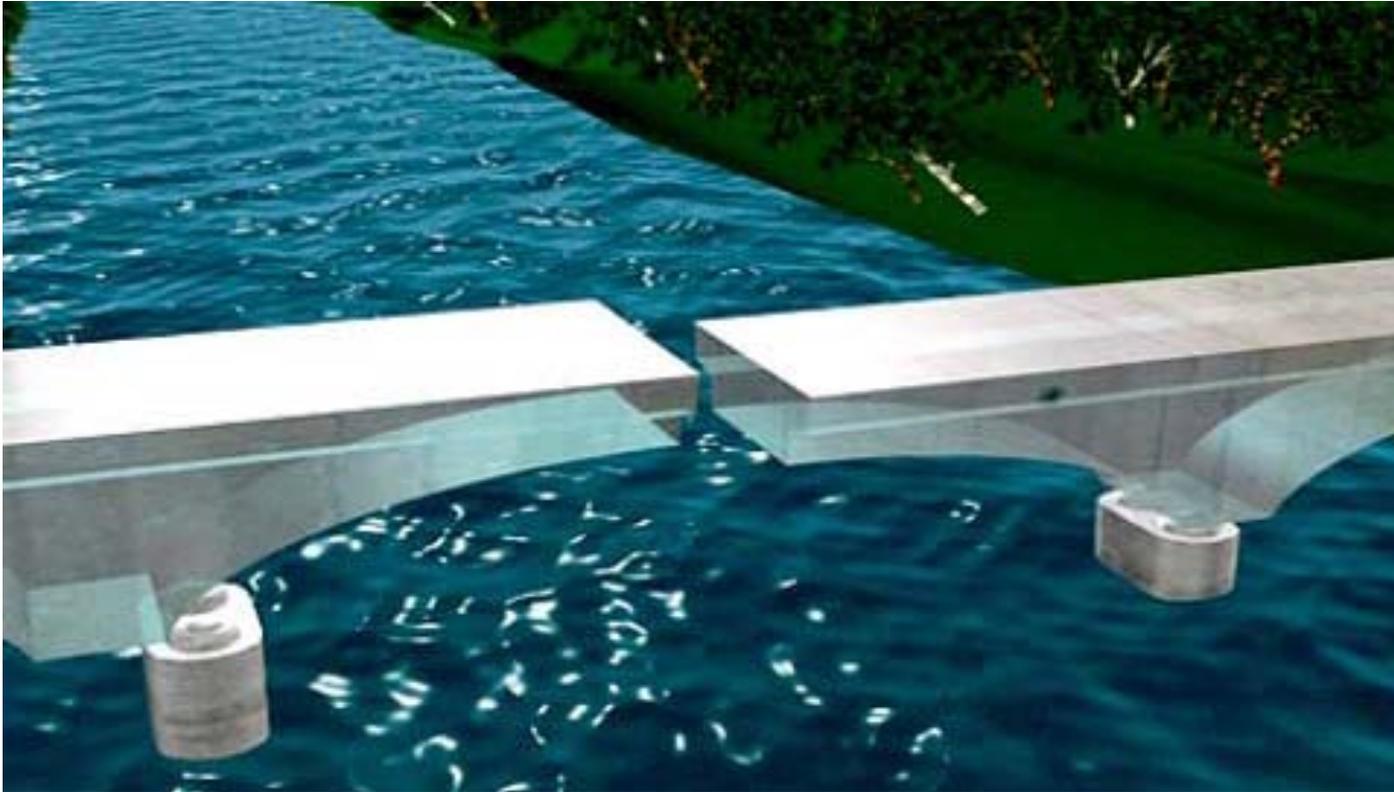


Necesidad de Monitoreo de los Sistemas de la Tierra con las Redes de Geodesia Espacial

- Los procesos terrestres pueden tener un impacto devastador en nuestra sociedad y nuestras economías (sismos, aumento del nivel del mar, inundaciones, sequías, tormentas, tsunamis, etc.)
- Monitoreo de los sistemas de la Tierra nos ayuda a entender los procesos del Ambiente y sus interacciones:
 - Tierra, océanos, casquetes polares, hidrología terrestre, atmósfera, etc.
- Decisiones sociales mayores requieren muchos años para ser implementadas:
 - Construcción de diques, traslados de población, códigos de construcción, estrategias de agricultura, etc.
- El entendimiento de los procesos ambientales nos ayudará a tomar decisiones inteligentes con anticipación para que tengan un impacto oportuno.
- Las Redes de Geodesia Espacial son fundamentales para el sistema de monitoreo que nos ayuda a entender los procesos de la Tierra a través de mediciones sobre el terreno y desde el espacio.
- Las Redes de Geodesia Espacial nos permiten integrar sistemas nacionales de referencias.



Quando los Marcos Nacionales de Referencia no están Integrados!



Error de diseño en la construcción del puente en Laufenburg (2003): Durante la construcción del puente que cruza el Río Rin en Laufenburg, una estación de control mostró que existe una diferencia de elevación de 54 cm entre el puente construido del lado de Suiza y la carretera del lado Alemán. La razón del error es que los horizontes del lado de Alemania y Suiza están basados en marcos de referencia distintos. Alemania tiene como referencia el nivel del Mar del Norte, Suiza tiene como referencia el Mediterráneo. *(Courtesy of Hermann Drewes/DGFI)*

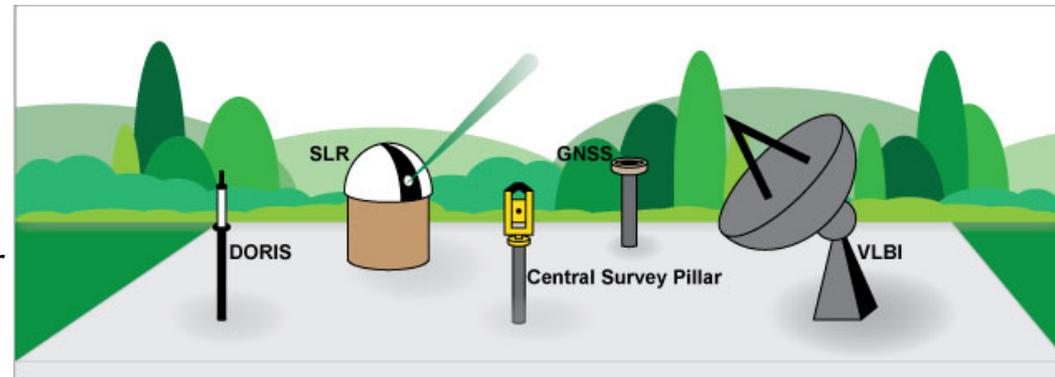


Qué es una Estación Fundamental?

- A estación de Tierra con cuatro técnicas de geodesia espacial localizadas conjuntamente para que las mediciones entre ellas puedan ser relacionadas con exactitud de sub-mm.
- Las cuatro técnicas son:
 - Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS, e.g., GPS, GLONASS, Galileo)
 - Mediciones Láser a Satélites (SLR)
 - Interferometría de Línea Base muy Larga (VLBI)
 - Determinación de Órbita y Radio-posicionamiento Integrado por Satélite (DORIS)

Por qué necesitamos cuatro técnicas?

- Los requerimientos de las mediciones son muy estrictos
- Cada técnica hace su medición de manera diferente y por lo tanto mide algo diferente:
 - Referencia Terrestre (satélite) versus astronómica (cuásares)
 - Mediciones de distancias satélite-estación versus mediciones de Diferencia de distancias
 - Transmisión ascendente versus Transmisión descendente
 - Radiofrecuencia versus óptico
 - Activo versus pasivo
 - Cubertura Geográfica
- Cada Técnica tiene diferentes fortalezas y debilidades
- La combinación nos permite tomar ventaja de sus fortalezas y mitigar las debilidades



Ejemplo de una Estación Fundamental

NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD, USA

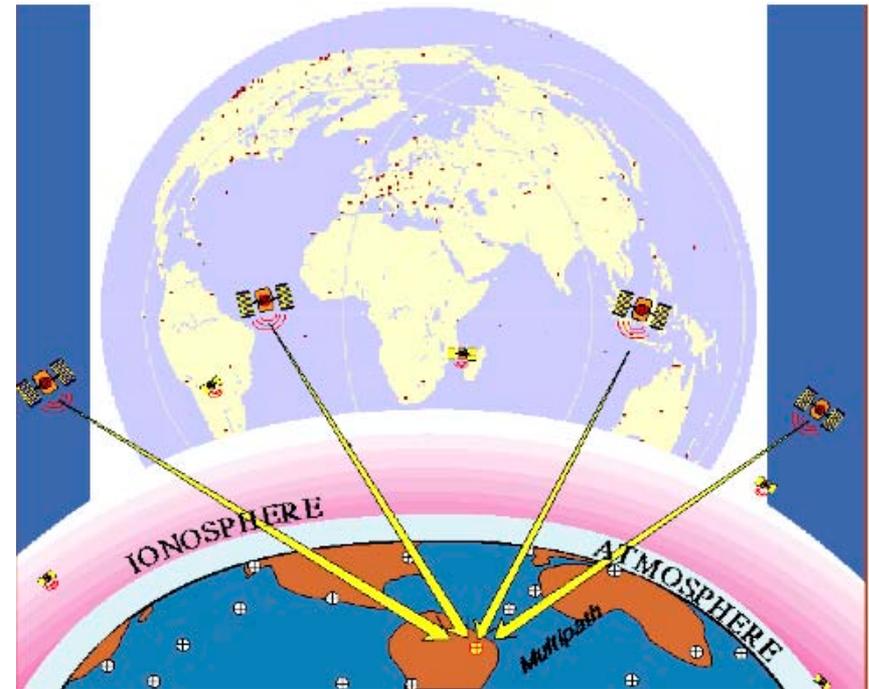


- Goddard Geophysical and Astronomical Observatory (GGAO) tiene cuatro técnicas en el Emplazamiento
 - Legado SLR, VLBI, GPS, DORIS
 - NGSLR semi - “operacional”
 - VLBI2010 sistemas en prueba
- GGAO será la ubicación del prototipo de la generación futura de estaciones de técnicas múltiples

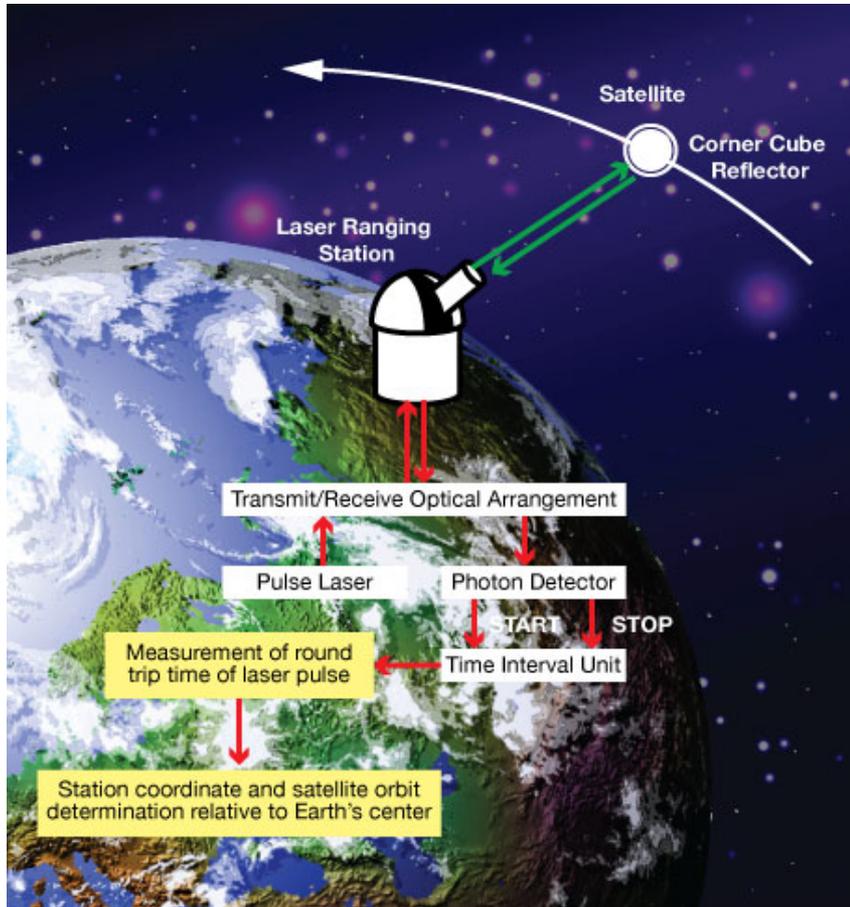


Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

- Segmento Espacial:
 - Satélites (GPS, GLONASS, Galileo, COMPASS, QZS, etc.) equipados con relojes precisos que transmiten mensajes satelitales como efemérides, desfases de cronómetros, etc.)
- Segmento Terrestre:
 - Multi-frecuencia receptor y antena GNSS
- Mediciones:
 - Pseudorange Estación a Satélite, retardo de fase
- Datos Producidos:
 - Distribución precisa del marco de referencia global
 - Determinación de Órbitas Precisas
 - Orientación y Rotación de la Tierra
 - Soluciones de Estación y reloj de Satélite
 - Productos de la Troposfera e Ionosfera
- Características:
 - Red global comprensiva
 - Costo efectivo y accesible



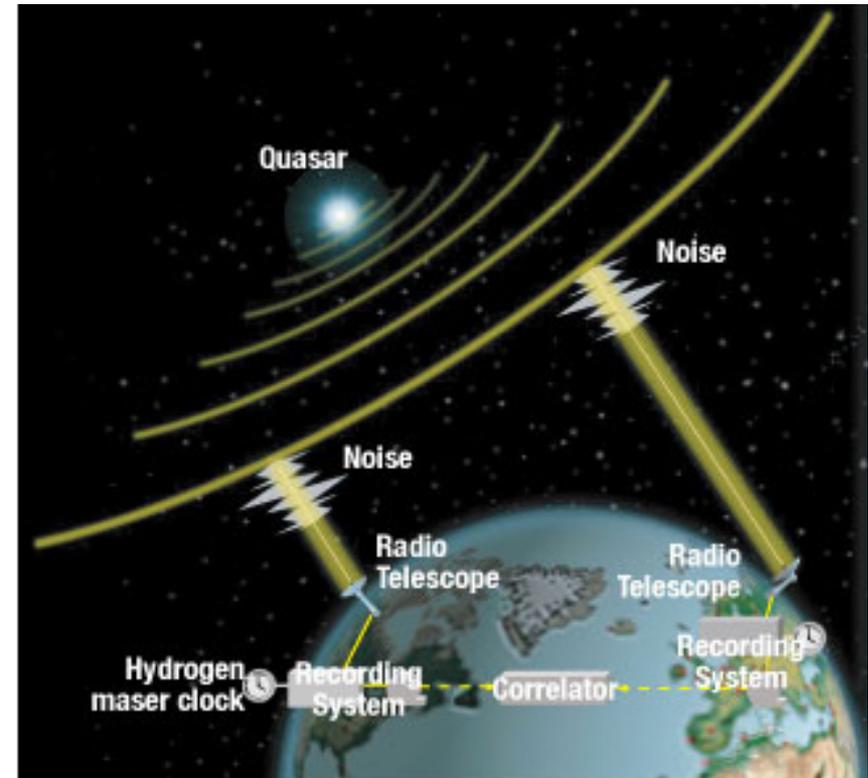
Satellite Laser Ranging (SLR)



- **Segmento Espacial:**
 - Satélites equipados con ‘corner cube’ retroreflectores
- **Segmento de Tierra:**
 - Transmisor de láser de corto-pulso
- **Mediciones:**
 - Medición del tiempo de vuelo de ida y vuelta al satélite
- **Datos Producidos:**
 - Posiciones de Estaciones
 - Determinación de Órbitas Precisas
 - Orientación y Rotación de la Tierra
- **Características:**
 - Medio mas exacto de medir la posición del satélite
 - Única determinación de la orientación del marco de referencia
 - Segmento Espacial Pasivo
 - Menos dependiente del medio de transmisión
 - Disponibilidad de datos globales casi en tiempo-real
 - Habilidad de detectar variaciones en tendencias a largo plazo

Very Long Baseline Interferometry (VLBI)

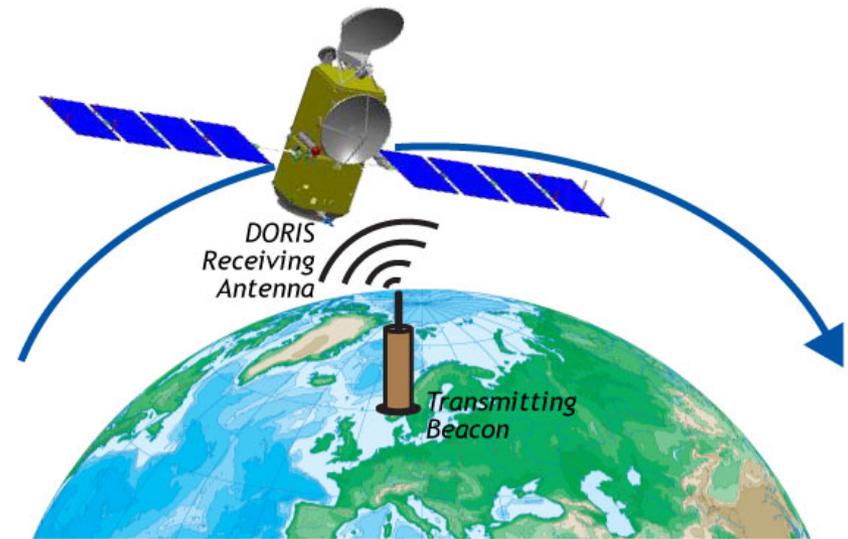
- **Segmento Espacial:**
 - Cuásares (frecuencias de microondas)
- **Segmento Terrestre:**
 - Radio telescopio equipado con receptores de banda ancha
- **Mediciones:**
 - Diferencia de tiempo de arribo del frente de onda radial emitido por un quásar distante a dos antenas en la superficie de la Tierra.
- **Datos Producidos:**
 - Posiciones de estaciones, velocidades
 - Posiciones de los cuásares
 - Orientación de la Tierra y Rotación con respecto a las estrellas
 - Parámetros de la Ionosfera
- **Características:**
 - Único método conectado con el marco de referencia astronómico (estrellas)
 - Totalmente pasivo - radio transmisión
 - Gran Volumen de datos Gbyte, pero avanzando a transmisión de datos por banda-ancha casi en tiempo-real





Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS)

- **Segmento Espacial:**
 - Satélites equipados con receptores DORIS y uplink hardware
- **Segmento Terrestre:**
 - Radiofaro transmitiendo señales de radiofrecuencia
- **Mediciones:**
 - Desviación Doppler en las señales de radiofrecuencia
- **Datos Producidos**
 - Posiciones de Estaciones y velocidades
 - Determinación de Órbitas Precisas
 - Parámetros de la Ionosfera
- **Características:**
 - Distribución Global
 - Sistema terrestre de robusta configuración (fuente singular)





Global Geodetic Observing System (GGOS)

Componente Oficial (Sistema de Observaciones) de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) con el objeto de:

Asegurar la disponibilidad de ciencia geodética, infraestructura, y productos para apoyar investigaciones de cambio global en las Ciencias de la Tierra para:

- *Extender nuestro conocimiento y entendimiento de los procesos de sistema;*
- *Monitorear cambios en curso;*
- *Incrementar nuestra capacidad de predecir el comportamiento futuro;*
- *Mejorar la disponibilidad de observaciones geodéticas y productos para un amplio rango de usuarios; y*
- *Mejorar y mantener el “International Terrestrial Reference Frame” (ITRF).*



Rol

- **Facilitar interconexión entre los Servicios y Comisiones de IAG y otros interesados en las Ciencias de la Tierra y las comunidades de Observación Terrestre,**
- **Proveer consejo científico y coordinación** que permitirán que los Servicios de IAG desarrollen productos con alta exactitud y consistencia, cumpliendo con los requerimientos de las investigaciones de cambio global.

GGOS Agencia para Redes y Comunicaciones

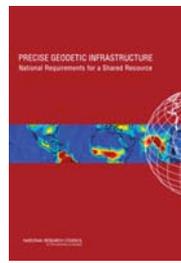
- Proveer supervisión, coordinación, guía para el desarrollo, implementación y operación de la Red Central de (co-ubicadas) Estaciones.
- Desarrollar un estrategia de diseño, integrar y mantener la red geodética fundamental de instrumentos co-ubicados apoyando la infraestructura de manera sostenible para satisfacer a largo plazo (10 - 20 años) los requerimientos identificados por el GGOS Consejo de Ciencia.

Aceptado como una Sub-Tarea bajo el Grupo de Observaciones de la Tierra (GEO)



Informe al U.S. Consejo Nacional de Investigaciones

“Infraestructura de Geodética Precisa: Requerimientos Nacionales para Recursos Compartidos”



(<http://dels.nas.edu/Report/Precise-Geodetic-Infrastructure-National-Requirements/12954>)

Reconociendo la dependencia creciente en la infraestructura para geodesia de precisión en un amplio rango de esfuerzos científicos y sociales, y reconociendo la infraestructura como un recurso nacional compartido, el Comité de Estudios del NRC recomienda enfáticamente que U.S. debe:

- Desplegar estaciones adicionales para complementar e incrementar la densidad de redes geodéticas, en un esfuerzo cooperativo con sus socios internacionales, con el objeto de alcanzar una red geodética global de estaciones fundamentales;
- Comprometerse a largo-tiempo a mantener el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) para asegurar su continuidad y estabilidad;
- Evaluar la población capacitada requerida para sostener la geodesia de precisión en los Estados Unidos y los programas de investigación y educación establecidos en universidades en U.S. que son continuación de un estudio concentrado en los prospectos de la geodesia y sus aplicaciones a largo-plazo.



GGOS Red Uniforme Distribuída Globalmente

Requerimientos del Emplazamiento

- Red uniforme distribuída Globalmente con aproximadamente 30 estaciones terrestres fundamentales, incluyendo al menos 4 estaciones en America del Sur
- Geología Estable, lejos de zonas sísmicas y zonas que sufren de deformación local
- Clima seco, despejado (para SLR)
- Condiciones Tranquilas de interferencia de radiofrecuencias
- Condiciones de horizonte Claro (despejado)
- Comunicaciones de Banda-Ancha para transferencia de datos casi en tiempo-real y control y monitoreo de instrumentos
- Emplazamiento con un area de al menos 10 hectáreas
- Fácil acceso al Emplazamiento para envíos y personal
- Infraestructura Local (energía, calles, etc.)
- Apoyo Técnico y de personal, etc.
- Seguridad del Emplazamiento



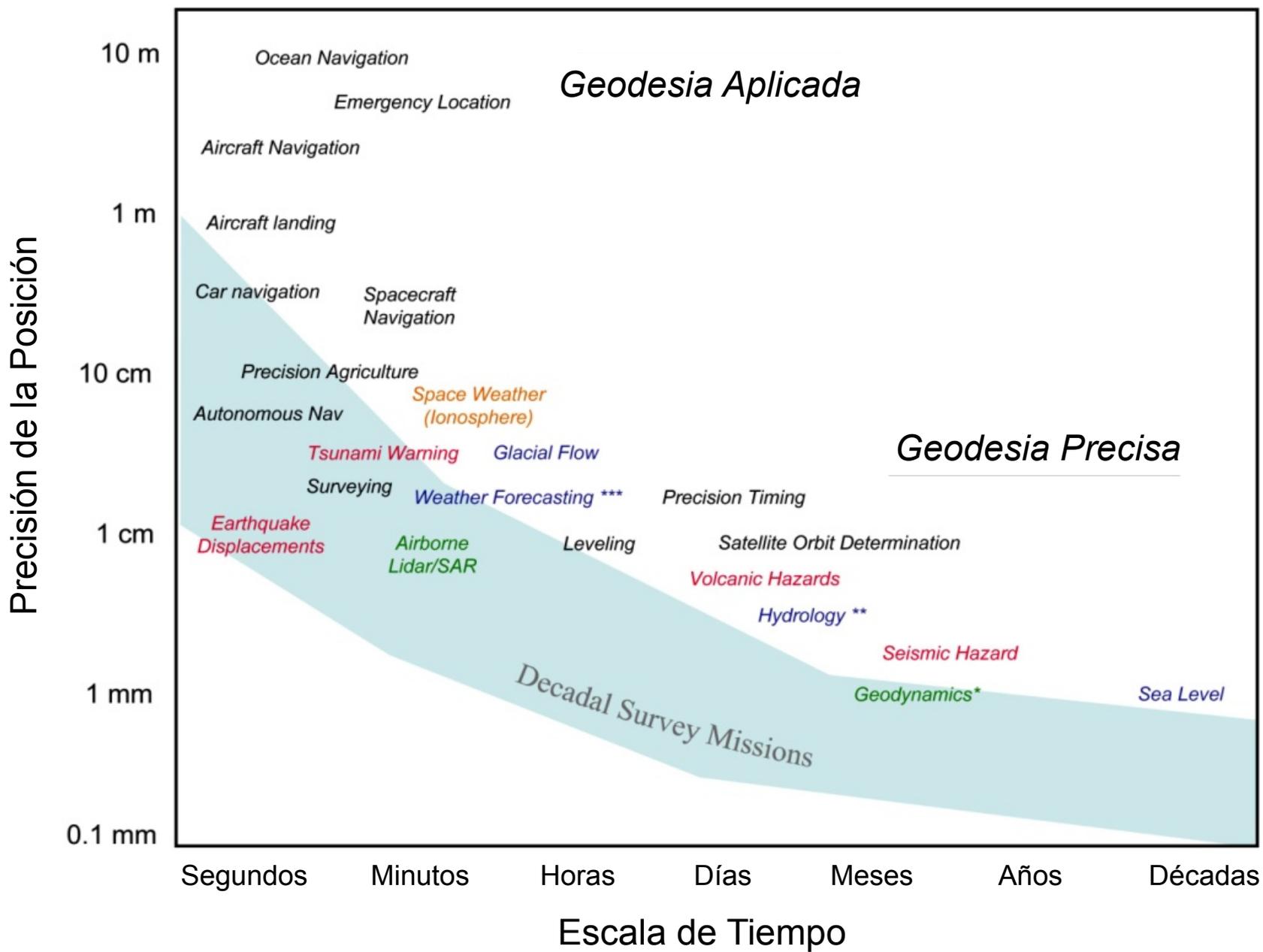
La Necesidad de Cooperación Internacional

- Los productos de datos que provienen de los Programas de Geodesia Espacial están basados en una fuerte cooperación internacional, requiriendo un amplia inversión internacional
- Internacionalmente, muchas organizaciones apoyan estaciones terrestres, desarrollo de productos, y análisis:

Cada uno hace una parte; cada uno se beneficia de su totalidad

- A través de este modelo de cooperación, la IAG ha establecido sus servicios técnicos (IGS, IVS, ILRS, and IDS)
- Actualmente, mas de 250 instituciones en más de 90 países contribuyen a esos servicios de IAG
- Estudios Simulados muestran que 30 estaciones fundamentales distribuidas globalmente se requieren para alcanzar los requerimientos del GGOS para el marco de referencia
- Una Red de GNSS mas densa es requerida para proveer acceso global al marco de referencia

La exitosa implementación de la Red de GGOS dependerá de la fuerte cooperación y participación internacional



Courtesy of Bernard Minster/SIO

<http://dels.nas.edu/Report/Precise-Geodetic-Infrastructure-National-Requirements/12954>



Beneficios Nacionales

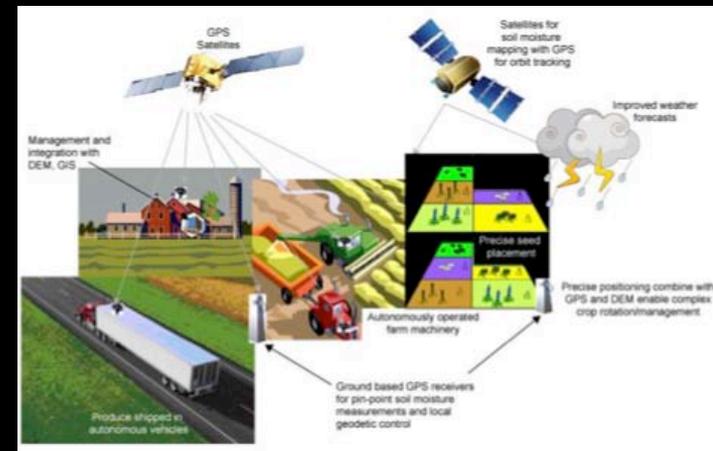
(Por qué los países están apoyando a GGOS)

- **Monitoreo y predicción de aumento del nivel del mar**
 - Inundación y erosión costal
 - Monitoreo de pantanos costales
 - Monitoreo de Tsunamis y sistemas de alerta
- **Monitoreo de cambios en el volumen de hielos**
 - Casquetes Polares
 - Glaciares de Montaña
- **Desarrollo de mapas topográficos exactos**
 - Mapas del plano de inundación
 - Erosión
 - Infraestructura, ingeniería, etc.
- **Evaluación de Desastres Naturales**
 - Sismos
 - Volcanes
 - Inundaciones
 - Corrimientos de tierra
 - Incendios
- **Meteorología**
 - Mejores modelos numéricos del tiempo y de la ionosfera
- **Entendiendo condiciones hidrológicas variables**
 - Niveles de Lagos y Ríos
 - Inundaciones y sequías
 - Monitoreo de recursos hídricos
- **Agricultura de Precisión**
 - Plantación, irrigación, arado, cosecha, etc.
- **Detección Remota Activa por satélite y avión**
 - Erosión costal, control de carreteras y límites, etc.
- **Marco de Referencia Geodética Estandarizada para Ingeniería Civil**
 - Puentes, tuneles, etc.
- **Navegación Autónoma**
 - Control de Vehiculos
 - Control de Aviones
- **Educación: Ciencias de la Tierra**

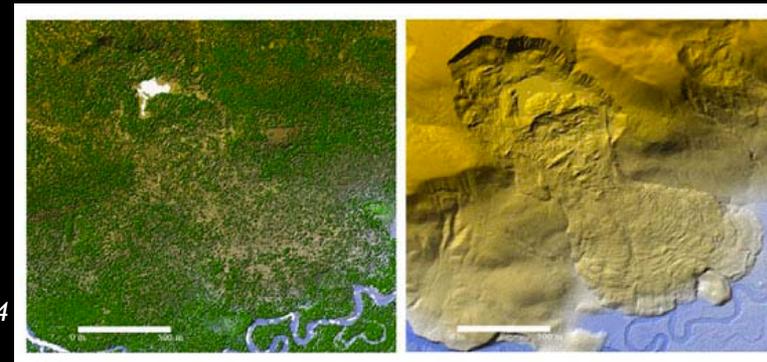
Geodesia para el beneficio de la Sociedad

Investigación civil, and commercial areas, e.g.:

- Posicionamiento en tiempo real
- Navegación Autónoma (carreteras, mar, aire)
- Agricultura de Precisión
- Sondeos, mapeo del plano de inundación
- Mapeo Forestal, estimación de biomasa
- Monitoreo de Riesgos Naturales y alerta avanzada
- Cambios del Nivel del Mar



... EI TIEMPO TIENE IMPORTANCIA CRUCIAL!



Courtesy of Bernard Minster/SIO
<http://dels.nas.edu/Report/Precise-Geodetic-Infrastructure-National-Requirements/12954>

Requerimientos Científicos de la Tierra

Dinámica de la Tierra Firme

- Geodinámica, Isostasia, Parámetros de Orientación de la Tierra
- Desastres Naturales
- Volcanes, Sismos, Corrimientos de Tierra, Inundaciones, Tsunamis

Dinámica del Océano y la Criosfera

- Aumento del Nivel del Mar

Ciclo Hidrológico y Recursos Hídricos

- Almacenamiento, Subsistencia, Niveles de Ríos y Lagos

Meteorología

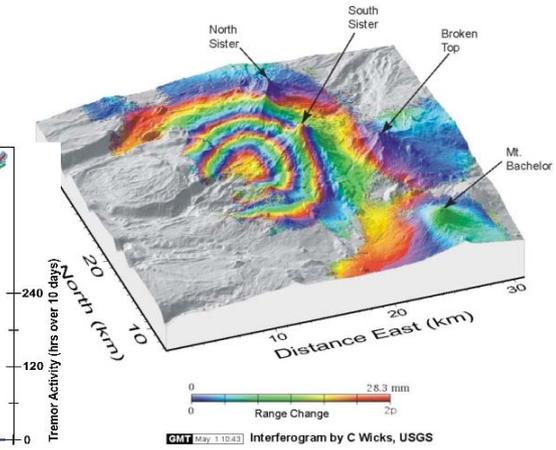
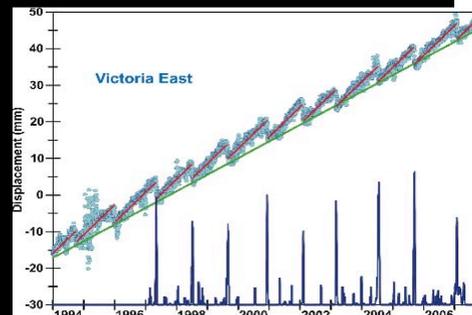
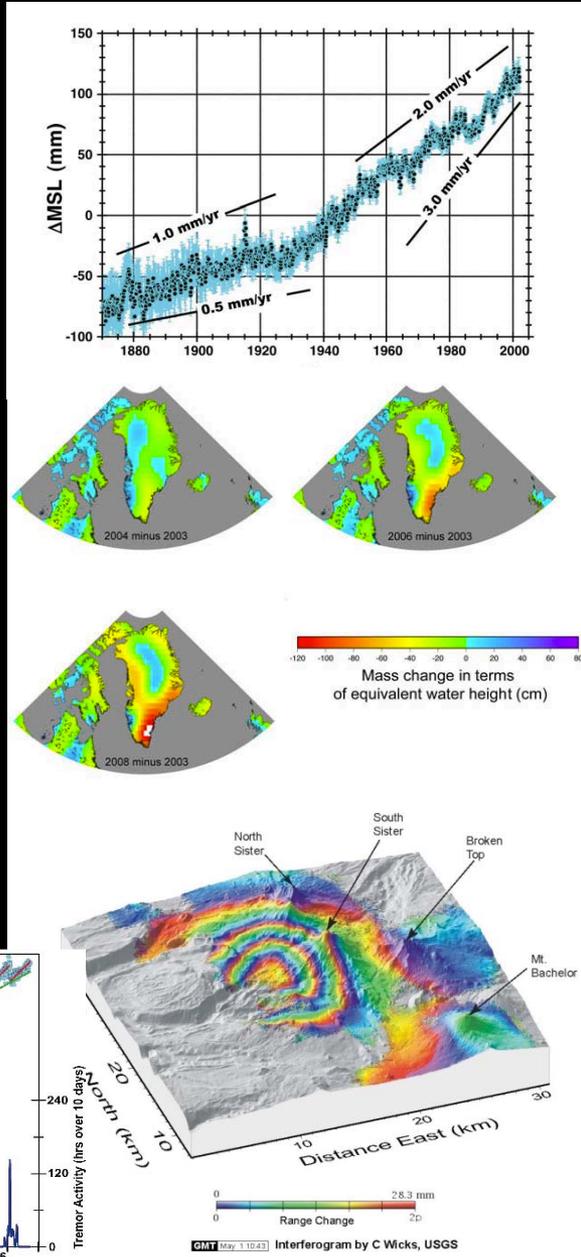
- Basada en observaciones terrestres y espaciales, Meteorología del Espacio

Navegación Precisa de Naves Espaciales

- Determinación de Órbitas Precisas
- Navegación interplanetaria

Cronometraje y su Transferencia

Misiones de la Década



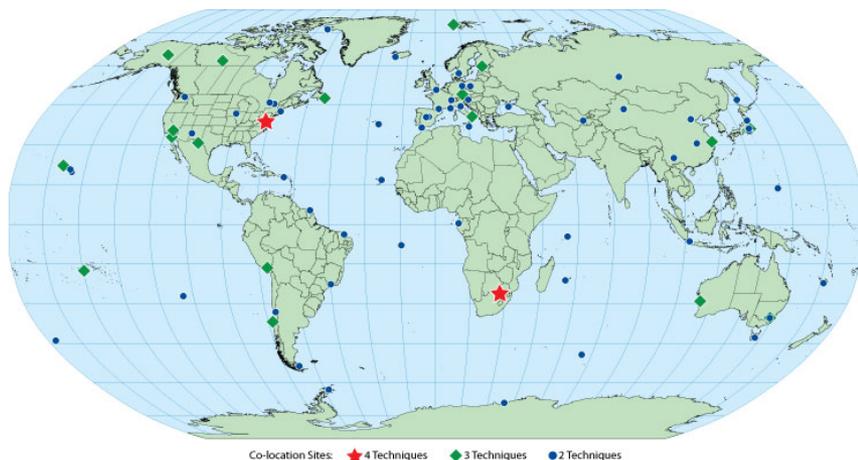
Courtesy of Bernard Minster/SIO

<http://dels.nas.edu/Report/Precise-Geodetic-Infrastructure-National-Requirements/12954>

Emplazamientos Fundamentales de Geodetica Espacial

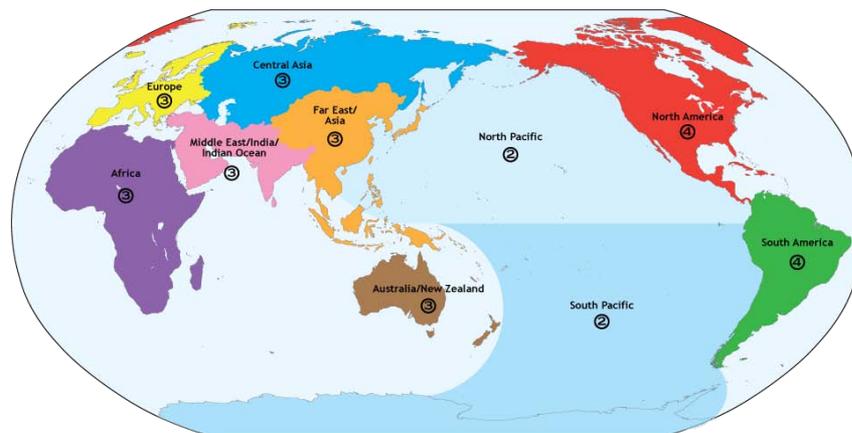
Actual red de geodesia espacial co-ubicadas

- 2 emplazamientos con 4 técnicas
- 16 emplazamientos con 3 técnicas
- 62 emplazamientos con 2 técnicas



GGOS red conceptual de estaciones fundamentales

- 30 globalmente distribuidas, multi-técnicas co-ubicadas estaciones terrestres
- 4 técnicas/emplazamientos



Trabajando Hacia una Red de Estaciones Fundamentales de GGOS

- Margen de tiempo: Horizonte de 10-años
- Costo Estimado de una Estación Fundamental: \$10M (U.S.)

Países con Actividades de Emplazamientos fundamentales:

- | | |
|----------------|----------------|
| Estados Unidos | Alemania |
| China | Corea |
| Australia | Rusia |
| Nueva Zelandia | India |
| Arabia Saudita | África del Sur |
| España | |

Construyendo la Próxima Generación de Infraestructura Geodética de Precisión en América del Sur

- La Red en América del Sur no está optimizada para cubrir las necesidades sociales
- Hay considerable capacidad sobre la cual se puede construir
- Algunas estaciones actuales en América del Sur tienen condiciones meteorológicas y geológicas inadecuadas que limitan severamente la calidad y cantidad de datos

Próximos pasos a tomar en América del Sur:

- Organizar una reunión entre IAG, GGOS, SIRGAS, y agencias nacionales interesadas para discutir oportunidades para establecer estaciones fundamentales en América del Sur





For more information contact:

Michael Pearlman

Chair, GGOS Networks and Communications Bureau

mpearlman@cfa.harvard.edu



Backup Slides



Proyecto de Geodesia Espacial de NASA

- Proveer la contribución de NASA a una red mundial de estaciones fundamentales de geodesia espacial;
- Fase 1 Propuesta desarrollada para 2-años de actividad:
 - Finalizar simulaciones de red para estudiar el ámbito de la red y examinar compromisos geográficos, operacionales y técnicos basados en LAGEOS y rastreo GNSS con SLR;
 - Completar el prototipo de los instrumentos SLR (NGSLR) y VLBI (VLBI 2010);
 - Co-ubicar estos instrumentos con la nueva generación de estaciones terrestres de GNSS y DORIS en GSFC;
 - Implementar un sistema de sondeo moderno para medir los vectores de co-ubicación entre-técnicas;
 - Desarrollar el trazado generalizado de estaciones considerando RFI y restricciones de operaciones;
 - Tomar la tarea de hacer análisis de apoyo;
 - Comenzar la evaluación de los Emplazamientos para el despliegue de la red de estaciones;
 - Desarrollar un plan completo de implementación de la red;
- Fase de seguimiento para el despliegue de hasta 10 estaciones;
- Propuesta aparte para construir el primer conjunto de retro-reflectores para futuros satélites de GPS
- Científico del Proyecto: Herb Frey/NASA GSFC (Herbert.V.Frey@nasa.gov)
Sudirector Científico del Proyecto: Frank Webb/JPL (Frank.H.Webb@jpl.nasa.gov)
Gerente del Proyecto: Ron Zellar/NASA GSFC (ron.zellar@nasa.gov)