

GEOMAIL

La actualidad sobre la Geomática en América y el mundo

ENTREVISTA A BENEDIKT SOJA SOBRE IA p. 06

DE LA PRECISIÓN TRADICIONAL A LA IA p. 10

CONOCIMIENTO DEL TWS EN CHILE p. 16

**INGENIERÍA GEODÉSICA EN EL PROYECTO
"PURPLE LINE" p. 20**

**INFRAESTRUCTURA GEODÉSICA EN LA
NAVEGACIÓN ESPACIAL p. 25**

ESCUELA VIRTUAL SIRGAS 2025 p. 29

IMPORTANCIA DEL REGISTRO EPSG p. 35



COMITÉ EDITORIAL:

MELVIN HOYER

Coordinador

ILEANIS ARENAS

Editor

DARWIN CORTÉS

Editor

**JOSÉ NAPOLEÓN
HERNÁNDEZ**

Editor

**COLABORACIÓN
ESPECIAL EN ESTE
NÚMERO:**

AHARON CUEVAS

FREDDY VARGAS

GUSTAVO CAUBARRÈRE

HENRY MONTECINO

HERMÓGENES SUÁREZ

ILEANIS ARENAS

JUAN INOSTROZA

MELVIN HOYER

RIGOBERTO MORENO

SANDRA BOLAÑOS



ÍNDICE

04.**Ileanis Arenas**

Editorial

06.**Melvin Hoyer**

Benedikt Soja: Inteligencia Artificial en la geodesia

10.**Rigoberto Moreno**

De la precisión tradicional a la Inteligencia Artificial: Transformación digital y el futuro de la Ingeniería Topográfica

16.**Aharon Cuevas, Henry Montecino, Juan Inostroza**

Mejorando el conocimiento del Almacenamiento de Agua Terrestre (TWS) en Chile basado en Machine Learning

20.**Freddy Vargas**

La ingeniería geodésica en el Proyecto “Purple Line” en Maryland, EE. UU.



ÍNDICE

25.

Sandra Bolaños

El rol de la infraestructura geodésica en la navegación espacial

29.

Gustavo Caubarrère

“Marco de Referencia Terrestre. Monitoreo Geodinámico y Atmosférico” Escuela Virtual SIRGAS 2025: Una experiencia de referencia

35.

Hermógenes Suárez, Ileanis Arenas, Melvin Hoyer

EPSG: Pilar normativo para la Integridad Geodésica e Interoperabilidad Geoespacial (Parte I)

41.

En pocas palabras...

Números anteriores en
www.siggma.xyz

o
www.geomailblog.wordpress.com



EDITORIAL

GEODESIA EN TIEMPOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL: UN LLAMADO A LA CURIOSIDAD Y LA ACCIÓN

Durante las últimas décadas, la geodesia ha sido testigo de múltiples evoluciones tecnológicas, desde la adopción del GPS y los sistemas GNSS, hasta la consolidación de modelos de referencia terrestres globales como el ITRF. Sin embargo, lo que presenciamos hoy y quisimos ejemplificar en esta edición de *Geom@il*, no es simplemente una innovación más, sino el inicio de una transformación transversal: la integración de la Inteligencia Artificial (IA) en la práctica geodésica.

Desde el modelado troposférico, el procesamiento InSAR, la predicción de parámetros de orientación terrestre, hasta aplicaciones como la reflectometría GNSS o el análisis de almacenamiento de agua terrestre, la IA ha dejado de ser una herramienta experimental para convertirse en parte de la caja de herramientas esenciales del geodesta contemporáneo. Así lo plantea de manera clara el Prof. Dr. Benedikt Soja, coordinador del grupo de enfoque AI4G del GGOS-IAG, en su entrevista exclusiva para esta edición.

En sus palabras, la IA es una aliada poderosa para resolver problemas de optimización a gran escala -tal como lo ha sido el filtrado de Kalman en el pasado- pero con una capacidad de aprendizaje, modelado y escalabilidad sin precedentes.

No obstante, esta transformación no está exenta de retos. La confianza en los modelos, la aplicabilidad de los algoritmos y la cuantificación realista de incertidumbres siguen siendo puntos críticos. El aprendizaje automático probabilístico y los modelos híbridos que incorporan leyes físicas son caminos prometedores para cerrar la brecha entre los métodos tradicionales y las nuevas aproximaciones algorítmicas. En este contexto, el llamado de nuestro entrevistado Benedikt Soja y de Rigoberto Moreno, en esta edición, a que las universidades incorporen en sus planes de estudio fundamentos de IA no puede ser ignorado. Formar ingenieros geodestas y afines capaces de comprender, adaptar y desarrollar herramientas de IA es importante.

Esta edición de Geom@il muestra con claridad el impacto de estas tecnologías: desde la generación de gemelos digitales y la clasificación de objetos con visión artificial (YOLO), hasta el uso de *Random Forest* para mejorar la resolución de datos GRACE en Chile. También nos recuerda, con el artículo sobre el Proyecto *Purple Line* y el del rol de la infraestructura geodésica en la navegación espacial, que la infraestructura geodésica sustentada por diversas técnicas (VLBI, SLR, GNSS) sigue siendo indispensable incluso en obras civiles de gran escala.

Un ejemplo contundente del compromiso regional con la actualización técnica y formativa es la reciente Escuela Virtual SIRGAS 2025, relatada en esta edición como una experiencia de referencia. Con más de 30 especialistas de prestigio internacional, el esfuerzo colectivo no solo evidenció el nivel técnico alcanzado por los países de la región, sino que también sienta las bases para la siempre importante formación continua. Este tipo de eventos demuestra que la comunidad posee el conocimiento y la capacidad organizativa para liderar la geodesia del futuro.

En ese mismo sentido, la infraestructura geodésica no solo requiere herramientas tecnológicas modernas, sino también estandarización y gobernanza técnica. Es por ello que en esta edición se suma un artículo que destaca la importancia del registro EPSG, un sistema esencial para garantizar la interoperabilidad de los sistemas de referencia, la consistencia en los datos y la integridad en los procesos de transformación geodésica. En un momento en que cada día se automatizan más procesos, asegurar que las bases (sistemas de coordenadas, datum, etc.) sean correctamente definidos, registrados y utilizados es tan importante como cualquier algoritmo de IA.

Finalmente, queremos extender la invitación que hace el grupo de enfoque AI4G de GGOS a toda la comunidad: a que los grupos de trabajo, tanto institucionales como académicos, nos sumemos al esfuerzo global de seguir aplicando IA en geodesia. Los datos de calidad que se generan en la región son un insumo valioso, pero su máximo potencial solo se alcanzará si se integran a marcos colaborativos globales, se comparten en esquemas abiertos y se abordan con metodologías modernas.

Esta edición es una invitación al cambio. A la curiosidad. Y también a la responsabilidad.

Que cada lector encuentre aquí inspiración para avanzar con una visión crítica, ética y estratégica hacia una geodesia inteligente y transformadora.

Profa. MSc. Ing. Ileanis Arenas



Melvin Hoyer

BENEDIKT SOJA: INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA GEODESIA

En los últimos 5 años aproximadamente, hemos visto el increíble crecimiento de la utilización de la Inteligencia Artificial (IA) en diferentes aspectos de nuestra vida diaria. Todas las disciplinas tecnológicas y las ciencias, en general, no escapan de esta oleada de aplicaciones. Es así como en 2023 el Global Geodetic Observing System (GGOS), brazo ejecutor de la International Association of Geodesy (IAG), conformó un grupo de trabajo o área de enfoque (AI4G) para estudiar y promover las aplicaciones de la IA en la geodesia.

La utilización de la IA en la geodesia no ha estado exenta de controversias. Desde hace muchos años hemos visto aplicaciones de IA en el procesamiento digital de imágenes, por ejemplo, sin embargo, su utilización en el procesamiento y análisis de mediciones GNSS o en el cálculo de un modelo geoidal, citando solo dos temas, algunos geodestas dicen “es otra cosa”.

Para conversar sobre este tema invitamos al investigador designado por GGOS-IAG para coordinar este grupo de trabajo o área de enfoque, él es el Prof. Dr. Benedikt Soja.

Benedikt Soja es un destacado profesor e investigador austríaco nacido en la hermosa ciudad de Viena en 1988. En 2013 recibe el título de Diplom-Ingenieur (MSc) en “Geodesia y Geofísica”, en la Universidad Técnica de Viena y en 2016 culmina su Doctorado en “Geodesia y Geoinformación”, en la misma universidad. Durante sus estudios de doctorado (2013-2016) fue Asistente del proyecto “Análisis VLBI en tiempo real” en el GFZ Potsdam de Alemania (*Geo Forschungs Zentrum* - Centro de GeoInvestigación). Posteriormente, y hasta 2019 fue Investigador Postdoctoral en el área de Geodinámica y Geodesia Espacial en el reconocido laboratorio JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) de la NASA, EE. UU., ocupando luego el cargo de Científico II en la misma institución. Seguidamente regresa a Europa y desde 2020 es Profesor Asistente de Geodesia Espacial, en ETH Zúrich (*Eidgenössische Technische Hochschule Zürich*-Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zúrich) y Subdirector del Instituto de Geodesia y Fotogrametría en la misma universidad. Ha sido objeto de varios premios y reconocimientos.

Desde mayo de 2023 es el presidente del Área de Enfoque de GGOS (Sistema Global de Observación Geodésica) en Inteligencia Artificial para Geodesia.

Para los editores de *Geom@il* es un verdadero honor contar con la colaboración de Benedikt Soja en esta edición y le agradecemos altamente su participación.

Durante su formación académica y vida profesional ha trabajado en diferentes áreas de las geociencias, por ejemplo, VLBI, filtro de Kalman, estudios atmosféricos, entre otros. ¿Cuáles fueron las principales motivaciones (personales o institucionales) que lo llevaron a dedicarse más concentradamente a la Inteligencia Artificial en la Geodesia?

A lo largo de mi trayectoria académica en geodesia, siempre me han interesado los aspectos metodológicos. Gran parte de mi trabajo anterior se centró en el filtrado de Kalman y su optimización para diversas aplicaciones geodésicas. Lo que me fascinó fue que muchos métodos de IA también se centran fundamentalmente en la resolución de problemas de optimización. El proceso de "aprendizaje" en el aprendizaje automático (Machine Learning-ML) consiste esencialmente en la estimación de parámetros, solo que a una escala mucho mayor. Por ejemplo, en una red neuronal, estimamos pesos y sesgos, normalmente utilizando optimizadores como el descenso de gradiente estocástico. Mientras que los métodos geodésicos clásicos suelen estimar cientos o miles de parámetros, los métodos de aprendizaje automático manejan incluso millones.

Me interesé por la IA entre 2018 y 2019, inicialmente inspirado por avances como que el rendimiento de los sistemas de IA era superior al

de los jugadores humanos en juegos complejos. Ese fue un punto de inflexión que me permitió buscar activamente oportunidades para aplicar dichos métodos en el campo de la geodesia.

En 2020, me incorporé a la ETH de Zúrich como líder de grupo, lo que me brindó la plataforma para dedicarme plenamente a esta área de la IA. Tuve la suerte de recibir un sólido apoyo institucional desde el principio. La ETH inauguró su Centro de IA poco después de mi llegada, con el respaldo de importantes empresas tecnológicas con sede en Zúrich, como Google. Actualmente cuenta con más de 100 profesores, y he tenido la oportunidad de colaborar con muchos de ellos.

Recientemente, me uní a la iniciativa suiza de IA, que trabaja en el desarrollo de modelos de base para una amplia gama de ámbitos. Actualmente participo en un modelo de base centrado en el clima, y mi objetivo personal es integrar datos geodésicos para mejorar las predicciones meteorológicas y climáticas.



¿Cuáles cree Ud. que son las aplicaciones más importantes de la IA en la geodesia? ¿Cuáles las menos exploradas? ¿Y cuáles las áreas de la geodesia donde difícilmente pueda aplicarse la IA? (si es que Ud. considera que haya algunas)

La IA ya ha mostrado resultados sólidos en la predicción espacial y temporal de datos geodésicos. Por ejemplo, en el modelado troposférico e ionosférico, el aprendizaje automático o *Machine Learning* (ML) ha superado con frecuencia a los enfoques tradicionales. También ha demostrado ser útil para el modelado de series temporales GNSS, incluyendo la eliminación de ruido, la detección de anomalías y la identificación de eventos geofísicos. Las aplicaciones de reflectometría GNSS, como la estimación de la velocidad del viento y la humedad del suelo, también se han beneficiado considerablemente. La IA también se utiliza cada vez más en la gravimetría satelital y el modelado del sistema terrestre, especialmente para la reducción de escala, la reconstrucción y la separación de señales, así como para el procesamiento InSAR. Otra área prometedora es la predicción de parámetros de orientación terrestre (EOP), como se demostró en la Segunda Campaña de Comparación de Predicciones de EOP.

Por otro lado, inicialmente pensé que la IA tendría un gran potencial para la automatización en el procesamiento de datos geodésicos, pero resultó ser bastante desafiante y, por lo tanto, aún está poco desarrollada. Otras áreas, como la determinación del marco de referencia terrestre, utilizan (por definición) modelos simples y no se benefician tanto de los modelos de aprendizaje automático (ML) complejos, lo que significa que la IA podría afectar solo a algunos de los pasos de preprocesamiento.

¿Qué mensaje tendría Ud. para los colegas geodestas que opinan que la IA no puede utilizarse confiadamente en la geodesia por varias razones, entre ellas, por ejemplo, por la incapacidad de predecir o modelar patrones o fenómenos físicos inherentes a esas aplicaciones?

La confianza es, sin duda, un aspecto clave. En geodesia, proporcionar estimaciones realistas de la incertidumbre es esencial para interpretar los resultados. Si bien a menudo se ignora en las aplicaciones de IA y ML, la cuantificación de la incertidumbre es muy factible mediante el aprendizaje automático probabilístico. De hecho, con un modelado y una calibración cuidadosos, a menudo podemos obtener incertidumbres más realistas que con los métodos básicos de mínimos cuadrados, que suelen basarse en supuestos como la normalidad y las observaciones no correlacionadas.

Es cierto que los modelos de ML son tan buenos como los datos con los que se entrenan. Predecir eventos inusuales o extremos es difícil si estos no están bien representados en el conjunto de entrenamiento. Aquí es donde el aprendizaje automático basado en la física cobra valor: nos permite incorporar leyes físicas conocidas al marco del ML, combinando las fortalezas de ambos enfoques. Estos métodos híbridos tienen un gran potencial y pueden ayudar a cerrar la brecha entre los métodos geodésicos tradicionales y las técnicas modernas de IA.

En la comunidad SIRGAS (Sistema de Referencia Geodésico de las Américas) se procesan diariamente cientos de estaciones GNSS, se formulan series de tiempo, se calculan modelos gravitatorios y geoidales y se realizan estudios atmosféricos; de hecho, algunas universidades realizan ya investigaciones con IA. ¿Cuál cree Ud. que es el potencial total y real de aplicaciones de la IA en SIRGAS y como los grupos de trabajo (institutos oficiales y universidades) pueden interactuar (¿convenios o acuerdos?) con el grupo que Ud. coordina en GGOS?

Es impresionante lo que la comunidad SIRGAS ha logrado, tanto en términos de infraestructura como de la calidad de sus productos geodésicos. Esta gran cantidad de datos de alta calidad, procesados regularmente, constituye un gran recurso para la IA, ya que contar con buenos datos de entrenamiento es esencial.

Ya existen investigaciones prometedoras en IA centradas en el procesamiento GNSS, como la mejora de las series temporales de posición de estaciones o la mitigación de los efectos de multipath (multitrayectoria). Estos esfuerzos podrían contribuir a mejorar el marco de referencia terrestre de SIRGAS. En principio, la IA puede ayudar a integrar diversos conjuntos de datos de forma más eficiente y, potencialmente, automatizar partes de la cadena de procesamiento.

Mejorar los productos geodésicos, como los de SIRGAS, es el objetivo principal del Área de Enfoque de GGOS en IA para Geodesia (AI4G). Esto genera un gran potencial para la colaboración y el intercambio de conocimientos. Idealmente, los miembros de la comunidad SIRGAS podrían unirse a los Grupos de Estudio Conjuntos de AI4G para facilitar este proceso.

¿Qué expectativas tiene Ud. y el grupo de enfoque de IA de GGOS sobre el próximo Simposio J02: Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático (*Machine Learning*) en Geodesia a realizarse durante la Asamblea Científica de la IAG en Italia el próximo mes de septiembre?

Este evento será una oportunidad fantástica para reunir en un solo simposio a casi 40 contribuciones de geodestas que trabajan en temas de IA y ML, abarcando una amplia gama de áreas. No conozco ninguna otra conferencia que haya reunido a tantos expertos en IA aplicada a la geodesia. Nuestro principal objetivo es unir a la comunidad para destacar el estado del arte, facilitar la colaboración y fomentar debates interesantes e intercambio de conocimientos sobre las aplicaciones de la IA en geodesia.

¿Algún mensaje o reflexión adicional sobre el tema de la IA en Geodesia?

Para mí, la curiosidad es un factor clave para impulsar la IA en geodesia. Ver lo que la IA ha logrado en otros campos afines es una gran fuente de inspiración. Si bien la geodesia ya ha experimentado importantes avances con la IA, aún estamos al comienzo de este camino. Creo que la próxima década será transformadora. La educación desempeñará un papel fundamental: ahora es el momento de que los planes de estudio de geodesia comiencen a incluir conceptos de IA. Aunque esto pueda parecer un poco abrumador, lo más importante es mantenerse abierto a experimentar con nuevos conceptos, disfrutar del proceso y divertirse con ello.

Prof. Soja, muchas gracias por permitirnos compartir con nuestros lectores estas importantes respuestas sobre este fascinante tema que seguramente serán de gran valor para todos.

Dr. Melvin J. Hoyer R.



Rigoberto Moreno

DE LA PRECISIÓN TRADICIONAL A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y EL FUTURO DE LA INGENIERÍA TOPOGRÁFICA

Resumen

La ingeniería topográfica ha evolucionado significativamente gracias a la transformación digital. Tecnologías como los gemelos digitales, las redes neuronales, así como el procesamiento fotogramétrico con NeRF, están redefiniendo los métodos tradicionales de medición, visualización y aplicabilidad. Este artículo explora cómo la inteligencia artificial y las herramientas de visión artificial, como YOLO, están revolucionando la obtención, análisis y aplicación de datos geospaciales. También se abordan los desafíos éticos emergentes y la urgente necesidad de capacitación continua para los profesionales del sector.

De la topografía tradicional a la era digital

Durante décadas, la ingeniería topográfica se apoyó en herramientas como el teodolito, el nivel óptico y la cinta métrica para realizar mediciones. Estos métodos, aunque fundamentales en su

momento, dependían en gran medida de la destreza humana, lo que limitaba la velocidad de ejecución y en ocasiones aumentaba los márgenes de error. El surgimiento de tecnologías digitales ha revolucionado la forma de capturar y procesar datos geospaciales. La incorporación de estaciones totales automáticas o robóticas, el GNSS y técnicas avanzadas como RTK (Kinemático en Tiempo Real), PPP (Posicionamiento Puntual Preciso), PPK (Kinemático Post-procesado) y RTX (eXtens en Tiempo Real correcciones vía satélite) ha hecho posible alcanzar niveles de precisión submilimétrica. Esto ha reducido significativamente los tiempos de trabajo y permitido una mayor cobertura en zonas de difícil acceso.

Hoy, gracias a esta transición tecnológica, la ingeniería topográfica no solo es más precisa, sino también más eficiente, segura y económicamente viable, permitiendo un impacto positivo en proyectos de infraestructura de gran escala.

Tecnologías emergentes que redefinen el terreno

Gemelos Digitales

Un gemelo digital es una réplica virtual de una infraestructura física, continuamente actualizada con datos en tiempo real provenientes de sensores IoT (*Internet of Things*), escáneres LiDAR, fotogrametría o drones. En el ámbito topográfico, su uso permite simular escenarios y analizar riesgos antes de ejecutar una obra o cualquier proyecto, lo que contribuye a una planificación más precisa y a la reducción de fallos durante la fase de construcción. Además, son herramientas valiosas para la gestión operativa y el mantenimiento predictivo a largo plazo.

Redes Neuronales y Deep Learning

Estas tecnologías procesan grandes volúmenes de datos de forma automatizada, reconociendo patrones y clasificando elementos con alta precisión. En ingeniería geoespacial, su aplicación facilita la interpretación de nubes de puntos (Fig. 1), la detección automática de objetos en imágenes satelitales y la creación de modelos predictivos sobre cambios en el uso del suelo o riesgos naturales.

El deep learning, al incluir múltiples capas de procesamiento, permite identificar estructuras complejas en el terreno (Fig. 2), mejorar la segmentación de imágenes y apoyar decisiones estratégicas con análisis avanzados basados en datos históricos y en tiempo real (Fig. 3).

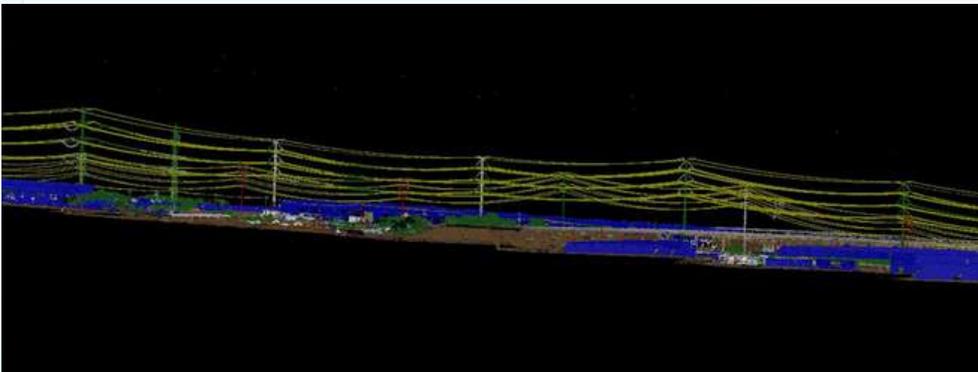


Fig. 1. Clasificación de nube de puntos mediante IA, identificando torres, cables y elementos del entorno en un corredor de línea de transmisión.
Fuente: Elaboración propia, 2025.



Fig. 2. Detección automatizada de zonas con presencia de agua mediante técnicas de deep learning aplicadas a imagen aérea. Las zonas inundadas se delimitan en color azul.
Fuente: Imagen de elaboración propia.

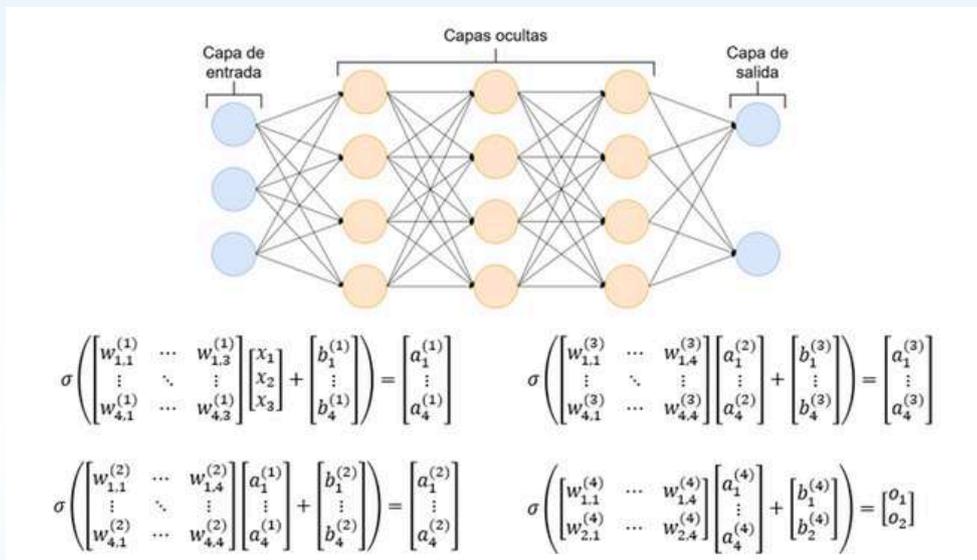


Fig. 3. La imagen muestra una red neuronal profunda (deep learning) con su representación matemática por capas.

Fuente: Dr. Rigoberto Moreno / MSc. David Bocanegra

NeRF (Neural Radiance Fields)

NeRF es una herramienta basada en inteligencia artificial que reconstruye escenas tridimensionales realistas a partir de imágenes 2D (Fig. 4). A diferencia de los métodos tradicionales de modelado, NeRF simula la interacción de la luz con los objetos, lo que permite obtener representaciones hiperrealistas. Su aplicación es especialmente útil en cartografía urbana, estudios de impacto visual, conservación del patrimonio arquitectónico y análisis morfológicos detallados del terreno.



Fig. 4. Modelado tridimensional de torres de alta tensión mediante técnicas de Neural Radiance Fields (NeRF).

Fuente: Imagen de elaboración propia.

YOLO: Visión Artificial en Tiempo Real

YOLO (*You Only Look Once*) permite detectar y clasificar objetos en imágenes con gran velocidad y precisión (Fig. 5). Su uso en ingeniería topográfica incluye la inspección de estructuras desde drones, la identificación de defectos en obras y la automatización de procesos de clasificación geoespacial. Su implementación reduce la necesidad de intervención humana directa y agiliza el procesamiento de grandes volúmenes de imágenes.

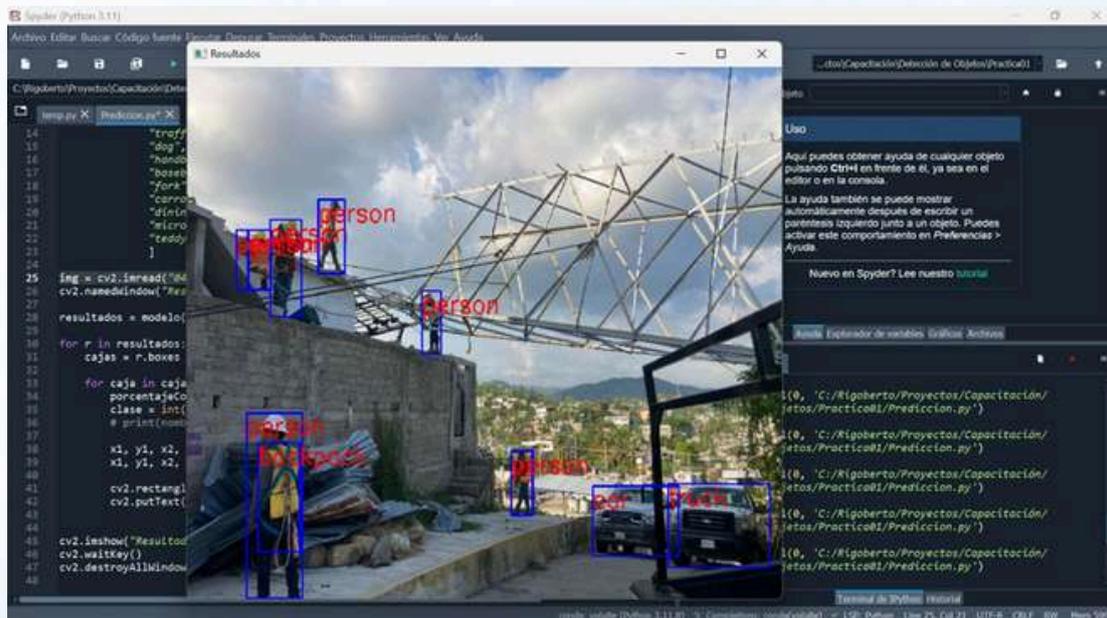


Fig. 5. Detección en tiempo real con YOLO (You Only Look Once). La imagen muestra la identificación automática de personas, vehículos y objetos en un entorno urbano mediante visión artificial.
Fuente: Imagen de elaboración propia.

GeoIA vs. Inteligencia Geoespacial

La Geo Inteligencia Artificial (GeoIA) se centra en el uso de algoritmos de inteligencia artificial para procesar datos geoespaciales. Permite automatizar tareas como la clasificación de imágenes, el análisis predictivo y la generación de modelos digitales del terreno, entre otras funciones.

Por otro lado, la Inteligencia Geoespacial abarca una gama más amplia de herramientas y metodologías, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sensores remotos, análisis espacial, modelos 3D y plataformas colaborativas. Aunque puede incorporar IA, su enfoque se dirige hacia una comprensión integral del espacio y su dinámica, útil para la toma de decisiones a escala local, regional o global.

Ambas disciplinas no son excluyentes, sino complementarias. Su convergencia potencia la capacidad de interpretar, modelar y anticipar fenómenos geoespaciales complejos con mayor precisión y rapidez.

Precisión y procesamiento en Tiempo Real: Nuevos estándares

La combinación de sensores LiDAR, receptores GNSS-RTK y modelos neuronales ha establecido un nuevo estándar de precisión en la captura y modelado del terreno. Esta integración tecnológica ha hecho posible el levantamiento rápido y confiable de entornos naturales y urbanos, incluso en condiciones complejas.

Además, la incorporación de plataformas BIM y SIG, con procesamiento en la nube, ha facilitado la actualización instantánea de datos y la visualización tridimensional del progreso de obra. Este entorno colaborativo permite realizar ajustes en tiempo real, identificar conflictos antes de su ejecución física y mejorar la coordinación entre equipos técnicos, administrativos y operativos.

Entre las principales ventajas se destacan:

- Mayor capacidad de respuesta ante imprevistos.
- Coordinación interdisciplinaria más eficiente.
- Reducción de errores en campo y en gabinete.
- Toma de decisiones informadas basada en datos actualizados.

Formación del Ingeniero Topógrafo: Un desafío crítico

La transformación digital requiere un perfil profesional renovado. El ingeniero topógrafo del presente y del futuro debe dominar no solo las bases de la geodesia y la cartografía, sino también las herramientas digitales que definen los nuevos flujos de trabajo (Fig. 6).

Las competencias esenciales incluyen:

- Modelado tridimensional con herramientas BIM y SIG.
- Procesamiento e interpretación de datos LiDAR y fotogramétricos.
- Manejo de grandes volúmenes de datos (*big data* geoespacial).
- Programación, automatización y uso de algoritmos de IA y redes neuronales.

Frente a este escenario, es vital que las universidades actualicen sus planes de estudio, integrando módulos de tecnologías emergentes y fortaleciendo los vínculos con la industria. También es recomendable impulsar la certificación profesional en tecnologías claves y fomentar la formación continua a través de diplomados, seminarios y convenios con desarrolladores tecnológicos.

Desafíos éticos

El desarrollo tecnológico trae consigo responsabilidades importantes. Entre los principales retos éticos destacan:

a) Protección de datos sensibles

El uso de sensores, drones o escáneres puede captar información privada o estratégica. Es fundamental asegurar el consentimiento, anonimización de datos y cumplimiento de normativas de protección de datos.

b) Transparencia algorítmica

Los algoritmos de IA deben ser auditables. Es necesario evitar decisiones automáticas sesgadas o discriminatorias, especialmente en proyectos que afecten comunidades o recursos naturales.

c) Impacto social y ambiental

Las decisiones técnicas deben ir acompañadas de un análisis de sus repercusiones sociales y ambientales. El desarrollo urbano o la implementación de infraestructura debe considerar la equidad, la sostenibilidad y la participación comunitaria.



Fig. 6. Representación visual del perfil profesional del ingeniero topógrafo en la era digital, destacando tecnologías como LiDAR, BIM, SIG e inteligencia artificial. Fuente: Elaboración propia con asistencia de inteligencia artificial, 2025.

Propuestas para una ética tecnológica sólida:

- Elaboración de normas claras sobre el uso de tecnologías digitales en topografía.
- Creación de repositorios de datos abiertos, verificables y accesibles.
- Fomento de la explicabilidad y transparencia en algoritmos utilizados.

Conclusión

La ingeniería topográfica vive una etapa de transformación acelerada. La digitalización ha incrementado la precisión, reducido los costos y multiplicado las posibilidades de análisis espacial y prospectivo. Tecnologías como los gemelos digitales, las redes neuronales, NeRF, YOLO, BIM y la GeolA están moldeando una nueva generación de profesionales más conectados, estratégicos y responsables. Sin embargo, este avance exige una profunda revisión ética y académica. Solo mediante una formación continua, una normativa adecuada y una visión humanista de la tecnología, será posible construir un futuro sostenible desde la ingeniería topográfica.

Referencias

- 1.- Moreno Vázquez, R. A. (2025). Innovación Geoespacial: Gemelos Digitales y Redes Neuronales en la Ingeniería Topográfica. Conferencia presentada en el encuentro de innovación, organizado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- 2.- González, J., & Pérez, M. (2024). Impacto de los Gemelos Digitales en la Infraestructura Urbana. *Revista de Ingeniería Geoespacial*, 23(4), 56-74.
- 3.- Rodríguez, A., & López, F. (2023). La Transformación Digital en la Ingeniería Topográfica: Aplicaciones de IA. *Revista de Innovación Geoespacial*, 15(2), 118-132.



Rigoberto Moreno
rigobertoamv@gmail.com

Especialista con más de 22 años de experiencia en ingeniería topográfica, geomática e inteligencia artificial. Ingeniero Topógrafo, Doctor en Desarrollo y posdoctorado en IA en la Universidad de Camagüey. Profesor en la Universidad de Guadalajara y conferencista internacional. Miembro de IEEE (Senior 2023), FIG, GRSS y la Sociedad Mexicana de IA. Reconocido por Geospatial World como uno de los 50 profesionales más influyentes de 2024. Ocupa cargos clave en CFE, la ONU-GGIM y asesora a la Comisión de Inteligencia Geoespacial de Costa Rica. Perfil de LinkedIn <https://www.linkedin.com/in/rigoberto-moreno-v%C3%A1zquez-66a286121/>



A. Cuevas, H. Montecino, J. Inostroza

MEJORANDO EL CONOCIMIENTO DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA TERRESTRE (TWS) EN CHILE BASADO EN MACHINE LEARNING

Introducción

La creciente presión sobre los recursos hídricos, producto de su alta demanda y la escasez en distintas regiones del mundo, ha intensificado la necesidad de comprender con mayor detalle el ciclo hidrológico. En este contexto, el almacenamiento de agua terrestre (TWS – *Terrestrial Water Storage*) se ha convertido en una variable clave, ya que refleja el contenido total de agua en la superficie terrestre y subsuelo, incluyendo humedad del suelo, nieve, hielo, vegetación, ríos y lagos. Sin embargo, el conocimiento del TWS ha sido históricamente limitado por la escasez de datos in situ, la baja resolución espacio-temporal y/o la falta de componentes de los modelos hidrológicos tradicionales.

La situación cambió con el lanzamiento de la misión satelital GRACE en 2002, que permitió por primera vez recuperar estimaciones mensuales del TWS a escala global, con una resolución espacial aproximada de 350 km.

Si bien esta resolución es útil para estudios de gran escala, resulta insuficiente para abordar problemáticas locales o regionales, especialmente en países con geografías complejas como Chile, donde la alta variabilidad topográfica y climática requiere datos de mayor detalle.

Para superar estas limitaciones, se han desarrollado técnicas de *downscaling* que permiten aumentar la resolución espacial del TWS mediante la integración de variables auxiliares como precipitación, temperatura, humedad del suelo y cobertura del terreno. En particular, los enfoques basados en aprendizaje automático (*Machine Learning*) han demostrado un gran potencial al establecer relaciones no lineales entre los datos satelitales GRACE y variables de mayor resolución. A pesar de estos avances, la aplicación de estas técnicas a contextos locales sigue siendo un desafío abierto. Este trabajo presenta resultados preliminares en el desarrollo de modelos de *downscaling* del TWS adaptados al territorio chileno, destacando el potencial de las técnicas de aprendizaje automático, y los desafíos pendientes.

Área de estudio

El área de estudio (Fig. 1) abarca las zonas norte y centro de Chile continental, entre las regiones de Arica y Parinacota y la Araucanía, correspondiente a un área geográfica de gran relevancia climática y ambiental. La región norte y centro-norte, se caracteriza por su clima desértico, incluye vastos territorios que enfrentan desafíos específicos relacionados con la escasez de precipitaciones y condiciones extremas. Por otro lado, la región centro y centro-sur, con su clima mediterráneo, experimenta variaciones estacionales marcadas, con inviernos lluviosos y veranos más secos.

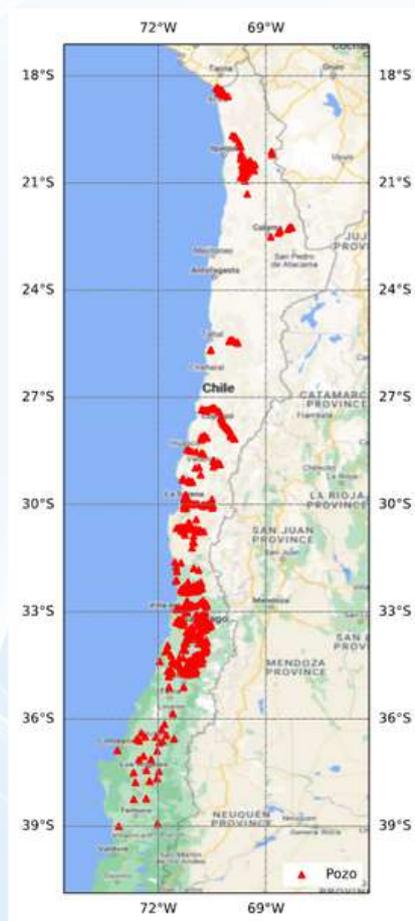


Fig. 1. Área de estudio.

Datos

Los datos utilizados en el estudio son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables, fuente de datos y resolución.

Datos (variables)	Fuentes	Resolución
Almacenamiento de Agua Terrestre	GRACE (JPL)	3° x 3°
Precipitación	TRMM versión 7	0.25°x0.25°
VARIABLES hidrogeológicas	GLDAS	0.25°x0.25°
Elevación	NASADEM	30 m
Niveles estáticos de pozos	Dirección General de Aguas (DGA-Chile)	-

Metodología

Para la implementación del modelo de reducción de escala a una resolución de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, utilizamos un enfoque de *downscaling* estadístico basado en el uso de *Random Forest* (RF), propuesto por Breiman (2001). Este modelo, básicamente, establece una relación (o mapeo) entre las variaciones de TWS con las variables hidrogeológicas y geoespaciales, y realiza una regresión estadística en una resolución gruesa ($3^\circ \times 3^\circ$), asumiendo que esta relación sigue siendo válida en diferentes resoluciones. Los parámetros óptimos del modelo se determinaron por medio del enfoque de búsqueda en grilla, que construye un modelo para cada combinación de hiperparámetros especificados, lo que permite seleccionar los parámetros óptimos en función del mejor rendimiento obtenido. Para validar el modelo, calculamos las variaciones de almacenamiento de agua subterránea (GWS – *Ground Water Storage*) de escala reducida, restando las variables de humedad del suelo, equivalente en agua de la nieve y agua contenida en el follaje (del modelo GLDAS) con una resolución espacial de 0.25° , del TWS de escala reducida. Posteriormente, estos datos fueron contrastados con los niveles estáticos de agua observados en los pozos.

Resultados

Un 30% de datos fueron utilizados para la verificación del modelo RF. En esta etapa, el modelo alcanzó una alta correlación, con un $R^2 = 0.93$ y un $RMSE = 21\text{mm}$. Las Figuras 2a y 2b, muestran las variaciones espaciales de TWS antes y después de la reducción de escala, respectivamente, para el mes de julio de 2013 para toda la región de estudio. Para la zona norte del país, la validación del modelo muestra un coeficiente de correlación $R = 0.71$ entre GWS de alta resolución y niveles estacionales de pozos de la estación TURI 2, ubicado en la región de Antofagasta (Fig. 2c). Mientras que, para la zona centro se obtuvo un $R = 0.72$ para la estación CERA UNION HUECHUN de la región Metropolitana (Fig. 2d).

Conclusiones, trabajo en progreso y desafíos futuros

La implementación del modelo de *downscaling* estadístico basado en *Random Forest* demostró ser altamente efectiva para mejorar la resolución espacial de los datos de almacenamiento total de agua (TWS) derivados de GRACE en el territorio chileno. El modelo alcanzó un desempeño robusto, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.93 y un error medio cuadrático (RMSE) de 21mm.

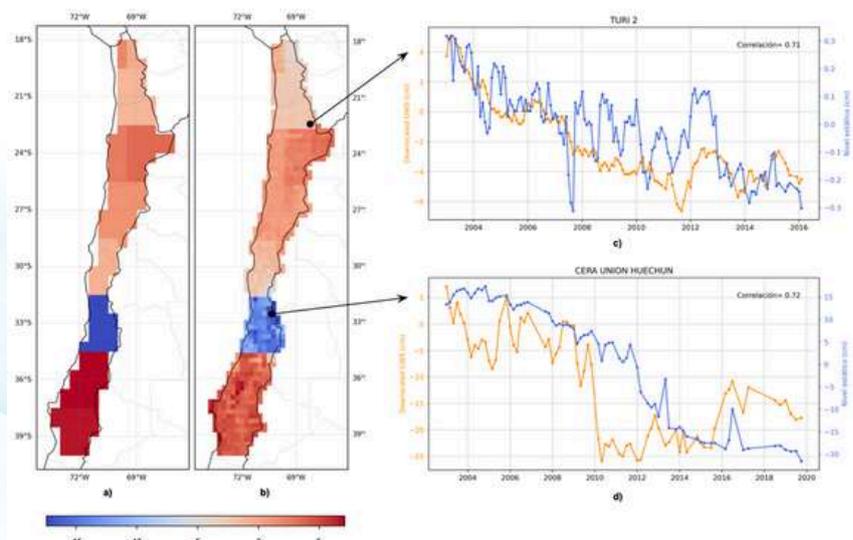


Fig. 2. Variaciones espaciales de TWS antes y después de la reducción de escala, para el mes de julio de 2013.

Además, las estimaciones de almacenamiento de agua subterránea (GWS) a alta resolución mostraron buena concordancia con los niveles observados en pozos, alcanzando coeficientes de correlación superiores a 0.70 en estaciones representativas del norte y centro del país. Estos resultados respaldan el uso de *Random Forest* como herramienta confiable para refinar datos satelitales en regiones con alta variabilidad geográfica, como Chile, y refuerzan su potencial para apoyar la gestión de los recursos hídricos a nivel regional. Los autores se encuentran evaluando el uso de variables hidrológicas provenientes de distintos modelos hidrológicos, tanto globales como regionales, con el fin de identificar cuáles de ellos permiten obtener los mejores resultados en el proceso de *downscaling* del TWS. Paralelamente, se están desarrollando soluciones independientes de TWS mediante la inversión de los desplazamientos verticales de la corteza terrestre, a partir de datos GNSS y GNSS-GRACE, para la misma región de estudio. Como desafío futuro, se está trabajando en el diseño de un modelo de aprendizaje automático que incorpore restricciones de conservación de masa, asegurando coherencia con las soluciones originales en la resolución nominal de GRACE.

Referencias

- Giroto, M., & Rodell, M. (2019). Terrestrial water storage. In *Extreme Hydroclimatic Events and Multivariate Hazards in a Changing Environment: A Remote Sensing Approach*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814899-0.00002-X>.
- Liu, J., Yuan, D., Zhang, L., Zou, X., & Song, X. (2016). Comparison of three statistical downscaling methods and ensemble downscaling method based on Bayesian model averaging in upper Hanjiang River Basin, China. *Advances in Meteorology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7463963>.
- Beaudoin, H., & Rodell, M. (2019). GLDAS Noah Land Surface Model L4 monthly 0.25 x 0.25 degree V2.0, Greenbelt, Maryland, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). In NASA/GSFC/HSL.
- NASA JPL. (2020). NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001 [Data set]. In NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
- Breiman, Leo. 2001. Random Forests. *Mach. Learn.* 45, 1 (2001), 5–32. <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324>.



Aharon Cuevas C.
aharoncuevas@udec.cl

Magíster en Ingeniería Informática y académico del Departamento de Ciencias Geodésicas y Geomática de la Universidad de Concepción en Chile, con experiencia en docencia de pregrado, automatización de procesos en el marco de asistencias técnicas y el desarrollo de aplicaciones de aprendizaje automático en proyectos de investigación interdisciplinarios.



Henry D. Montecino C.
henrymontecino@udec.cl

Doctor en Ciencias Geodésicas y actualmente se desempeña como académico e investigador en el Departamento de Ciencias Geodésicas y Geomática de la Universidad de Concepción, Chile. Su trabajo se centra en el análisis de deformaciones corticales, Geodesia Satelital e Hidrología Espacial, con experiencia en proyectos de investigación y formación de pre y post-grado.



Juan Inostroza Beltrán
j1alejandrinostroza@gmail.com

Ingeniero Geomático, Universidad de Concepción, Chile. Con experiencia en análisis espacial y validación de productos geospaciales derivados de datos de sensores remotos.



Freddy Vargas

LA INGENIERÍA GEODÉSICA EN EL PROYECTO “PURPLE LINE” EN MARYLAND, EE. UU.

El proyecto Purple Line (PL) consiste en la construcción de un sistema de tren ligero (LRT) de 26.1 km de longitud con 21 estaciones, que se extiende de oeste a este desde la estación de metro Bethesda, en el condado de Montgomery, hasta la estación de metro *New Carrollton*, en el condado de Prince George, dentro del área metropolitana de Washington D.C., a lo largo del anillo vial I-495/Capital Beltway (EE. UU.). El proyecto PL tiene conexión con varias líneas del sistema de Metro en el área de DC (Fig. 1).

Este megaproyecto de infraestructura, bajo la supervisión de la *Maryland Transit Administration* (MTA), es ejecutado por la empresa *Maryland Transit Solutions* (MTS), consorcio integrado por Dragados y OHLA, con la colaboración de diversas entidades gubernamentales. El objetivo principal del proyecto es ofrecer una alternativa de transporte público eficiente, confiable y sostenible, contribuyendo a reducir la congestión vehicular.

Rol de la Ingeniería Geodésica en la construcción

El trazado del proyecto se encuentra dividido en ocho segmentos, cada uno con desafíos técnicos particulares. A modo ilustrativo, en la Fig. 2 se muestra el área de trabajo del segmento 1. El Departamento de Topografía cuenta con instrumental geodésico avanzado, Trimble Escaner SX10, GNSS Trimble TSC3, Est. Total SPS720, que permite la materialización de la red de control y el replanteo de elementos. La precisión en estas tareas asegura que la construcción cumpla con los estándares establecidos por MTS y el Departamento de Transporte de Maryland.

Los ingenieros geodestas y topógrafos establecieron una estrategia que incluyó la verificación de puntos de control primarios y secundarios en zonas críticas del diseño. Por ejemplo, entre los segmentos 6 y 7 se contabilizaron 1142 puntos de control. Los datos recolectados son procesados en la oficina técnica mediante software especializado como Civil 3D, *MicroStation*, *OpenRoads*, *Trimble Business Center* (TBC) y QGIS.



Figura 1. Conexiones de la línea Purple Line en el sistema de metro de Washington DC.
Fuente: Departamento de Relaciones Publica MTS



Figura 2. Área de trabajo del segmento 1 del Proyecto Purple Line.
Fuente: Dpto. de Topografía de MTS

Validación de la red geodésica y control

La red principal consta de 23 puntos con una precisión de 0.6 cm. Además, se verificaron 26 puntos de control secundarios, que se utilizarían para localizar datos relacionados con el diseño. Como método de medición fue utilizado el GPS Cinemático en Tiempo Real (RTK) debido a que era el método más rápido para recuperar y verificar las coordenadas del control establecido por la contratista (ATKINS North America, INC), Para validar esta red con las exactitudes y precisiones requeridas, se adoptó una metodología de calibración local para mantener la consistencia con el sistema NAD 83/91.

Verificación de mapeo existente y estándares

La subcontratista Atkins y el equipo del departamento de topografía realizaron varias inspecciones de control, verificación y mejora de mapeo para determinar la idoneidad de los documentos de referencia, proporcionar las revisiones, correcciones y mapeos adicionales necesarios para realizar el trabajo de diseño. Nuestras inspecciones de control, recuperación, verificación y comparaciones fueron diseñadas para verificar y validar la precisión existente para determinar dónde se requerirían estudios adicionales en el área del proyecto.

Los parámetros con los que se trabajó en la red geodésica son los siguientes:

- Unidades: pies topográficos de EE. UU.
- Datum horizontal: sistema de coordenadas de Maryland, ajuste del datum norteamericano 1983/1991 (NAD 83/91).
- Datum vertical: ajuste del datum vertical norteamericano 1988 (NAVD88).

Para realizar las mediciones se procedió con un protocolo para la medida de la red y estándar de forma continua con el objetivo de garantizar la precisión de nuestra recopilación de datos. En el año 2023 se realizó una densificación de la red geodésica por parte de la contratista *Jhonson Bernat Associates INC.* (J.B.A.), en la cual se dictaron recomendaciones para el uso de la red base en el Proyecto *Purple line*. Antonio Hernández (2024), en su informe para el proyecto Purple Line establece directrices para la creación de una red de puntos de control topográfico para el proyecto. Esta red proporcionará puntos de referencia precisos y fiables, cruciales para las actividades topográficas del proyecto. El objetivo es establecer una red de puntos de control topográfico que sirva de marco para todas las mediciones requeridas dentro del área del proyecto.

A partir de la planificación de oficina de las actividades diarias de los topógrafos se mantiene el estándar de medición con la finalidad de que al finalizar la jornada laboral del día se reciban los datos de campo, para luego realizar un procesamiento y el control de calidad cumpliendo con las precisiones y exactitudes. Por lo tanto, el departamento de topografía siempre debe ser muy riguroso y estar presente en el manejo de los datos geodésicos y topográficos del proyecto.

Coordinación Multidisciplinaria y Documentación Final

El Departamento de Topografía colabora con los equipos de Diseño, Construcción y Control de Tráfico para:

- Replantear la localización de elementos constructivos.
- Evaluar la calidad de la información existente
- Comparar modelos construidos vs. diseño
- Generar reportes técnicos de calidad
- Proponer ajustes en áreas de conflicto constructivo

Las Figs. 3 y 4 muestran escenas de algunos de estos trabajos. Durante la etapa de cierre, se elaboran los planos "As Built" (AB), en los cuales se deben ver reflejados los *Field Design Changes* (FCD), este paso se ejecuta para todos aquellos cambios menores que se realizaron al diseño original, los cuales deben ser visualizados en los planos finales según fueron aprobados por la autoridad de tránsito de Maryland (MTA) y confirmar que fueron ejecutados en la obra, este proceso es realizado igualmente para los *Notice Design Changes* (NDC), denominados cambios al diseño original y por último se manejan los *Field Engineer Query* (FEQ), los cuales se generan cuando se necesite una aclaración o interpretación de los documentos de diseño. Los ingenieros de construcción de MTS podrán presentar un FEQ, estos son fundamentales para el mantenimiento y las operaciones, proporcionando una base precisa para la gestión y operación de las infraestructuras, realizando un cumplimiento normativo con lo cual se asegura que el proyecto cumpla con las regulaciones y estándares. Contando para esta etapa con el apoyo de diseñadores internos y consultores

externos, (una parte de los AB es generada en el Departamento de Diseño de la compañía MTS y otra con el apoyo de empresas externas). Al recibir los planos AB por parte del contratista externo, corresponde al Departamento de Diseño verificar que toda la información relativa a los cambios realizados al diseño original haya sido correctamente trasladada y ejecutada en la construcción en campo.



Figura 3. Toma de detalles de drenajes.
Fuente: fotografía tomada por Ángel Pirela, Topógrafo Senior de MTS



Figura 4. Medición GNSS para el sistema de catenaria aérea (izq.) y para el replanteo de un poste de luz (der.).
Fuente: fotografía tomada por Ángel Pirela, Topógrafo Senior de MTS

En todo el proceso el geodesta cumple con funciones importantes: preparando los planos *AsBuilt*, manteniendo siempre una comunicación directa con los ingenieros civiles y generando alertas, si algo no se ha cumplido por parte de los contratistas, verificando los cambios que deben estar en los planos finales del proyecto y el departamento de topografía vigilando la calidad del dato actualizado y cambios en los planos finales. Si hay algún dato que está fuera de las tolerancias exigidas por el cliente o que no se ve reflejado en los planos finales, se produce una alerta al departamento y se genera una orden de trabajo al departamento de topografía para volver a tomar los puntos de las estructuras, cajas de comunicación, drenajes, postes eléctricos, entre otros (Fig. 5).

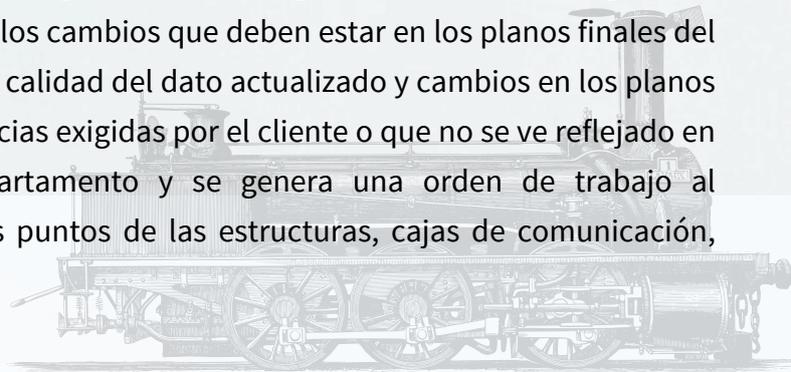




Figura 5. Toma de datos de la base del poste de Luz (izq.) e instalación de rieles directamente al concreto (der.).

Fuente: Dpto. Relaciones Públicas de MTS

Conclusión

La ingeniería geodésica cumple con un rol importante y fundamental en megaproyectos de ingeniería civil, proporcionando la base para una planificación en el diseño y ejecución precisa de los mismos, a través de técnicas avanzadas de medición y posicionamiento. La ingeniería geodésica nos permite determinar con exactitud las coordenadas horizontales, elevaciones y características del terreno, lo cual es esencial para garantizar la estabilidad estructural, minimizar los errores y optimizar recursos en el proyecto. Por lo tanto, la integración entre la geodesia y la ingeniería civil no solo mejora la precisión y eficiencia de la obra de construcción, sino que además contribuye a la seguridad y sostenibilidad de estas infraestructuras. Este es el caso del Proyecto Purple Line, generando una mejora a la calidad de vida de los habitantes en el área del DMV (*District of Columbia, Maryland and Virginia*) (Fig. 6).



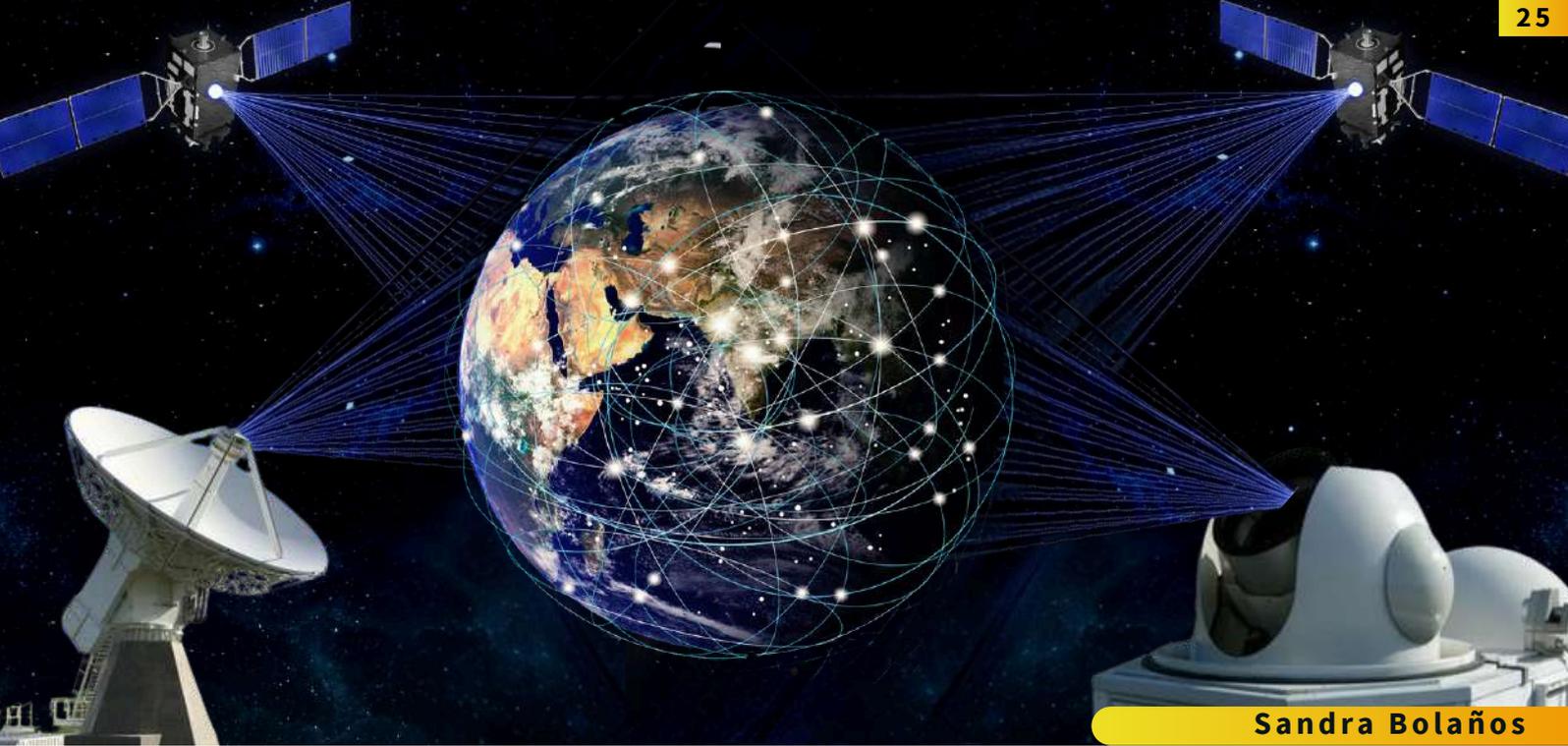
Figura 6. Vista aérea del área del proyecto PL (izq.). Avances del proyecto PL (der.)

Fuente: Dpto. Relaciones Públicas de MTS



Freddy Vargas
fvargas@mtsju.com

Ingeniero Geodesta con una Maestría en Ciencias de la Energía. Trabajó en la industria petrolera venezolana (PDVSA) 2003-2016. Se desempeñó como CAD Technician para la Empresa Ferrovial-USA (2020-2023) en el megaproyecto de la ampliación de la autopista I-66. Virginia USA. Trabajó en Ferrovial-USA (2023-2024) como CAD Technician en el proyecto de la reconstrucción de la Autopista I-285/SR400 en Atlanta – Georgia. Actualmente trabaja para la empresa Dragados USA en el megaproyecto Purple Line, como Office Engineer y encargado de la generación de los planos As Builts del proyecto.



Sandra Bolaños

EL ROL DE LA INFRAESTRUCTURA GEODÉSICA EN LA NAVEGACIÓN ESPACIAL

La geodesia, ciencia que estudia la forma, orientación y campo gravitacional de la Tierra y sus cambios a través del tiempo, es esencial para la navegación espacial y la conciencia situacional en el espacio. A medida que aumentan las constelaciones de satélites, se vuelve crucial integrar mejor las técnicas geodésicas con los sistemas de navegación para lograr una planificación precisa de trayectorias y determinación de órbitas de satélites.

La infraestructura geodésica terrestre que incluye tecnologías como DORIS (Orbitografía Doppler y Radioposicionamiento Integrado por Satélite), VLBI (Interferometría de Base Muy Larga), SLR (Rango Láser Satelital) y GNSS (Sistemas Globales de Navegación por Satélite), permite definir el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) [1], que es fundamental para posicionamiento preciso tanto en la Tierra como en el espacio. Cada una de estas técnicas juega un papel esencial en la determinación de los parámetros de orientación de la tierra:

- **VLBI** es la única técnica capaz de medir todos los parámetros de orientación terrestre (EOP), esenciales para transformar coordenadas entre marcos celestes y terrestres. VLBI es también la única técnica capaz de determinar el ángulo de rotación terrestre, ya que la tierra no hace una vuelta de 360 grados en 24h exactas (o, lo que es lo mismo, 86 400.000 000 segundos exactos) cada día.
- **SLR** es la única técnica óptica que mide con precisión milimétrica la distancia a satélites, lo que es clave para determinar el centro de masa terrestre y calibrar órbitas de todos los satélites GNSS, de altimetría y radares.
- **GNSS** proporciona acceso global al ITRF, pero no puede definirlo por sí solo debido a que no puede distinguir entre el ángulo de rotación de la tierra y el centro de la constelación GNSS.

El posicionamiento preciso sobre la tierra y en el espacio es posible gracias al ITRF, que es el estándar global adoptado para referenciación espacial y tiene una relación directa con WGS84, el marco de referencia utilizado en GPS. Por tanto, el ITRF es un componente fundamental de la navegación con GNSS y provee la información requerida para el cálculo de órbitas de todos los satélites (no solo los satélites de posicionamiento sino también los satélites de imágenes ópticas, radar, altimetría, meteorología, comunicación, etc.). La precisión y estabilidad del ITRF permiten la sincronización precisa de la infraestructura terrestre y espacial de los sistemas de navegación, garantizando su confiabilidad.

La agencia espacial europea reportó que aproximadamente 39 340 objetos espaciales creados en la tierra son monitoreados y catalogados [2]. Estos objetos incluyen satélites en operación, satélites que han pasado su ciclo de vida, partes del lanzamiento de cohetes espaciales, y fragmentos de basura espacial originada de colisiones o desintegración de otros objetos. A medida que aumenta el número de objetos en el espacio (lo cual ha incrementado de decenas a cientos de satélites lanzados en las últimas décadas, en particular después del lanzamiento de satélites de comunicación de órbitas bajas – o satélites ‘LEO’), las necesidades de precisión del ITRF para determinación más precisa de órbitas se han incrementado. Las aplicaciones científicas para determinar los cambios en el planeta también han aumentado. Por ejemplo, el nivel medio del mar se ha incrementado 3cm en la última década, lo que requiere mediciones de monitoreo con 1 cm de precisión. Esta variación requiere una referencia de al menos 1 orden de magnitud más precisa (mm), lo que quiere decir que el ITRF debe tener 1 mm de precisión (y una variación de 0.1mm) para

poder habilitar el monitoreo preciso y consistente del nivel medio del mar [3].

Estos nuevos requerimientos de precisión del ITRF necesitan una infraestructura geodésica estable y bien distribuida. A pesar de que las variaciones en los parámetros de orientación de la tierra son muy pequeños (entre -.6 y .6 segundos de diferencia por año para un giro completo de 360 grados y entre -.2 y .2 segundos de arco de diferencia en las componentes horizontal y vertical del eje de rotación), estos mínimos cambios del movimiento de la tierra producen errores grandes de posicionamiento en el espacio. Por ejemplo, un error en el tiempo de rotación de 1 milisegundo produce un error de 73×10^{-9} radianes en ascensión hacia el espacio, lo que resulta en un error en el cálculo de las órbitas de un satélite LEO de 0.6km. Similarmente, un error de 0.2 segundos de arco en la componente horizontal o vertical del eje de rotación de la tierra genera un error de 8m en órbitas LEO o 25km en la estimación de las órbitas de satélites MEO (satélites de órbita media).

La tierra gira y se balancea en forma compleja e impredecible, lo que causa cambios en los componentes horizontal y vertical del eje de rotación del orden de milímetros cada día y metros cada año. Asimismo, el derretimiento continuo de las capas de hielo, glaciares, cambios en el nivel medio del mar y el movimiento de las placas terrestres causa variaciones en la velocidad de rotación de la tierra.

El movimiento de los satélites es modelado con relación a un sistema inercial (que no se mueve, el marco de referencia celeste) mientras que el posicionamiento de los sistemas GNSS a bordo de cada satélite es modelado con respecto a la tierra, que cambia de posición. Una transformación del sistema inercial usado por los satélites al marco de

referencia terrestre (el ITRF) es entonces necesario para el correcto posicionamiento de satélites. Los parámetros de orientación de la tierra son entonces requeridos para transformar entre este, un sistema 'estático' y el sistema de georreferenciación terrestre.

Dada las limitaciones de cada técnica de medición geodésica, la combinación de varias técnicas (VLBI, SLR y DORIS) es necesaria para definir el marco de referencia terrestre (ITRF)

A pesar del papel tan fundamental que estas 4 técnicas juegan en la navegación con GNSS y el aumento de los requerimientos de precisión, la red global de estos instrumentos y las operaciones requeridas para determinar los parámetros de rotación terrestre a diario está a riesgo de colapsar y lo peor, la gran mayoría de los tomadores de decisiones a nivel mundial no está muy al tanto de este riesgo [4].

Los componentes de la infraestructura requerida (principalmente los instrumentos VLBI y SLR) deben estar uniformemente distribuidas sobre la tierra, justo como lo requieren las mediciones de todos los fenómenos que van más allá de fronteras geopolíticas. Sin embargo, a diferencia de los servicios climáticos o de transporte aéreo y marítimo, estos instrumentos y el análisis de sus datos ha sido proporcionado por organizaciones científicas de algunos países de manera completamente voluntaria. No existe un compromiso formal de cada país como los realizados a la organización mundial de meteorología (WMO), la organización internacional de hidrografía (IHO) o la organización internacional de aviación civil (ICAO).

Por esta razón, la red de instrumentos VLBI y SLR no está uniformemente distribuida, al menos un 50% de la infraestructura existente está operando más allá de su nivel de vida útil, o utiliza tecnologías atrasadas (por ejemplo, para la determinación precisa del tiempo de llegada de los datos desde el espacio). Más aún, la falta de coordinación internacional y financiamiento sostenido pone en riesgo la precisión del posicionamiento global porque algunos de los centros que operan estas tecnologías dejan de operar debido a la falta de financiamiento para responder a presiones emergentes sobre sus presupuestos. La experiencia requerida para estas técnicas (al igual que la experiencia requerida en todas las técnicas en geodesia) está también al borde del colapso en muchos países [5], algo que se ha documentado como un factor de riesgo para los sectores de la economía que dependen de GNSS para el posicionamiento preciso y sincronización del tiempo, como los sectores de la agricultura, telecomunicaciones, mercados y muchas otras actividades.

Una infraestructura geodésica robusta es esencial para la navegación espacial, la seguridad de la navegación en la tierra y en el espacio y el desarrollo de muchos sectores claves de la economía. Invertir en su mantenimiento y expansión es estratégico para la soberanía tecnológica, la exploración espacial y la seguridad económica. Se estima que el financiamiento asignado a la operación de todos los sistemas globales de infraestructura geodésica es menos del 0.05% de los ingresos generados por las actividades basadas en posicionamiento y observación de la tierra [6].

Referencias

- [1] Z. Altamimi, P. Rebischung, X. Collilieux, et al. ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions. *Journal of Geodesy* 97, 47 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00190-023-01738-w>
- [2] European Space Agency ESA. (2024). ESA Space Environment Report, 19 July 2024. https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/ESA_Space_Environment_Report_2024.
- [3] H. P. Plag, and M. Pearlman, M. R. (Eds.). *Global Geodetic Observing System: Meeting the requirements of a global society on a changing planet in 2020*. Springer Berlin Heidelberg, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02687-4>
- [4] United Nations Global Geodetic Centre of Excellence, UNGGCE. Hidden Risk: How weaknesses in the global geodesy supply chain could have catastrophic impacts on critical infrastructure and national economies. (2024). https://ggim.un.org/UNGGCE/documents/20240605-Hidden_Risk_Policy_Brief.pdf.
- [5] M. Bevis et al. America's loss of capacity and international competitiveness in geodesy, the economic and military implications, and some modes of corrective action. *American Association for Geodetic Surveying* (2022). https://aagsmo.org/wp-content/uploads/2022/10/The_Geodesy_Crisis_Final_Version_Mike_Bevis.pdf
- [6] United Nations Global Geodetic Centre of Excellence, "Global Geodesy Needs Assessment," Version 1.0, May (2024). https://ggim.un.org/UNGGCE/documents/20240509-Global_Geodesy_Needs_Assessment.pdf.



Sandra Bolaños
sandra.bolanos@nrcan-rncan.gc.ca

Ing. Industrial y MSc. en Geografía. Ha trabajado en empresas privadas y oficiales de Canadá. Con más de 25 años de experiencia en geodesia, tecnología de teledetección y gestión de operaciones, Sandra Bolaños ocupa actualmente el cargo de Directora en funciones y Geodesta Jefe de Canadá en Natural Resources Canada, donde supervisa el desarrollo y la aplicación de las normas nacionales de posicionamiento y gravedad. Estas normas constituyen la base para referenciar todos los datos geoespaciales de Canadá con una precisión de centímetros, apoyando aplicaciones críticas en navegación, cartografía, infraestructuras, gestión del agua e investigación científica.



Gustavo Caubarrère

“MARCO DE REFERENCIA TERRESTRE. MONITOREO GEODINÁMICO Y ATMOSFÉRICO” ESCUELA VIRTUAL SIRGAS 2025: UNA EXPERIENCIA DE REFERENCIA

Preparar este artículo ha sido, sin dudas, un gran desafío. No se trata solo de resumir 21 horas de contenidos altamente técnicos, sino de rendir homenaje al enorme esfuerzo colectivo que permitió concretar la Escuela Virtual “Marco de Referencia Terrestre. Monitoreo Geodinámico y Atmosférico 2025”. Durante cinco jornadas intensivas, 30 reconocidos especialistas a nivel internacional ofrecieron 37 presentaciones en formato video, rigurosamente coordinadas en contenido, duración y calidad.

La impecable sincronización del evento fue posible gracias al trabajo de María Virginia Mackern, integrante del Comité Científico de SIRGAS, ex Vicepresidenta (2015–2019) y presidente del GT I (2008–2015), quien además asumió la titánica tarea de traducir los subtítulos del inglés al español y viceversa, para facilitar la difusión global del contenido.

Con más de 330 participantes conectados y un pico

de 500 inscritos de 37 países, la escuela superó todas las expectativas. Agradecemos especialmente al presidente del GT I, José Antonio Tarrío Mosquera, quien a través de la USACH facilitó la plataforma virtual y garantizó su óptimo funcionamiento.

También queremos reconocer a los moderadores, que cronómetro en mano dieron orden a las preguntas en tiempo real; a los instructores, que no solo grabaron sus clases, sino que también respondieron en vivo; a Laura Camacho, nuestra administradora de redes sociales; y al equipo del Instituto Geográfico Militar de Uruguay, que transmitió simultáneamente por YouTube y Facebook desde tres equipos en paralelo, ampliando el alcance más allá de los límites de la plataforma. A continuación, encontrarán una breve descripción de cada presentación lo que lo hace de fácil lectura y haciendo click en su título, el enlace correspondiente a nuestro canal de YouTube [SirgasAmericas](https://www.youtube.com/SirgasAmericas).



Sesión 1 (martes 3 de junio de 2025)

2. SLR- José Rodríguez

Presentó la técnica SLR (Telemetría Láser a Satélites) y cómo obtiene mediciones milimétricas que definen la escala y origen del ITRF/ICRF. Destaca su precisión en órbitas satelitales y su contribución al monitoreo de rotación y orientación terrestre.

4. DORIS - Guilhem Moreaux

Explicó DORIS, que usa el efecto Doppler del satélite para geolocalizar estaciones terrestres. Complementa las técnicas GNSS, SLR y VLBI con información sobre movimientos horizontales y verticales, fortaleciendo los marcos ITRF.

6. GNSS- Paul Rebischung

Analizó aportes del GNSS al ITRF: red global de estaciones, procesamiento de señales satelitales y estimación de parámetros de orientación con alta frecuencia, vital para determinar rotación y movimiento terrestre.

8. Definición del ITRF- Zuheir Altamimi

Detalló la definición y materialización del ITRF usando GNSS, SLR, VLBI y DORIS. Habla sobre cálculos, convenciones del IERS, y cómo se convierten en coordenadas físicas para monitorear deformaciones y rotación terrestre.

1. Asociación Internacional de Geodesia (IAG)- Richard Gross

Explicó el rol clave de la IAG en la coordinación global de datos geodésicos. Detalló cómo estandariza marcos de referencia, produce modelos y servicios, y facilita el acceso científico y operacional al ITRF e ICRF.

3. VLBI- Aletha De Witt

Describió VLBI (Interferometría de Base Muy Larga) en la geodesia, técnica que mide retardos de señales de quasars entre antenas enormes. Se emplea para definir ICRF/ITRF, monitorear la rotación, placas tectónicas y polos con precisión milimétrica.

5. Marco ICRS/ITRS - Daniela Thaller

Integró los marcos de referencia celeste (ICRS/ICRF) y terrestre (ITRS/ITRF). Destaca cómo alinear ambos con precisión garantiza consistencia temporal y espacial en sistemas globales.

7. AGGO- Mauricio Gende

Presentó los componentes y aplicaciones del Observatorio Geodésico Argentino-Alemán (AGGO) como una instalación clave para la infraestructura geodésica del hemisferio sur actuando como un nodo de vinculación regional al integrarse con la red SIRGAS-CON

9. Sistema Global IAG- Laura Sánchez

Ofrece una visión de la red global geodésica de la IAG: estaciones GNSS, SLR, VLBI y DORIS interconectadas para generar el ITRF. Destaca la colaboración internacional y la producción de modelos de referencia global.



Sesión 2 (jueves 5 de junio de 2025)



1. Conceptos GNSS, PPP- João Monico

Introduce conceptos clave de GNSS: señales, observables y posicionamiento PPP, incluyendo resolución de ambigüedades flotantes y fijas. Describe el post procesado y su relevancia para alta precisión.

2. Redes GNSS- Victor Cioce

Analizó la estructura y función de las redes GNSS tanto a nivel regional como nacional. Explica que estas redes consisten en estaciones permanentes que observan satélites GNSS con receptores y antenas calibradas, generando datos continuos para posicionamiento preciso.

3. Equipamiento y calibración - Victor Cioce

Detalló selección de antenas y receptores, calibración de centros de fase (PCV) y formatos. Enfatiza precisión en correcciones para datos GNSS estables.

4. Modelos atmosféricos- M. Virginia Mackern

Explica cómo modelos troposféricos e iónicos (DCB, troposfera) son estimados en procesamiento GNSS. Destaca su impacto en observables y en la resolución de ambigüedades.

5. Procesamiento red SIRGAS-CON- Sonia A. Costa

Describió análisis de datos GNSS en red SIRGAS-CON, la generación de coordenadas semanales y parámetros de calidad para sistemas nacionales.

6. Productos multianuales SIRGAS- Laura Sánchez

Explicó los productos SIRGAS de coordenadas multianuales, velocidades y modelos, utilizados para monitoreo geodinámico y planificación territorial.

7. Geodesia en África- Aletha De Witt

Presentó estado actual (infraestructura, políticas) de geodesia en África. Describió desafíos y aspiraciones para fortalecer la infraestructura y formar parte de marcos globales.



Sesión 3 (viernes 6 de junio de 2025)

1. Procesamiento con Gamit Globk-

Demian Gómez

Presentó el flujo de trabajo del procesamiento científico de datos GNSS usando el software Gamit/GlobK, una herramienta de análisis geodésico desarrollada por el MIT y ampliamente utilizada en investigaciones de deformación de la corteza terrestre.

3. Geodinámica - Mara Figueroa

Analizó modelos de trayectoria extendida y predicción. Aborda movimientos tectónicos, deformación a largo plazo y aplicaciones geodinámicas.

5. Deformación inter y post-sísmica - Franco Sobrero

Presenta deformaciones lentas posteriores a eventos sísmicos y herramientas para evaluación post-sísmica. Es esencial para entender riesgos y recuperación tectónica.



2. Procesamiento con Bernese- José A. Tarrío

Expuso el software Bernese GNSS Software, desarrollado por la Universidad de Berna, como una herramienta robusta y precisa para el procesamiento científico de datos GNSS. Explica que su arquitectura modular permite personalizar flujos de trabajo según los objetivos: desde análisis de redes locales hasta contribuciones a marcos de referencia globales.

4. Modelos de deformación co-sísmica - Mara Figueroa

Describió la respuesta de la corteza ante terremotos (deformación co-sísmica), uso de datos GNSS para modelar nuevos patrones después de eventos sísmicos.



Sesión 4 (martes 10 de junio de 2025)

2. Infraestructura de gravimetría- Denizar Blitzkow

Describió redes de gravimetría en América Latina, instrumentación y su función en monitoreo geodinámico y sistemas de referencia vertical.

4. Modelos de geoide- Ana Cristina O. C. de Matos

Explicó la construcción y cálculo de modelos de geoide, resoluciones, precisión y su importancia en calibración altimétrica precisa.

6. ITRF/ITGRF- Ezequiel Antokoletz

Describió el estado del Sistema Internacional de Referencia de Gravedad, ITRF's gravitacional y su estado actual de implementación.

8. Integración SIRGAS al IHRF/ITGRF- Gabriel Guimarães

Describió cómo SIRGAS contribuye al Marco Internacional de Referencia de Alturas (IHRF) y al Marco Internacional de Referencia de la Gravedad Terrestre (ITGRF), mediante su experiencia regional en redes GNSS, gravimetría y nivelación.

1. Conceptos de alturas- Laura Sánchez

Presentó los distintos conceptos de altura utilizados en geodesia, la diferenciación entre superficies físicas (como el geoide) y modelos matemáticos (como el elipsoide). Destaca la necesidad de utilizar modelos de geoide precisos y describe el sistema de referencia vertical.

3. Modernización de redes altimétricas en Uruguay - Walter Subiza Piña

Presentó el proceso de modernización de la infraestructura altimétrica y gravimétrica en Uruguay, en el marco de la integración regional con SIRGAS y del fortalecimiento del sistema de referencia vertical.

5. Estado del IHRF/ITRF- Laura Sánchez

Reportó sobre el estado actualizado del International Height Reference System y su realización, estructuras y avances recientes.

7. IHRF-CC - Claudia Tocho

Presentó al Centro de Coordinación del Marco Internacional de Referencia de Alturas, funciones y conexiones con marcos globales.

9. África al IHRF/ITGRF- Simphiwe Mphuthi

Evaluó los requisitos y desafíos para que África se integre al marco vertical y de gravedad global internacionales.

10. Canadá y modernización- Ismael Foughi

Expuso la contribución canadiense a la modernización del sistema de alturas, con experiencia en implementación nacional y cambios al IHRF.



Sesión 5 (jueves 12 de junio de 2025)



1. Monitoreo remoto de la atmósfera- Kyriakos Balidakis

Describió cómo técnicas geodésicas (GNSS, VLBI, SLR) estiman retardo troposférico, integran datos y permiten monitorear la atmósfera globalmente.

3. Monitoreo troposfera en tiempo real- Jan Dousa

Presentó sistemas que permiten estimar retrasos troposféricos en tiempo real, claves para aplicaciones meteorológicas inmediatas.

5. Modelado ionosférico- Francisco Azpilicueta

Explicó la estimación de modelo ionosférico usando GNSS y altimetría satelital, importante en corrección de señales y precisión global.

2. Estimaciones de ZTD- Rosa Pacione

Explicó la estimación de retraso de zona zenital (ZTD) en redes GNSS internacionales, su relevancia para climatología y meteorología.

4. ZTD e IWV- M. Laura Mateo

Detalló el uso de estaciones GNSS SIRGAS para calcular ZTD y contenido de vapor de agua (IWV), con aplicaciones en geodesia y clima.

6. Monitoreo ionosfera en tiempo real- Manuel Hernández-Pajares

Detalló soluciones VTEC en tiempo real, con alta resolución y precisión, aplicables en navegación, meteorología y telecomunicaciones.

¡GRACIAS POR ACOMPAÑARNOS!



Gustavo Caubarrère
gustavo.caubarrere@igm.gub.uy

Coronel del Arma de Infantería desde 2021. Subdirector del Instituto Geográfico Militar de Uruguay desde febrero de 2022. Su formación incluye cursos en cartografía y geolocalización, una pasantía en Geomática en Chile en 2006, y un Curso Avanzado de Sistemas de Posicionamiento por Satélite en Madrid en 2008. Ha participado en eventos importantes, incluyendo Simposios SIRGAS, talleres y escuelas en América Latina. Presidente de SIRGAS desde junio de 2023, donde contribuye al desarrollo de la organización durante 4 años.



EPSG

GEODETTIC PARAMETER DATASET

Managed by IOGP's Geomatics Committee

www.epsg.org

H. Suárez, I. Arenas, M. Hoyer

EPSG: PILAR NORMATIVO PARA LA INTEGRIDAD GEODÉSICA E INTEROPERABILIDAD GEOESPACIAL (PARTE I)

El Registro EPSG (www.epsg.org) constituye, en esencia, una base de datos pública estructurada conforme a un modelo estandarizado, en la que se almacenan parámetros y metadatos geodésicos y cartográficos. Entre estos se incluyen elipsoides, sistema de referencia de coordenadas (SRC), sistemas de referencia, datums geodésicos, proyecciones cartográficas, unidades de medida, modelos de conversión y transformación de coordenadas, geoides y modelos de velocidades, entre otros. Esta iniciativa fue creada por el European Petroleum Survey Group (EPSG) y actualmente es administrada y mantenida por la International Association of Oil & Gas Producers (IOGP), a través de su Subcomité de Geodesia, integrado por expertos de reconocimiento internacional.

El modelo de datos EPSG está alineado con las normas ISO 19111:2019 e ISO 19136, relativas a la referencia espacial por coordenadas y al esquema *Geography Markup Language* (GML v.3.2.1).

Desde su creación en 1985 y publicación inicial en 1993, se ha consolidado como el estándar de facto de la industria geoespacial. Hoy su uso se extiende más allá del sector petrolero y gasífero, siendo ampliamente adoptado por geodestas, cartógrafos, topógrafos, geofísicos, geólogos, geocientíficos y especialistas en SIG. Asimismo, es utilizado por agencias nacionales de geodesia, geografía y cartografía, agencias espaciales y aeronáuticas, desarrolladores de software especializado y fabricantes de instrumentos geodésicos en todo el mundo.

Objetivo

El objetivo principal del Registro EPSG es estandarizar y sistematizar la información vinculada a los sistemas de referencia de coordenadas (SRC), garantizando un uso uniforme, coherente y preciso de los datos geodésicos y geoespaciales en diversas disciplinas y aplicaciones, tales como SIG, teledetección,

topografía, cartografía, geodesia, geomática, exploración petrolera y minera, cartografía web y bases de datos espaciales (ejemplo en la Tabla 1). Su existencia es clave para asegurar la integridad geodésica e interoperabilidad de la información, respaldando la toma de decisiones operativas basadas en datos geoespaciales confiables.

Importancia

El uso de los códigos EPSG reviste una importancia fundamental, ya que constituyen la base técnica y normativa que asegura la coherencia, compatibilidad e interoperabilidad de los datos y sistemas geoespaciales a nivel global. Principalmente, los datos del EPSG permiten definir SRC que garantizan que las coordenadas describan posiciones de forma inequívoca, así como establecer transformaciones y conversiones para trasladar coordenadas de un SRC a otro. Estas transformaciones y conversiones se engloban bajo el término de operaciones de coordenadas.

Los registros EPSG posibilitan la ejecución de operaciones de coordenadas precisas entre múltiples sistemas, inequívocamente codificados, evitando errores humanos o ambigüedades en su identificación. Todo ello preserva la integridad geodésica durante procesos automatizados y aporta trazabilidad a los procesos de conversión y transformación, facilitando análisis forenses en caso necesario. Sin esta referencia estandarizada, validar, compartir y analizar datos con la precisión que exige la geodesia, la cartografía y los Sistemas de Información Geográfica sería una tarea considerablemente más compleja y costosa.

Estructura

El Registro EPSG se distribuye en tres modalidades para responder a diferentes necesidades:

- **EPSG Registry:** Plataforma web oficial que aloja los datos en formato GML, estructurados conforme al estándar ISO 19136. Ofrece funcionalidades de búsqueda por nombre, código, área de uso o entidad asociada, facilitando así la identificación del sistema de referencia más adecuado para cada aplicación.
- **EPSG Database:** Base de datos relacional disponible en formato *Microsoft Access*. Incluye formularios de navegación, herramientas de edición, generación de informes y opciones de filtrado. Esta presentación resulta especialmente práctica en entornos académicos, institucionales o en casos donde se requiere una revisión detallada y estructurada de los componentes del EPSG.
- **Modelo relacional mediante scripts SQL:** Conjunto de *scripts* para poblar bases de datos como PostgreSQL, Oracle o MySQL. Este formato está dirigido a desarrolladores de software y organizaciones que necesitan integrar los datos EPSG en plataformas SIG o infraestructuras de datos espaciales adaptadas a sus propias necesidades.

Cada modalidad contiene los datos fundamentales, y su actualización se realiza de manera coordinada en ciclos regulares.

Tabla 1. Ejemplo de codificación de un SRC y sus parámetros geodesicos y cartográficos.

Fuente: Elaboración propia basada en www.epsg.org

CRS NAME	DESCRIPTION	EPSG CODE
REGVEN / UTM zone 19N	Projected UTM zone 19 North coordinates referenced to REGVEN in Venezuela.	2202
Projected CRS Details:		
CRS TYPE:	Projected	N/A
SCOPE:	Engineering survey, topographic mapping.	N/A
EXTENT:	Venezuela - 72°W and 66°W	3859
COORDINATE SYSTEM:	Cartesian 2D CS. Axes: easting, northing (E,N). Orientations: east, north. UoM: m.	4400
BASE CRS:	REGVEN	4189
CONVERSION:	UTM zone 19N	16019
Coordinate System Details:		
NAME:	Cartesian 2D CS. Axes: easting, northing (E,N). Orientations: east, north. UoM: m.	4400
CRS TYPE:	Cartesian	N/A
DIMENSION:	2	N/A
AXES:	1 Easting, 2 Northing	N/A
UNIT:	metre	9001
Geographic 2D CRS Details:		
NAME:	REGVEN	4189
CRS TYPE:	Geographic 2D	N/A
SCOPE:	Horizontal component of 3D system.	N/A
EXTENT:	Venezuela	N/A
DATUM:	Red Geodesica Venezolana	6189
ELLIPSOID:	GRS 1980	7019
PRIME MERIDIAN:	Greenwich	8901
COORDINATE SYSTEM:	Ellipsoidal 2D CS. Axes: latitude, longitude. Orientations: north, east. UoM: degree	6422
BASE CRS:	REGVEN	4963
CONVERSION:	geographic3D to geographic2D	15593
Conversion Details:		
NAME:	UTM zone 19N	16019
CRS TYPE:	Geographic 2D	N/A
SCOPE:	Engineering survey, topographic mapping.	N/A
EXTENT:	World - N hemisphere - 72°W to 66°W	1919
CONVERSION METHOD:	Transverse Mercator	9807
OPERATION IS REVERSIBLE:	Yes	N/A
CONVERSION PARAMETERS:		
Latitude of natural origin	0 degree	N/A
Longitude of natural origin	-69 degree	N/A
Scale factor at natural origin	0.9996 unity	N/A
False easting	500000 metre	N/A
False northing	0 metre	N/A

Ventajas

El uso del sistema EPSG no se limita a organismos internacionales ni a grandes proyectos de infraestructura. El mismo es ampliamente usado por profesionales que realizan levantamientos topográficos, cartografía base, procesamiento de imágenes satelitales o proyectos de ingeniería que demandan alta precisión geográfica. Entre sus beneficios concretos destacan (Fig. 1):

- **Estándar común para la interoperabilidad:** Permite compartir datos geospaciales entre distintos sistemas, plataformas y organizaciones sin pérdida de exactitud ni ambigüedad.
- **Soporte para transformaciones precisas:** Conociendo el sistema de referencia de coordenadas de origen y destino, y disponiendo de los parámetros adecuados, se pueden aplicar transformaciones reproducibles, coherentes y auditables.
- **Reducción de errores:** La selección correcta del CRS y su área de validez evita la aplicación de transformaciones en zonas inapropiadas, algo crítico en proyectos de ingeniería civil, obras costeras o georreferenciación de imágenes.
- **Trazabilidad y control de calidad:** El uso de códigos EPSG facilita documentar y verificar el origen y el tratamiento de las coordenadas en productos cartográficos, bases de datos y reportes técnicos.

El registro EPSG es mucho más que un simple catálogo de códigos: representa un enfoque estandarizado y riguroso orientado a asegurar una correcta gestión geodésica de datos geospaciales.

En geodesia, donde mínimas imprecisiones pueden derivar en grandes desviaciones sobre el terreno, la existencia de estándares asegura la reproducibilidad y validez de los resultados.

Su estructura y permanente actualización responden a los desafíos de la geodesia contemporánea, como la incorporación de nuevos sistemas de referencia, la adaptación a modelos terrestres de mayor precisión y el soporte de sistemas de coordenadas dinámicos que contemplan velocidades y/o el movimiento de las placas tectónicas. Con la utilización de los códigos EPSG se posibilita que las coordenadas representen con fidelidad la localización de puntos sobre la superficie terrestre, garantizando consistencia, coherencia y precisión a escala global.

El trabajo con estándares también facilita el desarrollo de competencias profesionales y la capacitación técnica. Estudiantes, investigadores y técnicos pueden aprender a manejar sistemas de referencia, transformaciones y parámetros con base en un esquema comúnmente aceptado, lo que promueve buenas prácticas y eleva el nivel de los proyectos geospaciales.



Fig.1. Componentes Clave del Sistema EPSG.
Fuente: Elaboración propia basado en www.epsg.org

Software que utilizan el Registro EPSG

Numerosas aplicaciones, librerías y plataformas utilizan los datos EPSG para garantizar la correcta gestión de sistemas de referencia de coordenadas y transformaciones geodésicas. Entre los más reconocidos se encuentran: QGIS (Quantum GIS), ArcGIS (Esri), GRASS GIS, GDAL/OGR, PROJ, PostGIS (PostgreSQL), GeoServer, MapServer, FME (Safe Software), Google Earth Engine, Global Mapper, ERDAS IMAGINE, ENVI, AutoCAD Map 3D, MicroStation (Bentley), Software de procesamiento GNSS (Leica, Trimble, Topcon), además de software especializados en sensores remotos, geología, geofísica, petróleo y minería.

Estos sistemas emplean los códigos EPSG para definir, validar, transformar y documentar coordenadas y marcos de referencia, asegurando interoperabilidad y precisión en entornos geoespaciales.

EPSG en Latinoamérica

En la actualidad, prácticamente todos los países de América Latina, a través de sus agencias nacionales de geodesia, cartografía y geografía, así como mediante universidades y centros de investigación, han adoptado los códigos EPSG y reportan sus actualizaciones de forma periódica. Incluso cuando se establecen sistemas propios — como marcos geodésicos nacionales o proyecciones específicas— estos suelen registrarse formalmente en el EPSG para garantizar su reconocimiento y correcta implementación a nivel global. Hoy en día, la base de datos del Registro EPSG cuenta con más de 2.600 registros únicos vinculados a América Latina.

Sin embargo, en la región persisten vacíos o productos geodésicos de alcance regional o continental que aún podrían incorporarse al Registro EPSG, pero que, debido a su carácter multinacional, a aspectos legales o a otros factores, no han sido formalmente incluidos. Ejemplos de ello son los modelos geoidales regionales o los modelos de velocidades de cobertura continental.

Es fundamental que los organismos e instituciones de Latinoamérica aprovechen plenamente las ventajas que ofrece el Registro EPSG, ya que facilita, entre otros beneficios, la difusión y el uso de los diversos productos geodésicos y cartográficos desarrollados en la región, promoviendo así la cooperación y la integración internacional.

Conclusión y próxima entrega

El Registro EPSG es un pilar de la geodesia moderna. Su estructura, alcance y alineación con normas internacionales lo convierten en un recurso indispensable para garantizar interoperabilidad, calidad y precisión en proyectos geoespaciales. Además, gracias a esta valiosa herramienta, la geodesia se ha expandido y cobrado relevancia, integrándose y aplicándose en un extenso abanico de disciplinas y áreas afines. Esta primera parte ofrece una visión general de su funcionamiento y valor como estándar global. En la siguiente entrega se abordará el proceso formal de registro de nuevas entidades EPSG, sus requisitos técnicos y la documentación necesaria para que definiciones geodésicas sean reconocidas e incorporadas, información clave para agencias, universidades y desarrolladores interesados en validar y difundir sus modelos.

Referencias

- IOGP Publication 373-7-1 – Geomatics Guidance Note number 7, part 1 – Mar 2025. Understanding the EPSG Geodetic Parameter Dataset. Disponible en www.epsg.org
- IOGP Publication 373-7-2 – Geomatics Guidance Note number 7, part 2 – Mar 2023. Coordinate Conversions and Transformations including Formulas. Disponible en www.epsg.org
- IOGP Publication 373-7-3 – Geomatics Guidance Note number 7, part 3 – Jul 2023. EPSG Registry API user guide. Disponible en www.epsg.org
- IOGP Publication 373-7-4 – Geomatics Guidance Note number 7, part 4 – Apr 2009. EPSG Geodetic Parameter Relational Database – Developers Guide. Disponible en www.epsg.org
- IOGP Publication 373-7-5 – Geomatics Guidance Note number 7, part 5 – May 2022. EPSG null and copy transformations to WGS 84. Disponible en www.epsg.org
- IOGP Publication 373-7-6 – Geomatics Guidance Note number 7, part 6 – Jun 2025. Policies and procedures for EPSG Dataset data management. Disponible en www.epsg.org



Hermógenes Suárez
hsuarez@fing.luz.edu.ve

Ing. Geodesta (LUZ). Profesor e investigador de la Escuela de Ingeniería Geodésica de LUZ. Fundador y expresidente de la Sociedad de Ingenieros Geodestas, Geomáticos y Agrimensores de Venezuela (SIGGMA). Gerente del Departamento Geospatial Operations, Geomatics and Remote Sensing en Oxy, Texas, EE.UU. Miembro del SubComite de Geodesia y del SubComite de Sensores Remotos de la IOGP.

Ileanis Arenas
iarenas@fing.luz.edu.ve



Melvin Hoyer
mhoyer@fing.luz.edu.ve



Ing. Geodesta y Magister (LUZ). Profesora e investigadora de la Escuela de Ingeniería Geodésica y Jefe del Laboratotio de Geodesia Física y Satelital Dr. Melvin Hoyer (LGFS-MH) de LUZ. Presidente de la Sociedad de Ingenieros Geodestas, Geomáticos y Agrimensores de Venezuela (SIGGMA).

Ing. Geodesta (LUZ). Dr. - Ing. (Univ. Hannover). Profesor emérito de LUZ y epónimo del LGFS-MH. Mas de 45 años de experiencia como profesor e investigador universitario, asesor de proyectos y consultor internacional. Miembro del Consejo Científico de SIRGAS.

EN POCAS PALABRAS...

La IAG estrena sitio web: La Asociación Internacional de Geodesia (IAG) ha lanzado oficialmente su nueva página web, geodesy.science, marcando un hito en su estrategia de comunicación. Esta plataforma, activa desde principios de junio de 2025, busca potenciar la visibilidad y accesibilidad de la geodesia a una audiencia más amplia, incluyendo tanto a especialistas como a público general.

Entre sus innovaciones, destaca la navegación intuitiva y un diseño centrado en el usuario. El dominio geodesy.science refuerza la misión de la IAG de explicar, promover y avanzar en la ciencia de la medición de la Tierra. Incorpora una sección "About Geodesy" con una visión clara de la disciplina y un apartado GGOS (Global Geodetic Observing System) detallando técnicas y productos de observación.

Asimismo, la nueva web facilita la contribución de la comunidad mediante formularios en línea para el envío de noticias, eventos y ofertas de empleo. Visita <https://geodesy.science/iag/>

Megaconstrucciones que mueven la Tierra: La Presa de las Tres Gargantas en China, la mayor central hidroeléctrica del mundo ha demostrado tener un efecto medible en la rotación y el eje de la Tierra. La acumulación de aproximadamente 40 mil millones de metros cúbicos de agua a 175 metros sobre el nivel del mar representa una redistribución significativa de masa.

Según análisis de la NASA, particularmente investigaciones del Dr. Benjamin Fong Chao, este cambio masivo incrementa el momento de inercia del planeta. Consecuentemente, la velocidad de rotación de la Tierra disminuye mínimamente, extendiendo la duración del día en unos 0.06 microsegundos. Adicionalmente, el desplazamiento de esta masa de agua ha provocado una leve desviación del eje de rotación terrestre, aproximadamente 2 centímetros. Aunque estos valores son geofísicamente insignificantes para la vida cotidiana, su detectabilidad subraya la capacidad de las megaestructuras antropogénicas para inducir perturbaciones cuantificables en la dinámica rotacional y axial de nuestro planeta. Visita, por ejemplo: <https://tecnobits.com/la-presa-de-las-tres-gargantas-rotacion-de-la-tierra>



La actualidad sobre la Geomática en América y el mundo

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

1. El texto que desea publicar debe enviarlo a la dirección geomaledit@gmail.com, o a la dirección privada de alguno de los editores, en formato Word, de manera que sea editable. Puede utilizar cualquier tipo y tamaño de fuente.
2. El idioma de publicación es el español. Contribuciones en otros idiomas podrán ser traducidas por el Comité Editorial a solicitud del autor.
3. La extensión de los artículos es limitada por razones de espacio.
4. Reseñas de artículos ya publicados en otras revistas, de libros, de eventos (congresos, simposios, cursos o talleres), de tesis de grado, notas biográficas o similares, tendrán un espacio de 3 páginas aproximadamente, esto equivale a unas 1500 palabras y 2 o 3 figuras. Este espacio puede extenderse de mutuo acuerdo con los editores.
5. Artículos sobre instituciones, proyectos, temas o aplicaciones en cualquier área de la geomática o disciplinas afines, tecnologías emergentes y similares podrán tener una extensión de 4 a 5 páginas, lo cual equivale a entre 2000 a 3000 palabras aproximadamente y 3 o 4 figuras.
6. Artículos más extensos deben ser acordados con los editores.
7. Los artículos serán revisados en cuanto a contenido y forma y se harán sugerencias al autor, esperando su consentimiento para ser publicado. Esta interacción entre el autor y los editores debe ser muy rápida para no retrasar los tiempos de edición y publicación.
8. El artículo debe ir acompañado, preferiblemente, de algunas pocas figuras o fotos, indicando la fuente o autoría de estas. Las figuras deben citarse o mencionarse en el texto con la numeración correspondiente y para ello se debe utilizar la palabra Figura en el título de esta y su abreviatura Fig. en el texto.
9. De igual forma, las tablas deben citarse o mencionarse en el texto con la numeración correspondiente y para ello se utilizará la palabra Tabla en el título de esta y en el texto.
10. Dado que Geom@il no tiene intereses políticos o comerciales, se deben evitar estos temas en los textos. Se pueden mencionar nombres comerciales o marcas solo con fines informativos y no comerciales o publicitarios.
11. También deben evitarse críticas contra instituciones u organismos oficiales o empresas que generen controversias.
12. La inclusión o no de referencias bibliográficas queda a juicio del autor dependiendo del artículo.
13. El artículo debe ser firmado por uno o varios autores. La información adicional que acompañe al (los) nombre(s), por ejemplo, grado académico, correo electrónico, empresa o institución, será decisión del (los) autor(es). Se incluirá una foto del autor y una breve reseña biográfica de 70 palabras aproximadamente.
14. También puede ser firmado por una empresa, organización o institución o grupo de trabajo o investigación, siempre y cuando el autor de contacto tenga la autorización para utilizar el o los nombres respectivos.
15. Se sugieren títulos cortos y que reflejen, lo mejor posible, el contenido del artículo.
16. El formato de publicación y de envío del Geom@il es PDF por lo tanto las figuras y tablas deben tener una resolución

Cada autor es responsable del contenido de sus artículos y del uso de nombres, marcas o instituciones. Al respecto, Geom@il no asume ninguna responsabilidad.

COMITÉ EDITORIAL

**Comunícate con nosotros a
través de
geomailedit@gmail.com**

GEOMAIL

La actualidad sobre la Geomática en América y el mundo

ENTREVISTA A BENEDIKT SOJA p. 06

DE LA PRECISIÓN TRADICIONAL A LA IA p. 10

CONOCIMIENTO DEL TWS EN CHILE p. 16

Números anteriores en

www.siggma.xyz

o

www.geomailblog.wordpress.com

ESCUELA VIRTUAL SIRGAS 2025 p. 29

REGISTRO EPSG p. 35

