

## **Procesamiento Geodésico en el Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas (CIGA) y su vínculo con el Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO)**

El Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO, por sus siglas en inglés) es una iniciativa conjunta entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina y la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia de Alemania (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie - BKG). Esta colaboración surge en respuesta a la recomendación de las Naciones Unidas de 2015, que instaba a las naciones a unir esfuerzos para mejorar el Marco de Referencia Geodésico Global (GGRF). A través de este esfuerzo, ambos países reafirman su compromiso con la mejora y sostenibilidad de la infraestructura geodésica global.

AGGO tiene la misión de medir y registrar a largo plazo, con la mejor precisión disponible por la tecnología moderna, una amplia gama de señales geodésicas y geofísicas, cruciales para comprender diversos procesos que afectan al Sistema Tierra. La capacidad de registrar información provista por diferentes técnicas en un solo lugar, convierte al AGGO en una pieza clave del Sistema Geodésico de Observación Global (GGOS), siendo su ubicación estratégica en el Hemisferio Sur.

La operación del instrumental específico del AGGO es una tarea ardua y muy rigurosa, que necesita constancia en la repetitividad y perdurabilidad en el tiempo. En función de estas características se pensó en capacitar a personal militar para este trabajo, en función de la formación estricta que tienen los militares. De esta manera, a través de un convenio entre el Ministerio de Defensa y el CONICET, personal militar está a cargo de la operación del instrumental, lo que garantiza que su manejo se realice con la mayor precisión y profesionalismo, y que la adquisición de datos sea de forma ininterrumpida, todos los días del año. Este personal ha sido rigurosamente capacitado, asegurando que las operaciones se lleven a cabo bajo un estricto control y cumpliendo con las normativas establecidas. Actualmente el personal militar que opera los instrumentos del AGGO está en el área del Instituto Geográfico Nacional, por su competencia en la materia.

A nivel global, AGGO contribuye al Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF), que representa la implementación práctica del GGRF. A nivel regional y nacional, desempeña un papel fundamental en el Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS) y en el marco geodésico nacional Posiciones Geodésicas Argentinas (POSGAR), ambos esenciales para el desarrollo sostenible y la gestión de datos e información geoespacial.

Para el fortalecimiento del AGGO a nivel nacional, se firmó un acuerdo entre el Instituto Geográfico Nacional (IGN), la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia de Alemania (BKG) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET), con el fin de apoyar la creación del Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas (CIGA) dentro del IGN. El centro tiene como propósito mejorar los marcos de referencia nacional, regional e internacional, así como consolidarse como centro de procesamiento de múltiples técnicas geodésicas. Por este motivo, el Centro de Procesamiento Científico de Datos GPS (CPC-Ar) fue incorporado al CIGA, a la par que se crearon dos sectores dedicados a las técnicas geodésicas de Interferometría de muy Larga Base (VLBI) y Telemetría Laser a Satélites (SLR).

El IGN cuenta con una amplia trayectoria en el procesamiento de datos GNSS. Dentro del CPC-Ar se lleva a cabo un procesamiento de datos GPS semanal único para determinar las coordenadas de las estaciones GNSS permanentes, con el objetivo de materializar y actualizar el marco de referencia geodésico nacional, así como contribuir en las definiciones de los marcos de referencia incluidos en SIRGAS.

Entre los procesos más significativos que se pueden estimar se incluyen las deformaciones de la Tierra sólida, los cambios en la superficie de los océanos y los grandes campos de hielo, así como las variaciones espaciales y temporales del campo de gravedad del planeta. Estos registros son esenciales para entender las irregularidades en la rotación de la Tierra y otros fenómenos geodinámicos. Además, proporciona datos fundamentales para estudiar el ciclo del agua entre la atmósfera, los ríos, los mares y la biomasa. Estas observaciones son vitales para comprender los procesos de cambio global y su impacto en el medio ambiente. Al poner esta información a disposición de la comunidad científica internacional, AGGO contribuye significativamente al avance del conocimiento sobre la dinámica de nuestro planeta y los efectos del cambio climático.

La estrategia de procesamiento se basa en la obtención de una solución diaria de cada conjunto de estaciones, que luego posibilita el cálculo y análisis de la repetitividad semanal. Se entiende por repetitividad semanal a la etapa de evaluación de las posiciones tridimensionales de cada estación GNSS permanente obtenidas a lo largo de una semana, que permite la depuración de las series temporales (en caso de notar errores accidentales que distorsionen la calidad de las coordenadas finales de una estación GNSS se elimina la solución diaria). Finalmente, las siete soluciones diarias depuradas son combinadas en una única solución semanal, a la que se le asigna como época, la época media de la semana.

Actualmente se produce una solución semanal de más de 500 estaciones GNSS permanentes, principalmente ubicadas en el continente americano y la Antártida. CPC-Ar ha demostrado la capacidad de mantener la precisión en las soluciones semanales a lo largo del tiempo, pudiendo soportar el incremento en la cantidad de estaciones asignadas y manteniendo la calidad de los resultados.

La técnica VLBI utiliza pares de radiotelescopios, ubicados en sectores alejados del globo, que observan fuentes extragalácticas altamente energéticas denominadas cuásares. Con la diferencia de tiempo de llegada de las señales que emiten estas fuentes, a dos antenas y a través del uso de propiedades geométricas, se puede determinar la distancia y dirección entre ambas antenas.

Las observaciones VLBI se realizan mediante sesiones que normalmente son de 1 hora o 24 horas. Las sesiones de 1 hora se llaman Intensives (INT) y se llevan a cabo todos los días con el objetivo de estimar en tiempo casi real el Tiempo Universal UT1. Una sesión típica de 24 horas de duración contiene aproximadamente mil observaciones simultáneas (de múltiples telescopios), a una selección de diversas fuentes (cuásares).

A partir de las soluciones obtenidas en el procesamiento se genera un archivo de solución diaria en un formato estándar denominado SINEX, que proporciona estimaciones de la orientación de la Tierra en el espacio y las posiciones de las antenas para cada sesión de

24 horas, valores de retardo troposférico y coordenadas de las fuentes observadas. Para el procesamiento y análisis de datos VLBI, el CIGA emplea el Vienna VLBI and Satellite Software (VieVS), que cumple con los estándares científicos requeridos por los servicios internacionales de geodesia.

Hacia fines del 2019 el IGN fue incorporado como Centro de Análisis Asociado al International VLBI Service (IVS), comprometiéndose a enviar regularmente productos de alta calidad para el mantenimiento del marco de referencia geodésico global y la determinación de los Parámetros de Orientación Terrestre (EOP por sus siglas en inglés). Rutinariamente se procesan todas las sesiones de 24hs que programa el IVS, así como algunas sesiones intensivas específicas. Como resultado del procesamiento, se obtienen tanto parámetros de orientación terrestre como coordenadas de las antenas y de las fuentes extra galácticas involucradas.

La técnica geodésica SLR (Satellite Laser Ranging), o Telemetría Láser sobre Satélites Artificiales, es un método utilizado para medir distancias extremadamente precisas entre una estación en la Tierra y un satélite artificial. Esta técnica se basa en la emisión de pulsos de láser desde una estación terrestre hacia un satélite equipado con un retrorreflector, un dispositivo que refleja el láser de vuelta a la estación de origen. El parámetro que se quiere estimar es el tiempo de vuelo de ida y vuelta. Luego este se convierte en una medida de distancia entre el satélite y la estación, y al tomarse un conjunto de medidas en un intervalo de tiempo determinado, se puede determinar la trayectoria del satélite.

Si bien la técnica tiene diversas aplicaciones, resulta de vital importancia a la hora de consolidar el Marco de Referencia Geodésico Terrestre: puede estimar con gran precisión las coordenadas de las estaciones y las órbitas de los satélites que observa. Además, contribuye en la estimación de las coordenadas X e Y del polo de rotación instantáneo de la Tierra como la ubicación del geocentro.

Durante el 2021 se conformó un grupo de trabajo conjunto AGGO-IGN, cuyo objetivo era, en primera instancia, capacitarse en las rutinas de procesamiento de datos SLR, familiarizarse con el software específico y el manejo de datos SLR. Habiendo finalizado esa primera etapa, miembros del CIGA comenzaron con el procesamiento de un set de datos anuales, estimando parámetros de orientación terrestre ( $X_{po}$ ,  $Y_{po}$ , UT1-UTC), elementos orbitales para las órbitas de Lageos-1 y Lageos-2, y coordenadas del geocentro.

Actualmente se busca lograr optimizar las rutinas de esta técnica, para lograr procesar semanalmente las sesiones de observación, manteniendo la consistencia en la precisión de los resultados.

Entonces, los instrumentos geodésicos del AGGO junto con el procesamiento de los datos que se realizan a través del CIGA, son fundamentales para mantener actualizado el Marco de Referencia Geodésico Global, Regional y Nacional, contribuyendo de esta manera a la georreferenciación de la información geoespacial del país, a la mejora del posicionamiento de cada uno de los propietarios de celulares que utilizan GNSS, a la generación de una Infraestructura de Datos Espaciales con la información completamente georreferenciada, etc.