

# SERIES TEMPORALES HOMOGÉNEAS DE ZTD E IWV, DERIVADOS DE DATOS GNSS EN SUDAMÉRICA Y APLICACIONES

Guillermina P. Anasimele<sup>1,2</sup>, Luciano P. O. Mendoza<sup>1,2</sup>, María Eugenia Dillon<sup>2,3</sup>, Yanina García Skabar<sup>3</sup>

[ganasi@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:ganasi@fcaglp.unlp.edu.ar). Anasimele Guillermina.

<sup>1</sup> Centro de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Buenos Aires, Argentina

**Palabras clave:** GNSS-GB, Vapor de agua, Sensoramiento remoto.

## 1) INTRODUCCIÓN

El Retardo Cenital Total (ZTD, zenith total delay), el Retardo Cenital Húmedo (ZWD, zenith wet delay) y el Vapor de Agua Integrado (IWV, integrated water vapour) pueden ser calculados a partir de señales de Global Navigation Satellite Systems (GNSS-GB, ground-based) y observaciones meteorológicas en superficie. Los mismos proporcionan información valiosa sobre el contenido de humedad de la atmósfera y por lo tanto representan parámetros de suma utilidad para la determinación del pronóstico del tiempo. En particular, pueden ser incorporados a modelos de pronóstico numérico (NWP, numerical weather prediction) mediante procesos de asimilación de datos (Bonafoni et al., 2019), con el fin de mejorar la condición inicial del mismo.

El sistema GPS comenzó a estar disponible para libre uso civil y científico a fines de la década de los 80, y el sistema GLONASS aproximadamente desde el 2000, de manera que es posible obtener series temporales, de algunas décadas, de estos parámetros atmosféricos. Sin embargo, es un desafío obtener series homogéneas, teniendo en cuenta los cambios en la infraestructura de la redes. Gracias a los productos de reprocesamiento del International GNSS Service (IGS) hoy es posible obtener series temporales homogéneas de alrededor de 20 a 25 años. Éstas resultan muy útiles, en especial cuando se trata del IWV, ya que el análisis de las tendencias en estos períodos pueden complementar análisis climatológicos indicando la variabilidad a largo plazo del vapor de agua.

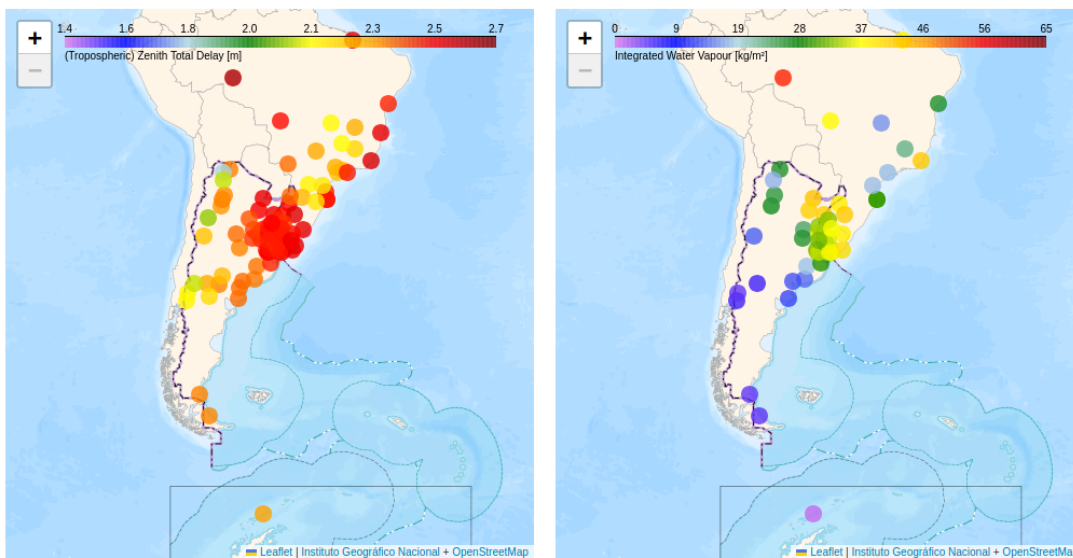
El Centro MAGGIA (Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría, FCAG, UNLP) administra un sistema de provisión IWV y ZTD troposféricos a tiempo real (NRT, near real time) para Sudamérica (Aragón Paz et al., 2023). Si bien el IWV estimado a partir de observaciones GNSS-GB ya es considerado como el valor real a la hora de evaluar otras técnicas de observación, la precisa cuantificación de la exactitud alcanzable, así como la magnitud de los errores sistemáticos introducidos, siguen siendo temas de estudio, sobre todo debido a las diversas metodologías utilizables para su cómputo.

Mientras que el sistema de monitoreo troposférico NRT operado actualmente emplea el método GNSS diferencial DGNSS (differential GNSS), el método GNSS de posicionamiento puntual preciso (PPP, precise point positioning) tiene significativas ventajas. Por ejemplo, la

economía de cálculo y su independencia de los marcos de referencia materializados en la corteza (e.g., resistencia a eventos sísmicos de gran magnitud, algo importante aquí en Sudamérica). En este contexto, el objetivo de este trabajo es avanzar en la producción de series temporales de ZTD, e IWV, multi-decadales (de 2003 a 2023), homogéneas, aplicando el método PPP, focalizando en el análisis de las series de un caso de estudio para experimentos de asimilación en NWP.

## 2) SISTEMA DE MONITOREO DE ZTD E IWV

La cobertura geográfica del sistema NRT se extiende desde el centro de Brasil hasta la Península Antártica, incluyendo Argentina y Uruguay. El procesamiento de las observaciones satelitales, completamente automatizado, combina streams de datos GNSS de las estaciones de rastreo con observaciones sinópticas de estaciones meteorológicas cercanas mediante el método DGNSS. En la Fig. 1 se muestra, a modo de ejemplo, los datos de ZTD e IWV disponibles en tiempo real públicamente (<https://wilkilen.fcaglp.unlp.edu.ar/tro/latest.html>, accedido el 27/05/2025).



Last update @ 2025-05-27 14:40 UTC; ZTD @ 87 sites; IWV @ 49 sites; ZTD/IWV latency between 0.7 and 4.7 hours; Run by L. Mendoza; Operational and open access ZTD/IWV data repository [here](#); GNSS orbits and clocks by [CODE](#) (ultra rapid, Germany & Switzerland); Software: [BNC](#) & [Bernese GNSS Software](#); GNSS and METEO observations providers: [BKG](#) (Germany), [IBGE](#) (Brazil), [IGM](#) (Uruguay), [IGN](#) (Argentina), [NASA](#) (USA), [SMN](#) (Argentina). Documentation [here](#) and [here](#).

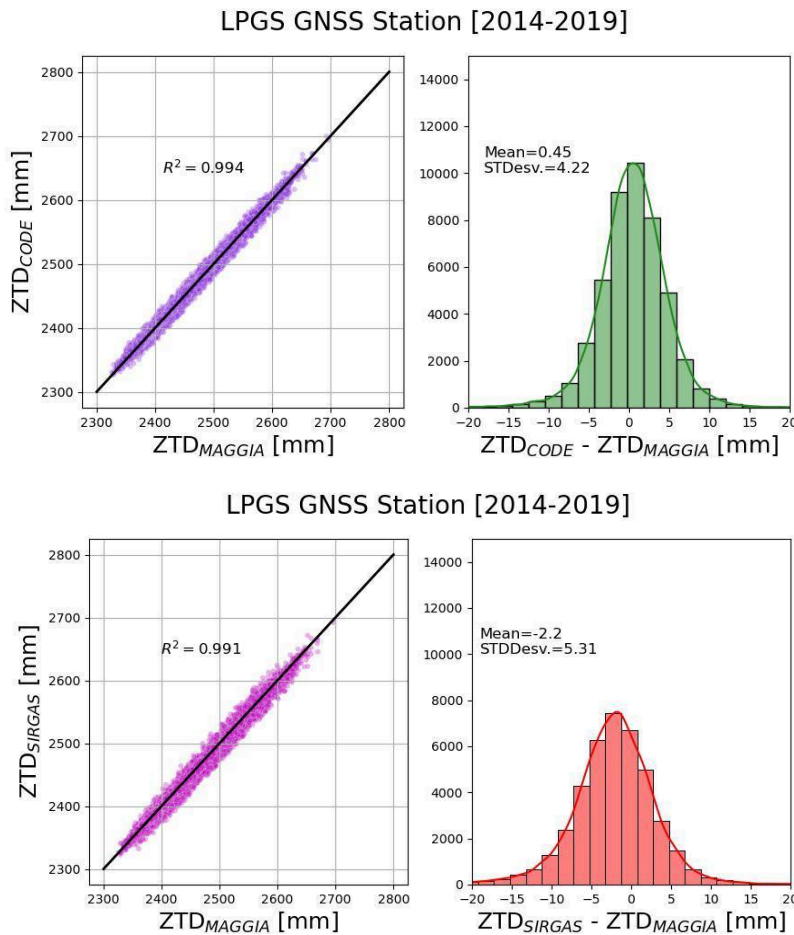
Figura 1: Ejemplo de mapas web activos de ZTD e IWV, provistos cada una hora, a partir de las observaciones GNSS-GB regionales.

## 3) SERIES TEMPORALES DE ZTD E IWV DERIVADOS DE MÉTODO PPP

Para generar la nueva base de datos, que permitirá estimar series multi-decadales, se recopilaban observaciones para más de 700 estaciones GNSS, entre 2003 y 2023. A partir de esta base de datos, y con el objetivo de evaluar los productos, se generaron series temporales homogéneas regionales de ZTD e IWV para estaciones seleccionadas en un período de al menos cinco años, y con una frecuencia de estimación de una hora.

En primer lugar, se realizó una comparación exhaustiva para evaluar los estimadores de ZTD derivados con PPP respecto de productos GNSS-GB independientes estimados a partir del método DGNSS, provistos por el IGS (International GNSS Service) y por SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). En la Fig. 2 se observan algunos resultados, mostrando correlaciones lineales de 0.99 (0.99) entre ZTDMAGGIA y ZTDCODE

(ZTDSIRGAS) para una estación. En segundo lugar, se compararon los productos ZTD estimados con otros productos ZTD derivados de datos de Radiosondeos (RS) provistos por la Universidad de Wyoming. Por último, las series homogéneas de IWV fueron contrastadas con datos vapor de agua integrado estimados a partir de los mismos radiosondeos (no mostrado). Estas comparaciones permiten afirmar que los métodos y modelos empleados son adecuados. Adicionalmente, se calculó el contenido medio de vapor de agua y las tendencias de cambio decadales en algunas estaciones seleccionadas.



Una vez evaluada la calidad de los productos, y con el objetivo de generar datos de entrada para experimentos futuros de asimilación de ZTD en NWP, se generaron series de ZTD e IWV de algunos días con una frecuencia de una estimación cada cinco minutos (ZTD) o cada una hora (IWV). Las estimaciones se realizaron en todas las estaciones GNSS disponibles en el período (aproximadamente 370 estaciones) alrededor de un día antes y un día después del período de la tormenta, para algunos eventos seleccionados de precipitación intensa. Se realizó además un análisis de las series de IWV teniendo en cuenta datos de precipitación del SMN.

Figura 2: Comparación de nuevos productos ZTDMAGGIA, estimados con PPP, en 1 estación GNSS Universidad de La Plata (LPGS) para el periodo 2014-2019. Arriba: con productos DGNSS del CODE (Center for Orbit Determination in Europe). Abajo: con productos DGNSS de SIRGAS.

## REFERENCIAS

Aragón Paz, J. M., Mendoza, L. P. O., Fernández, L. I., 2023: Near-real-time GNSS tropospheric IWV monitoring system for South America. GPS Solutions, 27(2), 1-13.

Bonafoni S., Biondi R., Brenot H., Anthes R., 2019: radio occultation and ground-based GNSS products for observing, understanding and predicting extreme events: A review. Atmos Res, 230.