

ICU Investigación, Ciencia y Universidad

Revista electrónica de difusión científica | ISSN: 2525-1783 | Año 2023 - Vol 7 / N° 9

Número especial **AGRIMENSURA**

EDITORIAL
UMA ZA

CIENCIA
Y TÉCNICA

UNIVERSIDAD
MA ZA

ICU Investigación, Ciencia y Universidad

Revista electrónica de difusión científica | ISSN: 2525-1783 | Año 2023 / Vol 7 - Nº 9

EDITORIAL
UMAZA

CIENCIA
Y TÉCNICA

UNIVERSIDAD
MAZA

Objetivos y alcances

La Revista Investigación, Ciencia y Universidad (ICU), ISSN: 2525-1783, es la revista científica multidisciplinaria e interdisciplinaria gestionada y financiada por la Universidad Juan Agustín Maza, Mendoza, Argentina.
<https://orcid.org/0009-0004-1098-2009>

Tiene como objetivo, desde su creación en 2016, la difusión de resultados de trabajos de investigación y trabajos teóricos que estén o hayan estado orientados al planteo y resolución de problemáticas regionales actuales, buscando aportar desde el desarrollo científico, a la concreción de un mundo mejor para todos y todas. Resulta clave el abordaje interdisciplinar para enriquecer las miradas y las lecturas de la realidad compleja que nos toca transitar.

En este sentido, difundir la ciencia y que esté al alcance de la ciudadanía, se hace imprescindible. Es por ello que la Revista ICU está arbitrada e indexada en Acceso Abierto y no tiene costo de publicación para autores /as ni para lectores/as.

La periodicidad de publicación es de un número anual de publicación permanente. Esto implica que los artículos se publican a medida van ingresando y siendo aprobados, entre el período calendario del 1 de enero al 31 de diciembre de cada año.

Se publican trabajos originales e inéditos que traten problemáticas significativas en al menos una de las siguientes áreas temáticas:

- Ciencias ambientales, agroindustrias y de la tierra
- Ciencias de la salud humana
- Ciencias sociales y humanas
- Ciencias veterinarias

Los formatos de publicación (Secciones de la Revista) y sus extensiones son:

- Artículos completos: 6 a 20 páginas.
- Revisiones: 6 a 20 páginas.
- Ensayos: 6 a 20 páginas.
- Métodos o protocolos: 6 a 20 páginas.
- Estudios de Caso: 6 a 20 páginas.
- Comunicaciones breves: de 2 a 5 páginas.
- Cartas al Editor: 2 a 4 páginas.
- Resúmenes de eventos científicos: extensión determinada por cada evento en particular.

Datos de la revista

Nombre: Revista Investigación, Ciencia y Universidad (ICU)
Sitio Web: <http://revistas.umaza.edu.ar/index.php/icu>
ISSN: 2525-1783
Correo de la revista: revistaicu@umaza.edu.ar
<https://orcid.org/0009-0004-1098-2009>
Institución: Universidad Juan Agustín Maza
Áreas responsables: Ciencia y Técnica - Editorial
Dirección postal y ubicación: Lateral Sur del Acceso Este 2245 (M5519). Guaymallén, Mendoza; Argentina
Teléfonos: -54 9 0261 4056200 internos 258 y 288
Sitio Web Institucional: <https://www.umaza.edu.ar>

Equipo Editorial

Editora en Jefe

Laura Pelegrina - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-4163-2314>

Editora ejecutiva

Lizet Vejling - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-4638-7496>

Comunicación, diseño y edición

Mauricio Galeone - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina

Soporte Informático

Ezequiel Gómez y Gabriel Muñoz - Theke Solutions

Comité Editorial

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Ana Grijalda-Endara - Universidad de Guayaquil. Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-2194-2297>

Belén Levatino - Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Universidad Nacional de Cuyo. Argentina.
<https://orcid.org/0000-0002-2194-2297>

Cristian Bevacqua - Universidad Nacional de Catamarca. Argentina. <https://orcid.org/0009-0008-1971-3808>

Fernando Gastón Iturburu - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-7389-8929>

Jorge Sisti - Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
<https://orcid.org/0009-0004-4792-9623>

José María Ciampagna - Ciampagna y Asociados. Argentina.
<https://orcid.org/0009-0004-4772-4695>

Martín Fanzone - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-3356-1811>

Néstor Oscar Pisciotta - Universidad Blas Pascal. Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. <https://orcid.org/0009-0008-2751-9650>

Virginia Mackern - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-9029-277X>

Ciencias de la Salud Humana

Aldo Calzolari - Instituto Universitario Hospital Italiano. Buenos Aires. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-1823-4521>

Alejandro Español - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Segunda Cátedra de Farmacología, Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-8222-4259>

Claudio Fader - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto de Histología y Embriología. Laboratorio de la Fisiología y la fisiopatología del glóbulo rojo. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Odontología. Cátedra de Bioquímica General y Estomatológica. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-6495-5007>

Cristián Quintero - Universidad Juan Agustín Maza. Universidad de Mendoza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-4365-4189>

Daniela Quinteros - Unidad de Investigación y Desarrollo en Tecnología Farmacéutica. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Ciencias Farmacéuticas. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-7459-7442>

Emilia Raimondo - Universidad Nacional de Cuyo. Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-2057-4506>

Fernando Venezuela - Instituto de Virología "Dr. J.M.Vanella". Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Médicas. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-4325-8998>

Ganna Dmytrenko - Universidad de Buenos Aires. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-6335-8822>

Laura López - Universidad de Buenos Aires. Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-2302-522X>

Mariana Vallejo - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Ciencias Farmacéuticas. Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-1498-8075>

Omar Barrionuevo - Universidad Nacional de Catamarca. Argentina. <https://orcid.org/0009-0001-2143-6095>

Ciencias Sociales y Humanas

Belén Levatino - Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Universidad Nacional de Cuyo. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-2194-2297>

Enzo Ricardo Completa - Universidad Nacional de Cuyo. Universidad Champagnat. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-9611-5336>

Esther Susana Borgarello - Universidad Blas Pascal. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-2290-5527>

Luisa Carolina González Ramírez - Universidad Nacional del Chimborazo. Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-4431-965X>

Marisa Pimienta - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0009-0008-0362-6929>

Rubén Aroca Jacome - Universidad de Guayaquil. Ecuador. <https://orcid.org/0000-0001-6179-085X>

Susana Gallar - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-6866-1700>

Ciencias Veterinarias

Antonella Cáceres - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-9898-3524>

Daniela Ferré - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-4052-1922>

Gisela Neira - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Facultad de Ciencias Veterinarias y Ambientales, Universidad Juan Agustín Maza, Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-3429-7987>

Patricio Artigas Bascur - Universidad de Valencia. España. <https://orcid.org/0000-0002-2815-1324>

Roberto Mera y Sierra - Universidad Nacional de Cuyo. Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-7148-5418>

Silvana Scarcella - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Centro de Investigación Veterinaria de Tandil (CIVETAN). Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-2865-0067>

Política de Acceso Abierto y Propiedad Intelectual

La Revista Investigación, Ciencia y Universidad (ICU), de acuerdo con su formato electrónico, utilizará para la gestión editorial el sistema OJS (Open Journal System), software libre de PKP que permite la edición de revistas en línea. Información del sistema OJS: <https://pkp.sfu.ca/>

Se edita bajo licencia Creative Commons 4.0 Internacional (Atribución-NoComercial-CompartirIgual) para salvaguardar los derechos de los autores y las versiones de los documentos incluidos. Por medio de esta licencia, se manifiesta que la distribución de las obras se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original, para salvaguardar los derechos de los autores y las versiones de los documentos incluidos y NO se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas.

Eres libre de: Compartir – copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar: remezclar, transformar y construir sobre el material.

Información de la licencia Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons. Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

La Revista ICU adhiere a las políticas argentinas y mundiales de Acceso Abierto, porque considera que es fundamental la difusión de la ciencia para el avance de la sociedad y la cultura y cree que el conocimiento debe estar con disponibilidad en línea, gratuito y sin restricciones. Es por ello que en su Res. N° 978/19, la Universidad Juan Agustín Maza adhirió a Ley Nacional de Acceso Abierto N° 26899/13. Se puede consultar la normativa en: <http://repositorio.umaza.edu.ar/handle/00261/1328>

La Revista ICU, por tanto es depositada y difundida en el Repositorio Digital Institucional, adherido y cosechado por el Sistema Nacional de Repositorios Digitales (SNRD) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación.



Por conformar el núcleo de Repositorios Digitales argentinos y, por gestión del SNRD, la Revista ICU es cosechada también por La Referencia, Red de Repositorios de Acceso Abierto de América Latina.

Con el convencimiento de estas acciones e que ICU ha firmado la Declaración de Budapest: <https://www.budapestopenaccessinitiative.org/sign/signatures/> manifestando su apoyo a las acciones mundiales para la libre circulación del conocimiento.



La Revista podrá retirar de publicación cualquier artículo por causa debidamente justificada y/o reclamos de terceros. Los derechos de propiedad intelectual pertenecen siempre a los autores, así como su responsabilidad última sobre lo escrito. La Universidad Juan Agustín Maza reglamentó la propiedad intelectual en su Res. N°1400/2016. Se puede consultar la norma en: <http://repositorio.umaza.edu.ar/handle/00261/3028>

La Revista ICU declara su expreso rechazo al plagio. De acuerdo a la Ley Nacional de Propiedad Intelectual N° 11.723, sancionada el 26 de marzo de 1933 y a la Resolución Rectoral N° 1400/2016 que aprueba el Reglamento sobre Derechos de Protección de Resultados de Propiedad Intelectual, se considera, que es política institucional la preservación de derechos de autor, como manifestación del derecho a la protección intelectual y que el plagio es uno de los principales actos que atenta contra los derechos de protección intelectual de las obras. La Res. rectoral N° 87/21 que establece las Políticas de Protección de Derechos Intelectuales y Rechazo al Plagio se puede ver en: <http://repositorio.umaza.edu.ar/handle/00261/3060>

Para la detección de similitudes la Revista ICU utiliza el servicio proporcionado por Crossref y desarrollado por iThenticate—Similarity Check.



Postulando los escritos a publicación en Revista ICU, autores y autoras dejan expresa autorización a la Revista ICU de la difusión de sus escritos en la misma revista, en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Juan Agustín Maza «UMaza Digital» y sus cosechadores mundiales, así como en el medio que la misma considere pertinente para ayudar a la mejor difusión científico-académica del conocimiento y la libre circulación mundial del conocimiento. Autores y autoras pueden depositar la versión de la obra publicada en la revista y cualquier otra versión previa o posterior en Repositorios Institucionales o los medios que considere.

Índice

Editorial	9
José María Ciampagna y María Virginia Mackern	
Cartas al editor	10
La Estación Geodésica Oafa en la Era GGOS	
Alejandro Navarro, Ana María Pacheco, Ricardo César Podestá, Johana Quinteros, Hernán Alvis Rojas	
Artículo completo. Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra	
Vapor de agua atmosférico calculado desde los productos troposféricos de SIRGAS y datos meteorológicos. Caso de estudio: Uruguay, período 2013-2022	18
<i>Relationship between lipid and adipokines profile with red wine intake in overweight men</i>	
María Fernanda Camisay, María Virginia Macker, María Laura Mateo, Patricia Alejandra Rosell	
Aportes al análisis y cálculo del ZTD en base a redes geodésicas y modelos atmosféricos	32
<i>Assessment of ZTD derived from geodetic networks and atmospheric models</i>	
Patricia Alejandra Rosell, María Virginia Mackern, Pablo Euillades	
El marco normativo catastral argentino y los Objetivos del Desarrollo Sostenible	44
<i>The Argentine cadastral regulatory framework and the Sustainable Development Goals</i>	
Cristian Ignacio Bevacqua	
La Agrimensura y la planificación urbana. Análisis de la normativa, ejemplo de la ciudad de Bahía Blanca	51
<i>Surveying and urban planning. Analysis of the regulations, example of the city of Bahia Blanca</i>	
Ana María de Aduriz, Marcela Ester Schenone, Cecilia Bergallo, Pablo Fernando Pessolano, Solange Lemarchand	
Microgeodesia, método de intersección en la determinación de los ejes del láser utilizado en AGGO (Observatorio Geodésico Argentino Alemán)	62
<i>Microgeodesy, intersection method in the determination of the laser axes used in AGGO (German Argentine Geodetic Observatory)</i>	
Aldo Mangiaterra, Pascual Calvo	
Aplicación de técnicas de Machine Learning para Valuación Masiva de Inmuebles en ciudades intermedias de la provincia de Mendoza	74
<i>Machine Learning techniques application for Mass Appraisal in middle cities of Mendoza province</i>	
Renzo Enrique Polo, Ramiro Alberdi, Diego Erba	

Editorial

Bienvenidos al número especial sobre Agrimensura de la Revista Investigación, Ciencia y Universidad (ICU)

José María Ciampagna y María Virginia Mackern

Editores de la Revista ICU

Área de Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

jciampagna@gmail.com

vmackern@mendoza-conicet.gob.ar

Con gran entusiasmo presentamos el número especial sobre Agrimensura de la Revista de Investigación, Ciencia y Universidad (ICU) de la Universidad Juan Agustín Maza. Una publicación que nace con el propósito de fomentar el conocimiento y la investigación en el apasionante mundo de la ciencia. Este es un hito significativo para todos los involucrados en este proyecto, y estamos emocionados de compartir con ustedes una selección de los avances más recientes en diversas disciplinas de la Agrimensura.

La creación de este número especial de la Revista ICU, tiene como objetivo proporcionar un espacio donde científicos, investigadores y académicos puedan compartir sus investigaciones, descubrimientos y perspectivas en el área de la Agrimensura y sus especialidades. En nombre de la Revista ICU, buscamos promover la excelencia académica y la difusión del conocimiento científico para contribuir al avance de la sociedad y el bienestar humano, respondiendo a solucionar problemáticas regionales.

En cada número exploraremos una variedad de temas desde las ciencias naturales hasta las ciencias sociales sobre temas de Agrimensura, con la intención de ofrecer una visión panorámica de la diversidad de investigaciones y avances que se están produciendo en el ámbito científico. Nuestro compromiso es proporcionar artículos rigurosamente revisados por expertos en el campo y ofrecer una plataforma para que los autores compartan sus hallazgos con una audiencia global.

Queremos agradecer a todos los autores que han confiado en nosotros para publicar sus trabajos en esta edición inaugural. Sin su dedicación y contribución, este proyecto no sería posible. También agradecemos a nuestro experimentado Comité Editorial y a nuestros revisores, por su incansable esfuerzo en garantizar la calidad de los artículos que aparecen en estas páginas.

La inclusión de un número especial dedicado a la Agrimensura nace de la iniciativa de profesores activos y retirados que supieron observar la necesidad de promover la investigación científica y el desarrollo tecnológico en nuestra especialidad. Cabe agradecer a las autoridades de la Revista ICU y a la Universidad Juan Agustín Maza por acoger en su seno la visión inicial y hacer posible concretar la iniciativa.

Los profesores activos y retirados que construyeron este sueño hoy hecho realidad son: Armando del Bianco, Hernán Alvis Rojas, José María Ciampagna, Jorge Sisti, José Belaga, María Virginia Mackern, Rubén Rodríguez, y Cristian Bevacqua.

Estamos ansiosos por colaborar con la comunidad científica y académica en la construcción de un recurso valioso y respetado en el campo de la investigación y los desarrollos tecnológicos. Nos comprometemos a mantener los más altos estándares de integridad y calidad en la publicación de trabajos científicos.

Les invitamos a explorar los artículos de este primer número y esperamos que encuentren inspiración y conocimiento en cada página. Esperamos que esta edición especial ICU-Agrimensura se convierta en una fuente de consulta especializada para todos los interesados en el avance de la ciencia.

Gracias por su interés y apoyo. Esperamos con ansias el viaje al conocimiento que tenemos por delante y confiamos en que este es el comienzo de una emocionante empresa.

Carta al Editor

La Estación Geodésica Oafa en la Era GGOS

Oafa Geodetic Station in the GGOS Era

Navarro, Alejandro; Pacheco, Ana María; Podestá, Ricardo César; Quinteros, Johana; Alvis Rojas, Hernán
Observatorio Astronómico Félix Aguilar. Universidad Nacional de San Juan; Argentina

Estimado editor:

I. Oafa y sus Convenios Internacionales

El Oafa es un instituto de investigación dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). Creado en 1953, es el Observatorio astrométrico más importante del País, lleva adelante, mediante convenio con otros países, históricos y trascendentales proyectos de observación e investigación. Entre estos convenios se encuentra el de cooperación internacional entre la UNSJ y la Academia China de Ciencias (CAS), que ha cumplido 30 años y que ha permitido la continua colaboración con los servicios internacionales de Rotación de la Tierra, Tiempo y Sistemas de Referencia Celestes y Terrestres.

Como parte de la cooperación científica entre ambas instituciones, desde el año 2006 se encuentra instalado en el predio del Oafa, un Telescopio SLR (*Satellite Láser Ranging*) cuyos resultados sirven para estudios de Longitud del día, Escalas de Tiempo, Geodinámica, movimiento de placas tectónicas, y otros.

Además, desde el año 2012, gracias a este mismo convenio, esta institución tiene operativa una estación permanente GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

En septiembre del 2018 fue instalado en el Oafa un sistema DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*), fruto de un nuevo convenio de la UNSJ con el CNES (*Centre National d'études spatiales*) y el IGN (*Institut Géographique National*).

Tomando como base la excelente relación existente es que tanto la UNSJ como la Academia China de Ciencias -a través de sus respectivos institutos de investigación- han firmado un convenio que prevé la puesta en funcionamiento del radiotelescopio denominado CART (*China Argentine Radio-Telescope*) de 40 metros de diámetro en la estación de altura Carlos U. Cesco (dependiente de Oafa) de la provincia de San Juan, telescopio que será el de mayor tamaño en toda América del Sur. CART formará parte de la red global IVS (*International VLBI Service*) de la técnica VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), para estudios astrométricos, geodésicos y astronómicos de altísima precisión.

Con todas estas técnicas, en la actualidad, Oafa es una de las estaciones del nuevo marco de referencia terrestre internacional ITRF2020 (Altamimi, Z, 2023). La operatividad conjunta de las técnicas SLR, GNSS y DORIS hace que esta estación se convierta en un Observatorio Geodésico Fundamental, indispensable en el hemisferio sur, ya que son muy escasos en la región austral de nuestro planeta.

II. Astrometría y geodesia espacial

El grupo de Astrometría y Geodesia Espacial es uno de los cuatro grupos de investigación del Oafa, se ha dedicado continuamente, desde hace más de medio siglo, a la determinación sistemática y precisa de Tiempo y Latitud, participando durante muchos años en el Servicio Internacional de Tiempo (BIH), el Servicio Internacional de Movimiento del Polo (IPMS) y el actual Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS). Desde 1962 hasta 1992, se observó con un Astrolabio

Danjon para la elaboración de catálogos y estudios de rotación de la Tierra. Posteriormente la UNSJ firmó el acuerdo de cooperación internacional con la Academia China de Ciencias, que está efectivo desde 1992. Así, desde 1992 hasta el año 2005, se observó con un Astrolabio Fotoeléctrico chino lo que permitió continuar la colaboración con los servicios internacionales.

Sobre SLR

A fines del año 2005 arribó a la provincia de San Juan un telescopio SLR, que comenzó a operar en OAFA en febrero de 2006. La estación recibió el código del Servicio Internacional SLR: ILRS 7406. [Figura 1] (Han Yanben, 2008).



Figura 1: Telescopio SLR 7406

El Telescopio Láser Satelital centra su accionar en la cercanía de la Tierra inmediatamente fuera de la atmósfera. Emplea un potente chorro de luz láser que ilumina satélites artificiales a diferentes alturas, que van desde 400 a 30.000 Km. El haz de luz viaja hasta el satélite, se refleja en unos retroreflectores, espejos especiales, y regresa hacia el receptor del telescopio. Empleando un reloj atómico, se mide el tiempo del pulso láser en su viaje de ida y vuelta y, conocida la velocidad de la luz, se puede calcular la distancia al satélite. Este telescopio forma parte de la Red Global SLR como el tercer sistema fijo del Hemisferio Sur y el primero en Sudamérica (Liu Weidong, 2011).

Sobre GNSS

Desde febrero de 2012 el OAFA tiene operativa una estación permanente GNSS para que funcione junto al telescopio láser satelital SLR. La unidad corresponde a la conocida marca ASHTECH - Micro Z-CGRS. El sistema antena-receptor ha sido pensado para alcanzar los requisitos más estrictos de operación continua destinados a la recolección de datos GNSS de doble frecuencia y con la más alta calidad.

El equipo fue adquirido con una antena de alta precisión L1/L2, de acuerdo con el diseño aceptado por la red de seguimiento IGS (*International GNSS Service*). [Figura 2].



Figura 2: Pilar punto OAFA (Antena GNSS)

La antena ha sido montada sobre un pilar de hormigón armado de cuatro metros de altura, a una distancia de doce metros del SLR. Fue construido sólidamente fundado en el suelo, tal cual lo exigen las normas del IGS para el establecimiento de una estación permanente. En la Figura 3, se muestra la red utilizada en la tarea de co-localización de las técnicas SLR, GNSS y DORIS.



Figura 3: Red de Co-localización SLR, GNSS y DORIS

Sobre DORIS

En septiembre del año 2018 fue instalado un sistema DORIS en el OAFA. [Figura 4].



Figura 4: Antena DORIS

El sistema DORIS fue ideado y desarrollado por el CNES y el Instituto Geográfico Nacional de Francia. Entró en operaciones en el año 1990 en 35 países. Actualmente posee una red de 57 balizas muy bien distribuidas por el mundo.

El principio de este sistema se basa en el desfase de frecuencia (efecto *Doppler*) causado por el movimiento relativo del satélite respecto a la estación terrestre. Su funcionamiento se ejecuta en forma inversa al sistema GPS. Las balizas en tierra emiten señales en dos frecuencias conocidas ($V_1 = 2036.25$ Mhz para la medición precisa del efecto *Doppler* y $V_2 = 401.25$ MHz para la corrección del retardo por efecto de la ionosfera), las cuales son recibidas por los receptores a bordo de los satélites.

Sobre VLBI

La estación astronómica Carlos U. Cesco fue el lugar elegido para el emplazamiento del radiotelescopio CART [Figura 5], después de una larga y minuciosa búsqueda de sitios. Esta estación, dependiente del OAFA, está ubicada en la localidad Barreal, Departamento Calingasta de la provincia de San Juan a 2.348 metros de altura sobre el nivel del mar.



Figura 5: Radiotelescopio CART

En la Figura 6, se muestra una imagen satelital de la estación Carlos U. Cesco donde se encuentran los telescopios de investigación y el lugar de emplazamiento del CART.



Figura 6: Emplazamiento de los telescopios en Carlos U. Cesco

En la actualidad se ha terminado de construir la base que soportara el radiotelescopio y se llevan a cabo trabajos de microgeodesia para la auscultación precisa de la estructura. También se lleva a cabo mediciones precisas de tres redes que permitirán determinar deformaciones en la estructura, en el sector CART y su vinculación al marco geodésico nacional, teniendo en cuenta que San Juan está en la zona de mayor riesgo sísmico del país. [Figura 7].



Figura 7: Base CART

III. Observatorio Geodésico Fundamental

La mejor situación para cualquier estación geodésica es operar en el mismo lugar con todas las técnicas nombradas anteriormente, a estas estaciones se les llama Observatorio Geodésico Fundamental. Las tres técnicas del OAFA, GNSS, SLR y DORIS, localizadas conjuntamente logran mediciones combinadas con exactitudes submilimétricas. Cada Técnica tiene diferentes fortalezas y debilidades, la enorme importancia de la combinación entre ellas permite tomar ventaja de sus fortalezas y mitigar las debilidades.

Sobre GGOS

Alrededor de veinte Observatorios Geodésicos Fundamentales operan actualmente distribuidos en el planeta. Forman una red global de medición permanente (GGOS - *Global Geodetic Observing System*) que proporciona datos y productos necesarios para una variedad de aplicaciones prácticas y estudios científicos. Esa red forma el cimiento sobre el que se apoya el marco de referencia terrestre global y las infraestructuras nacionales de datos espaciales, entre ellas la cartografía, catastro, los inventarios de recursos naturales y de uso del suelo, los límites distritales, provinciales y nacionales, etc. Los estudios científicos soportados por la red global de observatorios fundamentales se relacionan con la geodinámica y el cambio global. El primer grupo incluye la determinación precisa de los movimientos y deformaciones que experimenta la corteza terrestre como consecuencia de la deriva continental, el vulcanismo, los terremotos y otros procesos geofísicos. El segundo grupo abarca la medición de señales ambientales relacionadas principalmente con el análisis de los datos producidos por la red global (señales atmosféricas, ionosfera, Troposfera, etc.) (Thaller Daniela, 2008).

GGOS es el Sistema de Observación de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) y está en relación directa con el IERS, que es el Servicio Internacional de Rotación de La Tierra y Sistemas de Referencia, establecido en el año 1987 por la Unión Astronómica Internacional y la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IERS, 2012).

Desde septiembre de 2018, en que fue instalada en el OAFA la baliza DORIS, y al llevarse a cabo las tareas de co-localización con las otras técnicas SLR y GNSS, el sistema de observación geodésico global incorpora al OAFA como miembro. Con esta afiliación, el observatorio sanjuanino adquiere más trascendencia mundial y lo ubica como a una de las estaciones geodésicas más importantes del Hemisferio Sur.

Conclusiones

Es importante destacar que en estas dos últimas décadas la geodesia argentina ha tenido un avance muy significativo y en gran parte se debe a la implementación de estas técnicas geodésicas espaciales que permiten la referenciación de un punto sobre la superficie de la Tierra con precisión milimétrica, precisiones que hace algunos años atrás eran impensadas.

Actualmente hay 20 estaciones distribuidas en el planeta operando en el GGOS, dando una importante infraestructura geodésica para muchas aplicaciones en los campos de las ciencias de la Tierra. De las cuatro estaciones GGOS de Sudamérica, dos están en Argentina (OFA y AGGO), que sumaran la tarea de operar un centro de análisis para las técnicas GNSS, SLR y VLBI.

Con respecto a OFA, los resultados obtenidos en la estación hacen que estos años de experiencia sirvan para ampliar la tradicional colaboración que la Universidad Nacional de San Juan, a través del OFA, presta con los servicios internacionales IERS, ILRS, IGS e IDS.

En la actualidad OFA es una de las estaciones del nuevo marco ITRF 2020 y la vasta trayectoria de nuestra institución se debe a grandes profesionales de la agrimensura que dejaron, por muchos años, su legado a las generaciones futuras.

Va nuestro inmenso reconocimiento al Agrimensor Walter Tomas Manrique, Agrimensor Reinaldo Carestia e Ingeniero Raúl Márquez, quienes trabajaron fervientemente para el avance de la geodesia y la agrimensura en el País.

Si bien se han realizado avances muy significativos, todavía tenemos muchos desafíos por delante.

Para aquellos profesionales o alumnos interesados en nuestras técnicas y proyectos, quedan cordialmente invitados a participar y/o colaborar con el grupo de geodesia espacial de OFA.

Referencias Bibliográficas

Metidier L, Altamimi Z, Roubi Y. H. 2020. Past and Present ITRF Solutions from Geophysical Perspectives *Adv Space Res* 65 (12: 2711-2722)

Gross R., 2000. Combinations of Earth-orientation measurements SAPCE97, COMB97, and POLE97. *Journal of Geodesy*, Vol 43(12), pp 627-637,doi: 10.1007/s00190005000

Han Yanben, 2008. Successful operation of a cooperative SLR station of China and Argentina in San Juan, *Chinese Science Bulletin*, 53(16):2417-2420

Liu Weidong, 2011. Current situation and future of cooperative San Juan SLR station between Chinese- Argentinean. *17th International Workshop on Laser Ranging and 23rd General Assembly of the International Laser Ranging Service*. Germany

Thaller Daniela, 2008. Inter-Technique combination based on homogeneous normal equation systems including station coordinates, Earth orientation and troposphere parameters. *Scientific Report SRT08/15*. Helmholtz. Postdam 2008

IERS, 2012. Technical Note 29, <http://www.iers.org/iers/publications/tn/tn29/>

Vapor de agua atmosférico calculado desde los productos troposféricos de SIRGAS y datos meteorológicos. Caso de estudio: Uruguay, período 2013-2022

Integrated water vapor calculated from SIRGAS tropospheric products and meteorological data. Study case: Uruguay, period 2013-2022

Camisay, María Fernanda^{1,2,3} ; Mackern, María Virginia^{1,2,3} ; Mateo, María Laura^{1,2} y Rosell, Patricia Alejandra^{1,2,3}

¹Universidad Juan Agustín Maza. Facultad de Ingeniería y Enología; Argentina

²Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería; Argentina

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Argentina

DOI: <https://doi.org/10.59872/icu.v7i9.431>

Correo de correspondencia: fernandacamisay@gmail.com

Recepción: 21/06/2023; Aceptación: 07/12/2023;

Publicación: 20/12/2023

Palabras claves: Vapor de agua integrado; GNSS; retardo cenital troposférico; SIRGAS; observaciones meteorológicas

Keywords: IWV; GNSS; ZTD; SIRGAS; meteorological observations

Resumen

SIRGAS, Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, nació como un proyecto colaborativo de diferentes países latinoamericanos, con el objetivo de establecer un único sistema de referencia con los mayores estándares de calidad. La realización actual de SIRGAS es una red de estaciones GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de funcionamiento continuo con coordenadas de alta precisión y sus cambios a través del tiempo (velocidades), denominada SIRGAS-CON. Por tal motivo esta red geodésica, y sus densificaciones nacionales, son utilizadas principalmente en la materialización de los marcos de referencia y en diversas actividades vinculadas a la agrimensura.

Así mismo, estas redes GNSS han ampliado su objetivo principal de brindar solución al posicionamiento preciso de puntos y están siendo utilizadas para analizar otros fenómenos del sistema Tierra, como por ejemplo para monitoreo atmosférico. En esta línea surge la técnica de estimación del vapor de agua integrado (IWV) desde los retardos cenitales troposféricos (ZTD), sobre la señal GNSS. La misma ha sido muy estudiada en las últimas dos décadas y está siendo utilizada en diferentes regiones como una importante herramienta de apoyo a otras ciencias orientadas a la investigación del clima, análisis meteorológico y pronóstico.

En este trabajo se presenta la estimación de las series de vapor de agua desde observaciones GNSS a partir de registros meteorológicos de temperatura y presión atmosférica, y su comparación con las series calculadas utilizando variables

atmosféricas desde el modelo de reanálisis ERA5. El caso de estudio se centra en 16 estaciones de la red uruguaya REGNA-ROU, para un período de 9 años (de enero de 2013 a junio de 2022), en algunos casos el período es menor en función de la disponibilidad de las estaciones meteorológicas. Se muestra también un análisis estadístico realizado sobre las variables meteorológicas utilizadas.

Abstract

SIRGAS, Geocentric Reference System for the Americas, is a collaborative project of different Latin American countries, with the aim of establishing a single reference system with the highest quality standards. The current realization of SIRGAS is a network of continuously operating GNSS (Global Navigation Satellite System) stations with high-precision coordinates and their changes over time (velocities), named SIRGAS-CON. For this reason, this network, and their national densifications, have been used mainly in the materialization of reference frames and many activities related to surveying.

Furthermore, GNSS networks have expanded their main objective of providing precise positioning solutions and are being used to analyze other phenomena of the earth system, such as atmospheric monitoring. In this line, the Integrated Water Vapor estimation technique (IWV) arises from tropospheric zenith delays (ZTD), on the GNSS signal. It has been widely studied in the last two decades and is being used in different regions as an important support tool for other sciences towards climate research, meteorological analysis, and forecasting.

This paper presents an estimation of the integrated water vapor series from meteorological observations, temperature and atmospheric pressure, and its comparison with those calculated using atmospheric variables from the ERA5 reanalysis model. The case study focuses on 16 stations of the Uruguayan REGNA-ROU network, for a period of 9 years, from January 2013 to June 2022, in some cases the period is shorter depending on the availability of meteorological stations. A statistical analysis carried out on the meteorological variables used is also presented.

1. Introducción

La Geodesia, ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra, así como su campo de gravedad, ha incorporado a los sistemas globales de navegación satelital (GNSS) como una de sus técnicas principales para la determinación precisa de coordenadas en la superficie.

Inicialmente los receptores GNSS fueron utilizados para la determinación de redes geodésicas, realizando campañas de medición muy rigurosas, donde se ocupaban los sitios por varias horas de observación. A medida que se fueron instalando estaciones GNSS de observación continua fue posible, además, conocer cómo varía la posición de dichos sitios, determinando sus velocidades de desplazamiento, así como también se pudieron establecer marcos de referencia estables y consistentes entre los diferentes países.

En ese contexto SIRGAS, Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, nació como un proyecto colaborativo, con el objetivo de establecer un único sistema de referencia para los países americanos, con los mayores estándares de calidad. La realización actual de SIRGAS es una red de estaciones GNSS de funcionamiento continuo con coordenadas de alta precisión (asociadas a una época específica de referencia) y sus cambios a través del tiempo (velocidades de las estaciones), denominada SIRGAS-CON (<https://www.sirgas.org/es/sirgas-realizations/sirgas-con-network/>).

Por tal motivo la red SIRGAS-CON, y sus densificaciones nacionales, hace más de dos décadas que son utilizadas en la materialización de los marcos de referencia y en diversas actividades vinculadas a la agrimensura. En la actualidad no se concibe la existencia de un marco de referencia terrestre y sus densificaciones regionales sin la infraestructura geodésica de las estaciones permanentes GNSS, los centros de datos y los centros de análisis que procesan tal información. Así mismo, estas redes GNSS han ampliado su objetivo principal de brindar solución al posicionamiento preciso de puntos y están siendo utilizadas para analizar otros fenómenos del sistema Tierra, como por ejemplo para monitoreo geodinámico y atmosférico.

En esta línea surge la técnica indirecta de estimación del vapor de agua integrado (IWV) desde los retardos cenitales troposféricos (ZTD), sobre la señal GNSS [Davis, *et al.*, 1985]. La misma ha sido muy estudiada en las últimas décadas [Bevis *et al.*, 1992] y está siendo utilizada en diferentes regiones como una importante herramienta de apoyo a otras ciencias orientadas a la investigación del clima, análisis meteorológico y pronóstico.

Desde el 2014, SIRGAS ha implementado una estrategia para combinar los retardos troposféricos estimados por los diferentes centros de análisis, en sus rutinas operacionales semanales. Los parámetros cenitales obtenidos desde la combinación semanal que realiza el Centro de Análisis de Atmosfera Neutra, operado desde el Centro de Ingeniería Mendoza Argentina (CIMA), conformado por los investigadores de este trabajo, son considerados como «productos troposféricos finales de SIRGAS» [Mackern *et al.*, 2022], y se publican semanalmente (<https://sirgas.ipgh.org/n/products/tropospheric-delays/>).

Existen varios antecedentes referidos al uso de estaciones GNSS para la estimación de IWV en América del Sur. Bianchi *et al.* (2016) presentan la estimación del IWV medio y sus tendencias, basados en datos GNSS del 2007 al 2013, en más de cien estaciones SIRGAS-CON (estaciones SIRGAS de operación continua). Mackern *et al.* (2020), presentan la estrategia de cálculo de los productos finales de ZTD de SIRGAS y el cálculo de IWV desde tales productos y variables atmosféricas del modelo ERA-Interim, validando los mismos respecto a 10 sitios de radiosondeo distribuidos en América. Evaluando tales variables en Argentina, en Morichetti *et al.* (2018) se presentaron los primeros análisis del IWV, basados en la estimación del ZTD de SIRGAS, en 11 estaciones de la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC), desde la mirada comparativa de distintas zonas climáticas. Dichos resultados muestran el gran potencial que ofrece esta técnica, ya que permite conocer y monitorear en forma indirecta la variable atmosférica IWV, sin costos adicionales observacionales de instrumental.

Analizando aplicaciones de estos productos troposféricos, en Camisay *et al.* (2020), se muestra como la aparición de un aumento en los valores de IWV (anomalías positivas de IWV) precede a tormentas con abundante precipitación sobre el centro-oeste de Argentina. Este tipo de análisis ha contribuido al conocimiento de los factores atmosféricos involucrados en el desarrollo de procesos de convección regional, y cómo es posible aplicar este tipo de monitoreo en el desarrollo de planes de contingencia en la región.

En este trabajo se presenta la metodología de cálculo del IWV aplicada desde CIMA, utilizando los productos troposféricos finales de SIRGAS y su combinación con variables extraídas del modelo de reanálisis ERA5 [Hersbach *et al.*, 2020]. Se propone una metodología alternativa de cálculo del IWV, reemplazando los datos de ERA5, por registros de temperatura y presión atmosférica de estaciones meteorológicas de superficie (MET) y se comparan tanto las series de datos como de productos de IWV. El caso de

Tabla 1: Estaciones GNSS y MET utilizadas en el estudio

EST. GNSS	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (m)	EST. MET	Dist. (km)	Disponibilidad		
						Desde	Hasta	Años
UYMO	-34.88832	-56.25988	158.09	Prado	5	1/1/2013	31/12/2021	9
UYLP	-34.65570	-54.14210	20.12	Rocha	23	1/1/2013	31/12/2021	9
UYFS	-33.51598	-56.88690	165.53	Durazno	34	1/1/2013	31/12/2021	9
UYSO	-33.26126	-58.01362	80.76	Mercedes	5	1/1/2013	31/12/2021	9
UYIF	-34.94599	-55.93275	55.9	Carrasco	14	1/1/2013	31/12/2021	9
UYPA	-32.29125	-58.06719	71.85	Paysandú G3	10	1/1/2013	31/12/2021	9
UYCO	-34.46299	-57.83538	49.33	Colonia G3	6	6/11/2014	31/12/2021	7
UYSA	-31.37517	-57.95978	79.04	Salto G3	7	14/07/2016	31/12/2021	5
UYPT	-32.80056	-56.50982	91.12	Paso de los Toros G3	0.6	14/07/2016	31/12/2021	5
UYRO	-34.00101	-53.55483	58.98	EMA-CHUI	33	16/08/2016	31/12/2021	5
UYTT	-33.24130	-54.38036	68.94	Treinta y Tres G3	6	4/12/2019	31/12/2021	2
UYTA	-31.68307	-55.93753	186.99	Tacuarembó G3	5	4/12/2019	31/12/2021	2
UYRI	-30.89576	-55.55911	251.58	Rivera G3	11	27/04/2020	31/12/2021	1.5
UYLA	-34.36278	-55.24879	148.35	Lavalleja G3	15	30/07/2020	31/12/2021	1.5
UYCL	-32.36574	-54.21403	134.67	Melo G3	2	1/10/2020	31/12/2021	1
UYAR	-30.41175	-56.49068	146.46	Artigas G3	2	8/10/2020	31/12/2021	1

Obtenidos los registros meteorológicos, se generó un archivo por estación que contiene presión atmosférica (P) en hPa, referida al nivel medio del mar y temperatura (Tem) del aire al abrigo meteorológico en °C, medida a 1,50 m de la superficie del terreno donde se encuentra cada estación.

Dado que los registros de INUMET originales tenían la referencia de tiempo en fecha gregoriana (año, mes, día) y hora local (UTC-3), para el cálculo de las series de vapor fue necesario transformarlos a año y décima de año, y la hora fue referida a Tiempo Universal Coordinado (UTC), aplicando Hora local + 3hs. En la Tabla 1 se sintetiza la disponibilidad de datos por cada estación, utilizados en este trabajo.

2.2 Análisis de los registros meteorológicos

2.2.1 Determinación de valores medios, máximos, mínimos y outliers

Se determinaron para cada estación y cada variable, el valor medio, máximo y mínimo (Fig. 2 y Fig. 3), considerando la muestra completa del período estudiado. El objetivo de este primer análisis fue detectar valores anómalos o atípicos.

Se obtuvieron para las 16 estaciones analizadas valores similares, lo cual responde a que las mismas se encuentran en una región climática similar, correspondiente a clima templado conforme a Peel *et al.* (2007).

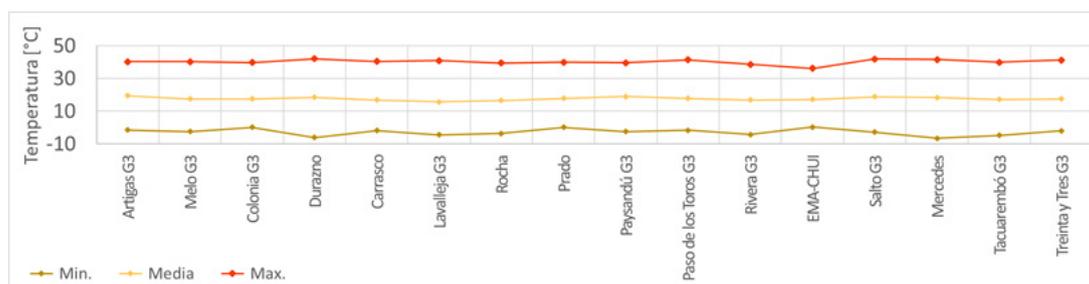


Figura 2: Temperaturas máximas, medias y mínimas por estación MET.

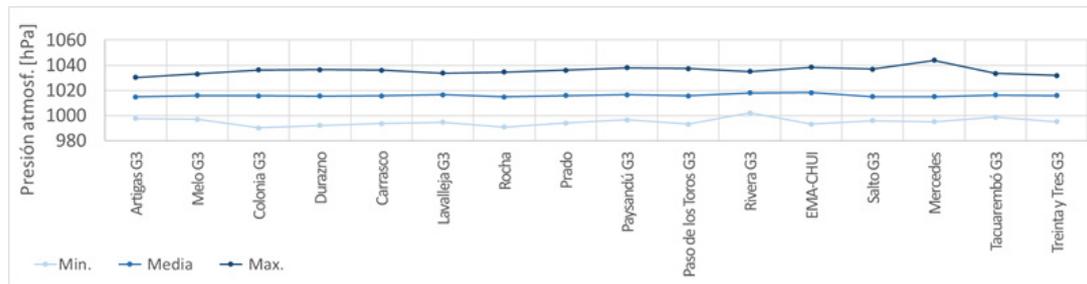


Figura 3: Presión atmosférica máxima, media y mínima por estación MET.

Comparando los indicadores estadísticos de P (Fig. 3) se identificaron dos posibles valores anómalos. En la estación de Rivera G3 la P mínima (1001.9 hPa) es un poco mayor que los mínimos del resto de las estaciones (Pmin promedio=995.0 hPa) y en la estación Mercedes, el valor de P máximo (1044 hPa) es un poco mayor que el máximo del resto de las estaciones (Pmax promedio= 1035.7 hPa).

Para estas dos estaciones mencionadas se procedió a realizar un análisis más detallado de los datos, para ambas variables meteorológicas, como también la detección y filtrado de valores atípicos o outliers. Se utilizó el método estadístico de diagrama de cajas por cuartiles (boxplot). En el diagrama, la caja comienza en el primer cuartil Q1 (25%) y termina en el tercero Q3 (75%), por lo que la misma representa el 50% de los datos centrales. La línea central de la caja es la mediana Q2 (50%). Se consideran outliers aquellos valores menores al bigote inferior ($Q1 - 1,5 * IRQ$) o mayores al bigote superior ($Q3 + 1,5 * IRQ$), siendo IRQ el rango intercuartil ($Q3 - Q1$).

En la estación Rivera G3, el valor mínimo de P fue detectado como outlier, al igual que en la estación Mercedes, el valor máximo de P. En la Tabla 2 se detallan los indicadores estadísticos resultantes y la cantidad de valores que fueron excluidos. En ambos casos el porcentaje de valores excluidos no superó el 0.5% con respecto al total de observaciones.

Tabla 2: Elementos descriptivos del Diagrama de cajas, sobre las estaciones Mercedes y Rivera G3, que presentaron valores muy alejados (considerados Outliers).

	Mercedes Tem	Rivera G3 Tem	Mercedes P	Rivera G3 P
Q1-1.5*IRQ	-2.3	-2.2	998.1	1003.0
Q2	18.4	17.0	1014.5	1017.7
Q3+1.5*IRQ	39.0	36.2	1031.2	1032.5
Observaciones	67663	19108	67663	19108
Outliers	115	73	351	46
% de Outliers	0.2	0.4	0.5	0.2

2.2.2 Análisis de variabilidad anual

Para poder conocer un poco más sobre la variabilidad anual de estos parámetros meteorológicos en la región de estudio, se calcularon valores promedio mensuales de Tem y P, para cada estación, considerando el total de la serie. Se utilizaron librerías de estadística del lenguaje R. Se muestran a modo de ejemplo los valores medios mensuales de Tem (Fig. 4) y de P (Fig. 5), correspondientes a las estaciones Artigas G3 (al Norte del área de estudio), Prado (al Sur), EMA-CHUI (al Este) y Paysandú G3 (al Oeste). Se pueden apreciar en ambas variables, una similitud en todas las estaciones, tanto en el ciclo anual como en la amplitud del mismo.

El máximo de Tem (mínimo de P) se observa en los meses de verano (diciembre, enero, y febrero) y los mínimos de Tem (máxima de P) en los meses de invierno (junio, julio y agosto). Resultando 13 °C la amplitud media anual de Tem, calculada como la diferencia entre los valores máximo (24 °C) y mínimo (11 °C) promedio para las 16 estaciones consideradas en este estudio.

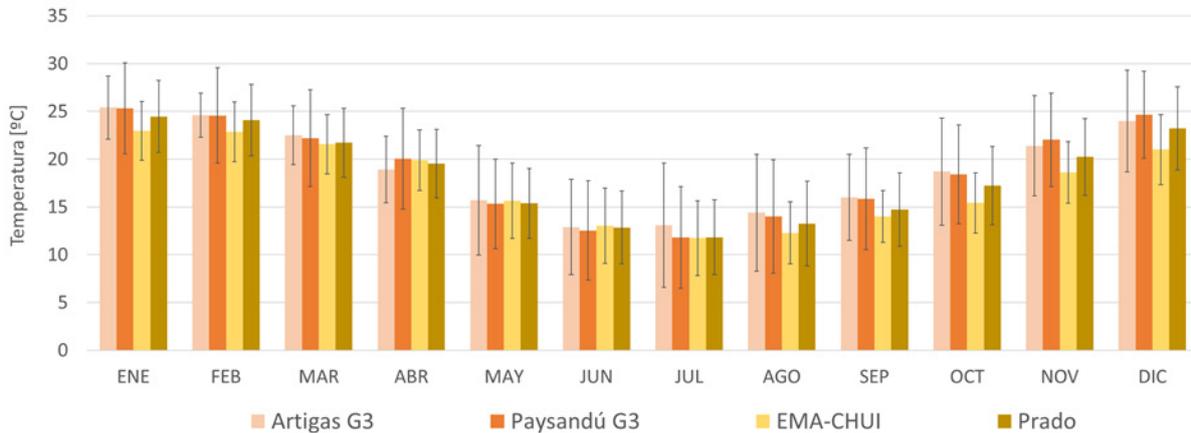


Figura 4: Valores medios mensuales de temperatura y desvío estándar [°C].

La amplitud media anual de P resultó en 8 hPa, diferencia entre el máximo (1020 hPa) en julio y mínimo (1012 hPa) en enero.

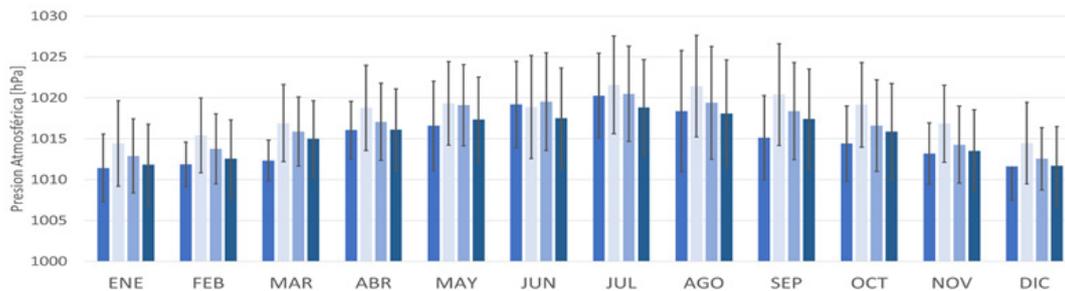


Figura 5: Valores medios mensuales de Presión atmosférica y desvío estándar [hPa].

Se calcularon también los desvíos estándar por mes en cada estación, como un indicador de la variabilidad diaria (ver barras de error en Fig. 4 y 5). Para el caso de la Tem las estaciones presentaron un desvío estándar mensual entre 3 y 6 grados (entre el 1 y 2 % del valor medio de Tem), siendo este un indicador de la amplitud térmica en la región. Resultando los máximos valores de amplitud térmica, en los meses de invierno (julio y agosto) y de verano (diciembre y enero). Para el caso de la P el desvío estándar mensual, resultó variable entre 3 y 7 hPa (0,4 al 0,6 % del valor medio de P), correspondiendo los máximos desvíos a los meses de invierno (junio, julio y agosto).

2.2.3 Comparación de los registros meteorológicos con datos de ERA5

Un control externo de los datos de Tem y P se realizó utilizando las correspondientes variables extraídas del modelo de reanálisis ERA5 disponibles desde Copernicus Climate Data Store (<https://cds.climate.copernicus.eu/>), el cual dispone de una resolución temporal horaria y espacial de 30 km. En este caso se dispuso, para la ubicación de cada una de las estaciones GNSS, los valores de ambas variables, en el periodo analizado. Los datos del modelo ERA5, se extrajeron desde el correspondiente nodo (del modelo) más cercano a la estación GNSS (no se realizaron interpolaciones). La posición de las estaciones es la indicada por las coordenadas especificadas en la Tabla 1. Las variables empleadas del reanálisis ERA5 fueron «2m temperature» (designada $T_{m, ERA5}$) y «Mean sea level pressure» (designada P_{ERA5}), ver Tabla 3. Estos datos se extrajeron del producto «ERA5 hourly data on single levels from 1950 to present» (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>)

Tabla 3: Descripción de los parámetros extraídos del reanálisis ERA5.

Variable	Descripción
2m temperature	Es la temperatura del aire a 2m sobre la superficie de la tierra o mar. Es calculada por interpolación entre el modelo de nivel más bajo y la superficie de la Tierra, teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas. Está expresado en (K), la cual se puede convertir a grados Celsius (°C) sustrayendo 273.15°.

Mean sea level pressure

Es la presión de la atmósfera en la superficie de la Tierra, ajustada a la altura del nivel medio del mar.

Los mapas de este parámetro son utilizados para identificar sitios de baja o alta presión en sistemas meteorológicos, como ciclones y anticiclones. Las curvas de esta variable también indican la fuerza del viento (mientras más cercanas están las curvas de P se relaciona con vientos más fuertes).

La unidad en que se expresa es el hPa (1 hPa = 1 mb = 100 Pa).

Dado que no se disponía de la totalidad de datos en las estaciones MET, la comparación de variables se pudo realizar para las épocas que disponían de datos tanto en las estaciones MET (Tabla 1) como de ERA5.

Se calcularon las diferencias para cada variable, y se expresaron como diferencia relativa porcentual con respecto al valor medio mensual ($Tem_{Mensual}$, $\bar{P}_{Mensual}$) hallado para cada estación (Ec. 1 y 2). La Tem de estaciones MET, fue transformada a Kelvin ($^{\circ}C+273.15$).

$$Ec. 1 \quad Dif_Tem_{\%} = \frac{(Tem_{MET} - Tem_{ERA5}) \cdot 100}{Tem_{Mensual}}$$

$$Ec. 2 \quad Dif_P_{\%} = \frac{(P_{MET} - P_{ERA5}) \cdot 100}{\bar{P}_{Mensual}}$$

Finalmente se determinó un valor medio de las diferencias relativas para cada estación (bias) y se estimó su correspondiente error medio cuadrático (RMS) tanto para la comparación de Tem (Fig. 6) como de P (Fig. 7).



Figura 6: Diferencias relativas porcentuales de temperatura MET-ERA5.

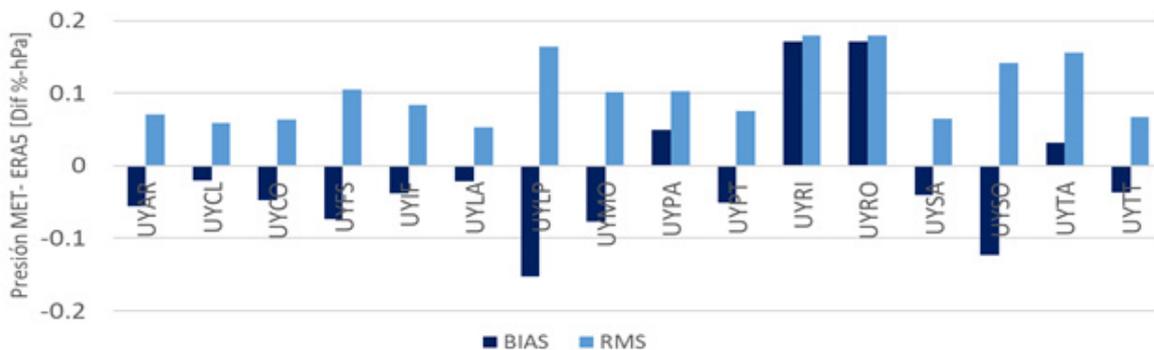


Figura 7: Diferencias relativas porcentuales de presión atmosférica MET-ERA5.

De la comparación de P, no se observaron diferencias (bias) significativas en ninguna de las estaciones. Las máximas diferencias encontradas en UYLP, UYRI, UYRO y UYSO, fueron inferiores al 0,18 %. La variabilidad de las diferencias (RMS) fue muy similar en todas las estaciones y no alcanzó a superar el 0,2%.

En la comparación de T_m , se observaron diferencias (bias) un poco más grandes, aunque en valores promedios por estación no resultaron significativas en ninguna de las estaciones. La máxima diferencia positiva (0,22 %) se observó en UYMO, mientras que las mínimas se encontraron en UYCO, UYLP, UYRI y UYTA, y fueron inferiores al -0,26 %. La variabilidad de las diferencias (RMS) en T_m , fue un poco mayor que en P , aunque no alcanzó a superar el 0,96% de la variable (siendo en 12 estaciones inferior al 0,6%).

A partir de este análisis, con control externo desde el modelo ERA5, como desde el control interno desde el análisis estadístico realizado, se pudo concluir que los registros MET disponibles para las 16 estaciones de la red INUMET seleccionadas, en general presentan muy pocos valores anómalos (los cuales fueron filtrados para el período utilizado). Por lo cual se decidió utilizarlos en el cálculo del IWV en cada estación y época donde se dispone del retardo cenital troposférico.

2.3 Cálculo del Vapor de Agua Integrado (IWV)

A partir de los productos finales de SIRGAS (ZTD_{SIR}) se calculó el IWV, en las estaciones GNSS seleccionadas (Fig. 1, círculos amarillos). Se aplicó el método de cálculo descrito en Rosell *et al.* (2023).

Cabe aclarar que el retardo cenital total (ZTD) viene determinado por la integral del índice de refracción del medio troposférico, a lo largo del camino recorrido por la señal GNSS. Hopfield, descompone la refractividad N en una componente seca (*dry*) y una componente húmeda (*wet*), donde la parte seca se debe a la atmósfera hidrostática y la parte húmeda al vapor de agua (Berné Valero J.L. *et al.*, 2014). Luego el ZTD, suele descomponerse en el retardo cenital seco o hidrostático (ZHD), y el retardo cenital húmedo (ZWD).

Fue necesario disponer de la presión (P_{GNSS}) referida a la altura de la estación GNSS (h_{GNSS}), para realizar el cálculo de la componente hidrostática del retardo (ZHD), Ec. 3.

$$Ec. 3 \quad ZHD = 0,002276738 \cdot \frac{P_{GNSS}}{1 - 0,00266 \cdot \cos(2\varphi) - 0,28 \cdot 10^{-6} \cdot h_{GNSS}}$$

La reducción de P desde la superficie de referencia al nivel de la altura elipsoidal de la estación GNSS, se realizó según Berg (1948), Ec. 4.

$$Ec. 4 \quad P_{GNSS} = P_{ref} * (1 - 0,0000226 \cdot (h_{GNSS}))^{5,225}$$

Otra variable requerida es la temperatura media de la columna atmosférica (T_m), la cual se calculó utilizando la expresión de Mendes (1999) en función de la Temperatura de superficie, T_s (Ec. 5), expresada en Kelvin (K).

$$Ec. 5 \quad T_m = 50,4 + 0,789 T_s$$

Finalmente se calculó el factor de proporcionalidad (Π) el cual multiplicado por la componente húmeda del retardo (ZWD), obtenida de sustraer ZHD al retardo cenital total, permitió obtener los correspondientes valores de IWV (Ec. 6).

$$Ec. 6 \quad IWV = \Pi \cdot ZWD = \Pi \cdot (ZTD - ZHD)$$

Reemplazando en la Ec 6, con las expresiones anteriores, se obtiene la relación completa de la Ec. 6.

$$IWV = \frac{10^5}{(22,9744 + \frac{375463}{T_m}) \cdot 0,4614991785} (ZTD - 0,002276738 \cdot \frac{P_{GNSS}}{1 - 0,00266 \cdot \cos(2\varphi) - 0,28 \cdot 10^{-6} \cdot h_{GNSS}})$$

En la cual, se requirió como dato para el cálculo del IWV por cada época (t_i), el ZTD_i , la P_{GNSS_i} y el correspondiente valor de T_{s_i} .

Estos parámetros se calcularon utilizando los datos de las estaciones MET y paralelamente se trabajó con las variables del modelo ERA5 para su validación. En los ítems siguientes se describen ambos cálculos.

3 Resultados

3.1 Vapor de Agua Integrado utilizando registros meteorológicos

Se obtuvieron las series de IWV, aplicando la Ec. 6 a los ZTD_{SIR} y utilizando como insumos los datos de T_m y P de las estaciones MET seleccionadas por cercanía a la correspondiente estación GNSS (Tabla 1). Estas variables fueron descritas en el ítem 2.1.2. Se obtuvo de esta forma las series temporales de IWV_{MET} en las 16 estaciones, como un primer resultado.

El limitante en este caso fue la disponibilidad de registros desde las estaciones MET (Tabla 1). Considerando que para el período de 9 años se disponía de una cantidad N de valores de ZTD_{SIR} para cada estación, se cuantificó en porcentajes con respecto a dicho tamaño muestral, la cantidad de parámetros IWV_{MET} determinados por cada estación (Tabla 4).

Tabla 4: Cantidad porcentual de parámetros IWV_{MET} con respecto a la cantidad muestral de parámetros troposféricos ZTD_{SIR} disponibles.

Disponibilidad de IWV_{MET}	Cantidad de estaciones
menos del 50 %	9
entre el 50 y el 75 %	4
entre el 75 y el 100 %	3

En la Figura 8, se muestran a modo de ejemplo, las series de IWV_{MET} (color azul) obtenidas en las 4 estaciones REGNA-ROU (UYAR, UYMO, UYRO y UYPA) localizadas en los extremos cardinales de la red uruguaya. Se puede apreciar como en el caso de UYAR sólo se disponen de valores de IWV_{MET} desde octubre del 2020 y en el caso de UYRO desde agosto del 2016 (limitados por la disponibilidad de registros MET).

3.2 Vapor de Agua Integrado utilizando valores de ERA5

Se obtuvieron para validación los valores de IWV , calculados aplicando la Ec.6 a los ZTD_{SIR} y utilizando como insumos los datos de T_{em} y P del reanálisis ERA5 descriptas en el ítem 2.2.3. A estos parámetros se los denominó IWV_{ERA5} . Se dispuso de esta forma de las series temporales para el período de 9 años (2013-2021).

En la Figura 8, se muestran a modo de ejemplo las series de IWV_{ERA5} (color rojo), para las mismas cuatro estaciones. Cabe mencionar que en este caso siempre se dispone de los valores de T_{em} y P , dado que su origen es un modelo. La falta de valores de IWV , en este caso, es consecuencia de faltantes del producto troposférico ZTD_{SIR} .

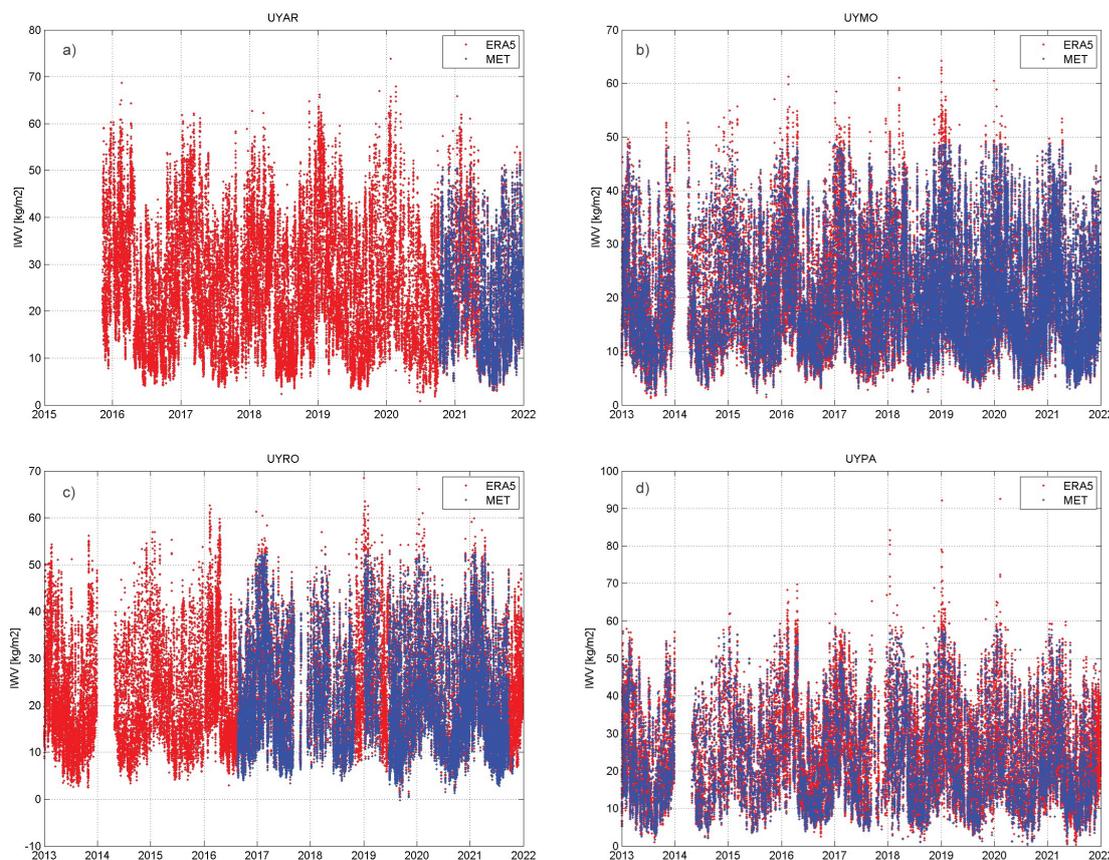


Figura 8: IWV_{MET} (azul) e IWV_{ERA5} (rojo). a) estación UYAR (localización Norte), b) estación UYMO (localización Sur), c) estación UYRO (localización Este) y d) estación UYPA (localización Oeste).

3.3 Validación del iwv obtenido desde registros meteorológicos

Considerando que los valores de IWV_{ERA5} han sido validados con respecto a estaciones de radiosondeo en diferentes regiones de América Latina (Mackern *et al.*, 2020), se tomaron como «valores de control», para evaluar los nuevos productos IWV_{MET} obtenidos en esta investigación. Se calcularon las diferencias del iwv para cada una de las épocas comunes (Ec. 7) del total del periodo.

$$Ec. 7 \quad Dif_IWV_{MET-ERA5} = IWV_{MET} - IWV_{ERA5}$$

Se calculó el valor medio de las diferencias (bias) en cada estación y su correspondiente error medio cuadrático (RMS) (Fig. 9). En promedio, las diferencias resultaron ser menores que $0,5 \text{ kg/m}^2$ (en el 88% de las estaciones). En las estaciones UYRI y UYRO se determinó un bias negativo más significativo ($-0,66$ y $-0,63 \text{ kg/m}^2$ respectivamente), el cual equivale al 3 % del valor medio de iwv ($21,3 \text{ kg/m}^2$) en tales ubicaciones. Respecto al RMS de las diferencias se determinó un valor medio de $0,4 \text{ kg/m}^2$, resultando las mismas estaciones con un RMS un poco mayor que el resto ($0,7 \text{ kg/m}^2$).

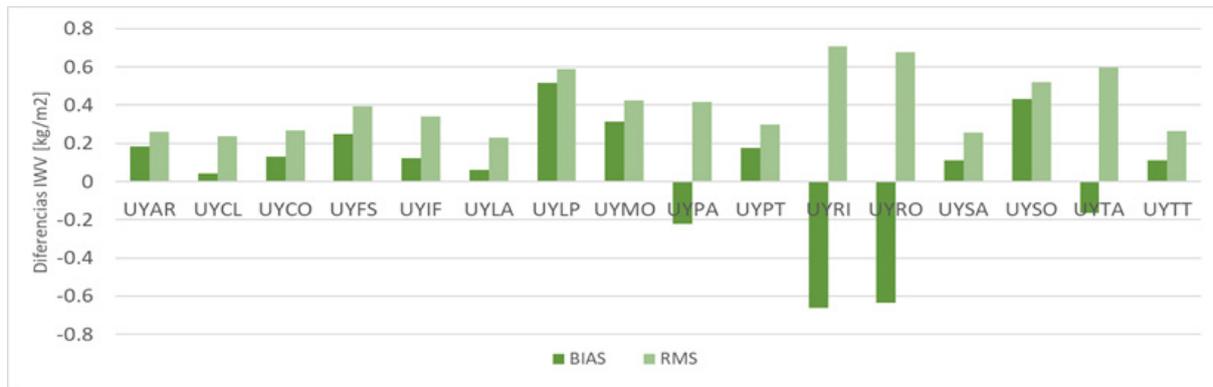


Figura 9: Valores medios (bias) y RMS de las diferencias $IWV_{MET} - IWV_{ERA5}$

Se realizó también un análisis de las diferencias máximas y mínimas encontradas a lo largo de todo el periodo estudiado, resultando valores similares en todas las estaciones (Fig. 10). La diferencia mayor, en valor absoluto, se registró en la estación UYPA (-7 kg/m^2), pero en las restantes 15 estaciones resultó menor a $\pm 5 \text{ kg/m}^2$.

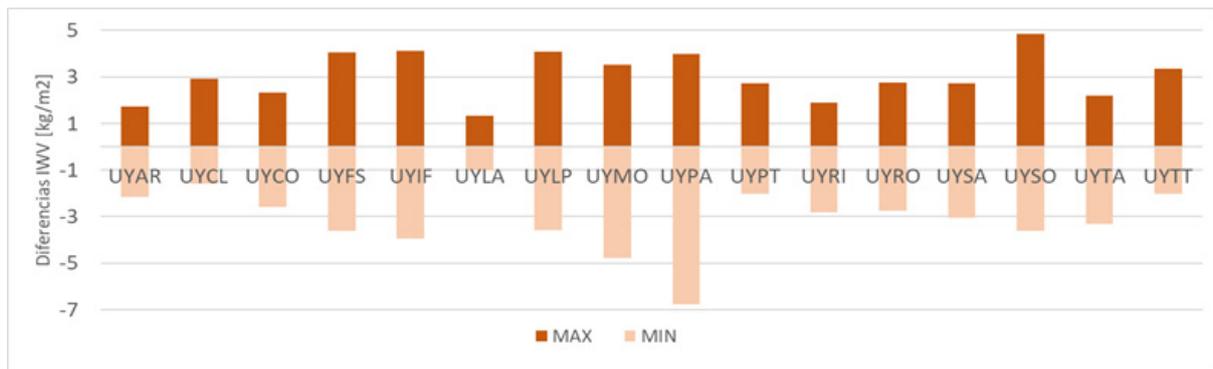


Figura 10: Máximos y mínimos de las diferencias $IWV_{MET} - IWV_{ERA5}$

Analizando la variabilidad de las diferencias, las mismas se mantienen relativamente constantes durante todo el período. No se aprecia un efecto sistemático dado por la influencia de la época del año.

Dado que las mayores diferencias del iwv, se encontraron en las estaciones UYRI, UYRO y UYPA, se decidió analizarlas en detalle. En la estación UYPA (Fig. 11) se observa el valor mínimo de $-6,75 \text{ kg/m}^2$, resultando las demás diferencias en su mayoría entre $\pm 1 \text{ kg/m}^2$. Resultados similares se obtuvieron en UYRI y UYRO.

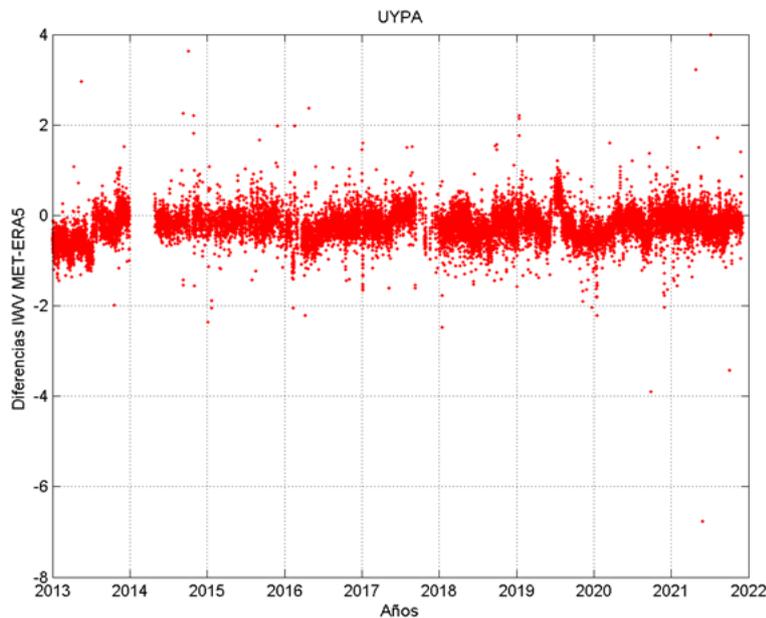


Figura 11: Diferencias IWV estimado con registros MET Y ERA5 [kg/m²], estación UYPA.

En la Figura 12, se presentan los histogramas correspondientes de las diferencias en UYRI y UYRO. Se observa el desvío hacia diferencias levemente negativas, resultando más del 98 % de las diferencias entre -1,25 y 0 kg/m².

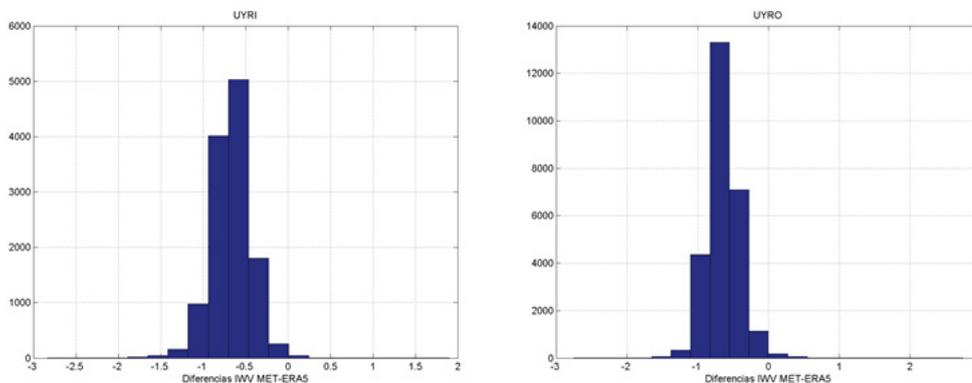


Figura 12: Histograma de las diferencias IWV_{ERA5} [kg/m²], estación UYRI y UYRO.

3.4 Valores medios mensuales de la variable IWV

Habiendo validado las series IWV_{MET} obtenidas con registros meteorológicos, se procedió a analizar la variabilidad anual en cada uno de los sitios. Se obtuvieron valores medios de IWV para cada mes del año, considerando el período completo, por cada estación. Tales valores se publican en la Tabla 5, resultando una contribución al conocimiento de esta variable en la región de estudio.

Tabla 5: Valores medios mensuales de IWV_{MET} para cada estación GNSS.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
UYAR	26.03	25.63	27.90	23.67	16.05	17.52	14.73	18.20	22.08	21.25	23.31	23.64
UYCL	26.98	29.12	28.75	21.67	16.08	17.13	13.23	17.46	20.14	19.83	22.90	22.97
UYCO	29.09	26.40	26.69	22.25	16.67	15.30	15.83	17.38	17.11	16.95	21.25	23.30

UYFS	28.43	28.04	25.34	24.54	19.05	17.81	17.18	15.38	18.16	20.06	21.92	23.53
UYIF	27.36	28.18	25.82	24.01	19.63	18.50	17.42	15.95	17.72	19.67	22.04	25.17
UYLA	25.66	19.15	26.47	20.48	15.27	16.34	11.48	18.49	17.44	18.15	19.97	21.04
UYLP	27.09	29.15	25.82	24.55	20.22	17.93	17.83	16.94	18.93	20.18	22.07	23.71
UYMO	25.77	26.70	23.65	21.60	18.11	15.96	15.98	14.85	16.65	18.35	20.55	21.86
UYPA	29.83	30.39	26.66	24.99	20.46	17.58	17.66	16.47	19.68	22.14	23.05	25.87
UYPT	30.87	28.89	25.86	23.60	19.60	17.22	17.08	16.38	17.78	20.87	22.15	24.93
UYRI	26.11	27.83	27.48	24.02	16.62	18.12	14.37	17.09	19.29	19.79	21.39	22.38
UYRO	27.11	28.52	25.73	24.42	19.55	18.22	17.21	16.30	19.51	17.85	20.57	21.35
UYSA	33.05	30.78	28.20	24.54	19.74	20.97	15.87	21.89	20.15	23.19	24.68	26.41
UYSO	30.20	30.16	27.08	25.37	21.30	18.18	18.48	17.49	19.88	22.32	24.14	25.80
UYTA	26.60	27.67	27.91	22.29	15.97	19.17	14.60	17.03	19.37	19.46	22.01	23.34
UYTT	27.19	30.78	28.75	22.21	15.68	17.30	13.38	11.93	16.89	19.08	22.71	23.52

Cabe mencionar que dichos promedios han sido calculados sobre los valores de IWV_{MET} y por tanto comprenden el período de registro disponible de las estaciones MET, en algunos casos corresponde a 9 años, pero en otros a un período menor (ver Tabla 1). La estación UYLA, por ejemplo, para el mes de febrero solo dispone de un año de datos (2021), razón por la cual dicho valor se encuentra afectado por las particularidades meteorológicas de ese año.

En la Figura 13, se muestran a modo de ejemplo, los valores medios mensuales de las 4 estaciones mostradas en los análisis anteriores (localizadas en los extremos del área de estudio, en los cuatro puntos cardinales). En todas las estaciones se observa el mismo comportamiento estacional del iwv, el cual disminuye en los meses más fríos del año (mayo, junio, julio y agosto). Se puede observar también, que la estación que presenta mayores promedios mensuales de iwv es UYPA, ubicada al oeste del país, zona litoral limítrofe con la Mesopotamia argentina.

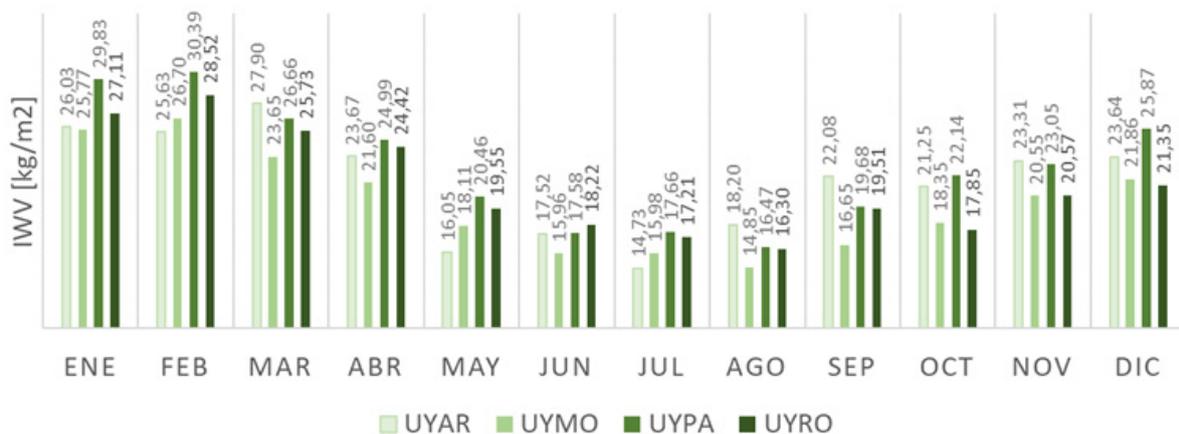


Figura 13: Valores medios mensuales de IWV_{MET} para las estaciones de UYAR, UYMO, UYPA, UYRO.

4. Discusión y Conclusiones

Se compararon las variables T_{em} y P medidas en estaciones MET con las correspondientes del modelo ERA5 en la localización de 16 estaciones distribuidas sobre Uruguay, para un periodo de 9 años. Las diferencias encontradas no fueron significativas. El RMS de las diferencias de P fue muy similar en todas las estaciones y no alcanzó a superar el 0.2% de la variable. En la T_{em} , el RMS de las diferencias fue un poco mayor que en P , aunque no alcanzó a superar el 0,96% de la variable, siendo en 12 estaciones inferior al 0,6% de la T_{em} media de la región.

Se concluyó que las variables T_{em} y P de ERA5 representan muy bien la variabilidad en las estaciones analizadas. Las diferencias máximas y mínimas podrían deberse a eventos extremos y/o amplitudes térmicas diarias, no modelados con suficiente detalle por ERA5. En futuras investigaciones se procederá a analizar en particular las diferencias ocurridas previas, durante y posteriores a eventos meteorológicos documentados en la zona.

Respecto a las diferencias entre las series de IWV estimadas desde estaciones MET, y las correspondientes calculadas con datos de P y T_{em} de ERA5, no se observaron efectos sistemáticos con respecto a la época del año. Se obtuvo una diferencia promedio que se mantuvo durante todo el período analizado, menor que $0,5 \text{ kg/m}^2$ en el 88% de las estaciones. Sólo en dos estaciones (UYRI y UYRO) se obtuvieron diferencias negativas mayores, con valores medios de $-0,66$ y $-0,63 \text{ kg/m}^2$ respectivamente, indicando que los valores de IWV_{ERA5} están sobrevalorando el vapor con respecto a los calculados utilizando observaciones meteorológicas. Los valores máximos y mínimos de las diferencias de IWV, fueron menores a $\pm 5 \text{ kg/m}^2$, en el 94% de las estaciones. Como tarea futura se espera poder analizar dichas diferencias puntualmente, evaluando si puede corresponder a eventos meteorológicos extremos que el reanálisis ERA5 no está modelando.

Otra posible causa de estas diferencias encontradas en UYRI y UYRO puede deberse a la reducción de la presión atmosférica aplicada en el cálculo del IWV_{ERA5} , ya que se considera el valor de presión atmosférica (referida al nivel del mar) en el nodo más cercano a la estación GNSS y se corrige por la altura de la misma (h_{GNSS}). Cabe aclarar que la estación UYRI es el sitio con mayor altura dentro de los analizados en este estudio, por lo cual la corrección mencionada podría estar sobreestimando el valor del vapor, coincidiendo con los resultados publicados por Van Dam *et al.* (2010).

Para el caso de la estación UYRO, los valores meteorológicos utilizados para el cálculo del IWV_{MET} corresponden a una estación meteorológica ubicada a 33 km de la estación GNSS, por lo cual dichos datos podrían no estar caracterizando fielmente los valores del sitio. Cabe aclarar que la mayor distancia al nodo más cercano de ERA5 puede ser $\approx 22 \text{ km}$, lo cual en el caso de UYRO resultaría más cercano que la estación MET disponible.

Las diferencias encontradas permiten concluir que las estimaciones IWV desde estaciones MET, podrían contribuir a los modelos numéricos del clima (NWP), ya que cumplen con los estándares en cuanto a la precisión (5 kg/m^2) en los productos atmosféricos, establecida por Dousa, J. and Vaclavovic, P. (2014).

Los valores medios mensuales de IWV se han calculado para cada estación, incluyendo un período de 9 años. Cabe aclarar que en Uruguay no se disponen de mediciones clásicas de vapor de agua desde radiosondeos, razón por la cual estas estimaciones resultan un significativo aporte a la investigación climatológica sobre la región.

Del análisis de la variabilidad anual, se observa que es muy similar en las diferentes estaciones, por estar ubicadas en una misma zona climática. Sin embargo, se ha podido encontrar una pequeña diferencia entre las estaciones costeras (UYRO, UYLP y UYIF) y las estaciones mediterráneas (UYPT, UYPA, UYFS). En los meses de primavera y verano (septiembre a febrero) las estaciones continentales presentan entre 1 y 2 kg/m^2 más que las estaciones costeras, en sus valores de vapor medio mensual. Durante el invierno, por contrario, se observa un leve aumento del vapor en las estaciones costeras, coincidente con un aumento de precipitaciones en la costa rochense, reportado por Barreiro *et al.*, 2019.

En el futuro se ha previsto realizar una investigación similar, abarcando estaciones GNSS de la red SIRGAS-CON, de otras regiones climáticas, considerando principalmente diferentes latitudes y variabilidad respecto a la altura sobre el nivel del mar.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen la tarea silenciosa de los responsables de las estaciones GNSS, de los centros de datos y de análisis SIRGAS, sin los cuales esta investigación no hubiera sido posible. En especial se agradece al centro de análisis de atmósfera neutra, CIMA (Centro de Ingeniería Mendoza Argentina, UNCuyo-UMaza) quienes calculan semanalmente y brindan públicamente los productos troposféricos de las estaciones de SIRGAS, que se utilizaron en esta investigación.

Los datos utilizados de estaciones MET fueron proporcionados por INUMET y los datos de ERA5 fueron proporcionados por ECMWF. Se agradece a ambas instituciones.

Referencias Bibliográficas

- Barreiro M., Arizmendi F. Y Trinchin R. (2019). Variabilidad observada del clima en Uruguay. Proyecto: «Fortalecer las capacidades de Uruguay para la adaptación al cambio climático en la zona costera». <https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/Producto-2.pdf>
- Berné Valero J.L., Anquela Julián A.B., Garrido Villén N (2014). *GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Berg H. (1948) *Allgemeine Meteorologie*. Dümmler's Verlag, Bonn, p 337.
- Bevis M., Businger S., Herring T A, et al (1992) GPS meteorology: remote sensing of the atmospheric water vapor using the global positioning system. *J Geophys Res* 97:15787-15801.
- Bianchi, C.E., Mendoza, L.P.O., Fernández, L.I., Natali, M.P., Meza, A.M., Moirano, J.F., (2016). Multi-year GNSS monitoring of atmospheric IWV over Central and South America for climate studies. *Ann. Geophys.* 34, 623-639.
- Boehm, J., Niell, A.E., Tregoning, Paul and Schuh, H. (2006). Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data. *Schuh Geophys. Res. Lett.* 25. 10.1029/2005GL025546.
- Camisay, M.F., J.A. Rivera, M.L. Mateo, P.V. Morichetti, M.V. Mackern, (2020). Estimation of integrated water vapor derived from Global Navigation Satellite System observations over Central-Western Argentina (2015-2018). Validation and usefulness for the understanding of regional precipitation events, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Volume 197*, 2020, 105143, ISSN 1364-6826, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.105143>.
- Davis, J.L., Herring, T.A., Shapiro, I., Rogers, A.E., Elgened, G., (1985). Geodesy by Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Base Line Length. *Radio Sci.*, vol. 20, 1593-1607
- Dousa, J. and Vaclavovic, P. (2014) Real-time zenith tropospheric delays in support of numerical weather prediction applications, *Adv. Space Res.*, 53, 1347-1358, doi:10.1016/j.asr.2014.02.021.
- Hersbach, H, Bell, B, Berrisford, P, et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.*; 146: 1999- 2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Mackern M.V., Mateo M.L., Camisay M.F., Rosell P.A. (2022). Quality control of SIRGAS ZTD products. *Journal of Geodetic Science* 2022, 12: 1-13. En prensa, aceptado 8 de Septiembre 2022. <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0136>
- Mackern M.V., Mateo M.L., Camisay M.F., Rosell P.A., Weidemann T., Gonzalez Romo A. (2021). Análisis del modelo de cálculo utilizado para obtener el vapor de agua troposférico desde los retardos en la señal GNSS. *Revista ICU, Vol 5(N°6)*. ISSN: 2525-1783 <http://revistas.umaza.edu.ar/index.php/icu/article/view/344/260>
- Mackern M.V., Mateo M.L., Camisay M.F., Morichetti P.V. (2020) *Tropospheric Products from High-Level GNSS Processing in Latin America*. International Association of Geodesy Symposia. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/1345_2020_121
- Mendes, V.B. (1999) *Modeling the Neutral-Atmosphere Propagation Delay in Radiometric Space Techniques*, (Ph.D. dissertation). Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No 199, Univ. of New Brunswick, Canada.
- Morichetti P., Mackern M.V., Camisay M.F., Mateo M.L. (2018) *Aportes desde la red de estaciones SIRGAS-CON a la meteorología*. 3° Encuentro Nacional de Investigadores de Agrimensura. Universidad de Nacional de Catamarca, Junio 2018. Libro, Trabajos Completos, ISBN 978-987-661-281-4.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Rosell, P.A, Mackern Oberti, M.V., Rivera, J, Euillades, P.A., (2023). 10-Year assessment of GNSS integrated water vapour in the SIRGAS network, *Journal of South American Earth Sciences. Volume 130*, 104539, ISSN 0895-9811, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104539>.
- Van Dam, T., Z. Altamimi, X. Collilieux, and J. Ray (2010), Topographically induced height errors in predicted atmospheric loading effects, *J. Geophys. Res.*, 115, B07415, doi:10.1029/2009JB006810

Aportes al análisis y cálculo del ZTD en base a redes geodésicas y modelos atmosféricos

Assessment of ZTD derived from geodetic networks and atmospheric models

Rosell, Patricia Alejandra^{1,2,3}; Mackern, María Virginia^{1,2,3}; Euillades, Pablo Andrés^{1,3}

¹Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería. Instituto CEDIAC; Argentina

²Universidad Juan Agustín Maza. Facultad de Ingeniería y Enología; Argentina

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); Argentina

DOI: <https://doi.org/10.59872/icu.v7i9.436>

Correo de correspondencia: patricia.rosell@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Recepción: 28/06/2023; Aceptación: 15/11/2023;

Publicación: 20/12/2023

Palabras claves: GNSS; Retardo cenital troposférico; ERA5;

SIRGAS; Series temporales

Keywords: GNSS, ZTD, ERA5, SIRGAS, Time series

Resumen

Cuando la señal GNSS atraviesa masas de vapor de agua (WV), la velocidad de propagación disminuye generando un retardo en el camino que recorre el pulso. El centro de atmósfera neutra de SIRGAS calcula estos productos desde el 2014, desde la combinación de parámetros troposféricos de cada Centro de Análisis. En este trabajo se presenta un análisis del ZTD, realizado en base a los productos troposféricos de la red SIRGAS-CON. Se propone un método alternativo para su cálculo en base al modelo atmosférico de reanálisis ERA5. La validación de los retardos calculados fue realizada con respecto a los ZTD de SIRGAS, en 382 estaciones, mostrando diferencias de hasta 1.5 cm, mientras que en sitios de altura las diferencias se incrementaron hasta los 5 cm. En la mayoría de los casos el desvío estándar fue menor que 2 cm. Aun así, en este trabajo, se muestran las capacidades de ERA5 para proporcionar retrasos troposféricos en áreas con baja densificación GNSS.

Abstract

The presence of water vapour (WV) in the neutral atmosphere generates a delay in the path of the GNSS signal known as Zenith Total Delay (ZTD). The Analysis Centre for the Neutral Atmosphere from the SIRGAS Network estimates this product since 2014 as the combination of the tropospheric products of each analysis centre. This work presents an assessment of the spatiotemporal behaviour of the ZTD obtained from the SIRGAS geodetic network. We also propose an alternative method for its calculation using the ERA5 model. The validation of this method was made for 382 sites concerning the SIRGAS ZTD. The differences between the data reach 1.5 cm whilst, for sites in elevated areas, the difference increases up to 5 cm. In most of the cases, the standard deviation is less than 2 cm. With this work, we prove the capabilities of ERA5 for providing tropospheric delays to areas with low GNSS densification.

1. Introducción

La determinación del retardo de la señal GNSS a causa de la atmósfera surge por la necesidad de lograr alta precisión en el cálculo de coordenadas geodésicas. A causa del error de refracción que genera la presencia de la atmósfera, el camino que sigue la señal electromagnética sufre una desviación que curva la señal hacia la Tierra, la cual depende del ángulo de observación al objeto. La desigual distribución de constituyentes de la atmósfera genera que la señal de cada satélite sea observada por un receptor GNSS con una desviación distinta según la ubicación relativa satélite-receptor. Esta desviación es máxima si la dirección satélite-receptor está cercana al horizonte y mínima en el cenit, por lo tanto, el retardo de la señal será mayor a medida que el satélite se acerca al horizonte (Yao *et al.*, 2016). A fin de reducir las observaciones a una única dirección, se utiliza una función de mapeo, la cual permite proyectar las observaciones a la dirección cenital.

El retardo proyectado en la dirección del cenit del sitio de observación, también llamado Retardo Cenital Troposférico (ZTD por sus siglas en inglés: *Zenith Total Delay*), se le puede considerar como la suma de dos componentes, relacionadas directamente con el aire seco y con el vapor de agua (Zebker *et al.*, 1997). Existen diversas funciones de mapeo para la obtención del ZTD, siendo algunas la Función de Mapeo de Hopfiel (Hopfiel, 1969), Chao (Chao, 1972), Baby (Berrada Baby *et al.*, 1988), Herring (Herring, 1992), Isobaric Mapping Function (Niell, 2001), Vienna Mapping Function (Boehm *et al.*, 2006a) y Global Mapping Function (Boehm *et al.*, 2006b).

En este sentido, desde el 2014, se extraen como parámetros adicionales para su posterior análisis, los valores de ZTD, en cada estación de la red geodésica SIRGAS. Estos parámetros se estiman durante el proceso de cálculo, para lograr las precisiones requeridas dentro de los estándares internacionales. Estos retardos surgen de un procesamiento riguroso con software científico y de un ajuste ponderado (Mackern *et al.*, 2022). Han sido validados con respecto a radiosondeos y retardos troposféricos estimados por el International GNSS Service (IGS) (Mackern *et al.*, 2020). La red SIRGAS-CON se extiende en un amplio territorio, cubriendo la gran mayoría del continente americano y está en constante proceso de densificación hacia el interior de los países de la región.

Dado que el retardo que sufre la señal se debe, en gran medida, a la distribución de masas de vapor de agua concentrada en las capas bajas de la tropósfera (Bevis *et al.*, 1992; Jacobson, 2005; Wallace, 2006), es de esperar que el ZTD presente un comportamiento que responda a la distribución espacial y temporal de dicha variable. Es por lo que, en este trabajo, se han analizado las series de tiempo del ZTD, para un periodo de 8 años (2014-2021), en 382 estaciones, con el objetivo de mostrar cómo es el comportamiento y distribución del ZTD a lo largo de América del Sur, Centro y Caribe. Se ha analizado su variabilidad con la latitud y con la altura del sitio.

Como segundo aporte, considerando que aún hay amplias áreas no cubiertas por estaciones GNSS en el continente, se propone en este trabajo, un método alternativo de cálculo del ZTD desde el modelo de reanálisis atmosférico ERA5 y se presenta su validación, con respecto a los productos troposféricos disponibles en las estaciones SIRGAS-CON seleccionadas. Esta validación se ha realizado sobre la comparación de un año de parámetros, el año 2018.

2. Datos y metodología

2.1 Productos troposféricos de SIRGAS

Los retardos cenitales troposféricos son calculados por el Centro de Análisis SIRGAS para la Atmósfera Neutra, para cada una de las estaciones GNSS que componen la red SIRGAS-CON, las cuales se encuentran heterogéneamente distribuidas en todo América. Tales productos troposféricos de SIRGAS (ZTD_{SIR}) se encuentran disponibles en el sitio web oficial (<https://sirgas.ipgh.org/productos/retrasos-troposfericos/>). Para este trabajo se han utilizado los ZTD_{SIR} correspondientes a estaciones que presentaban un mínimo de tres años de productos, en el periodo comprendido entre el 2014 y 2021, resultando seleccionados 382 sitios (Figura 1).

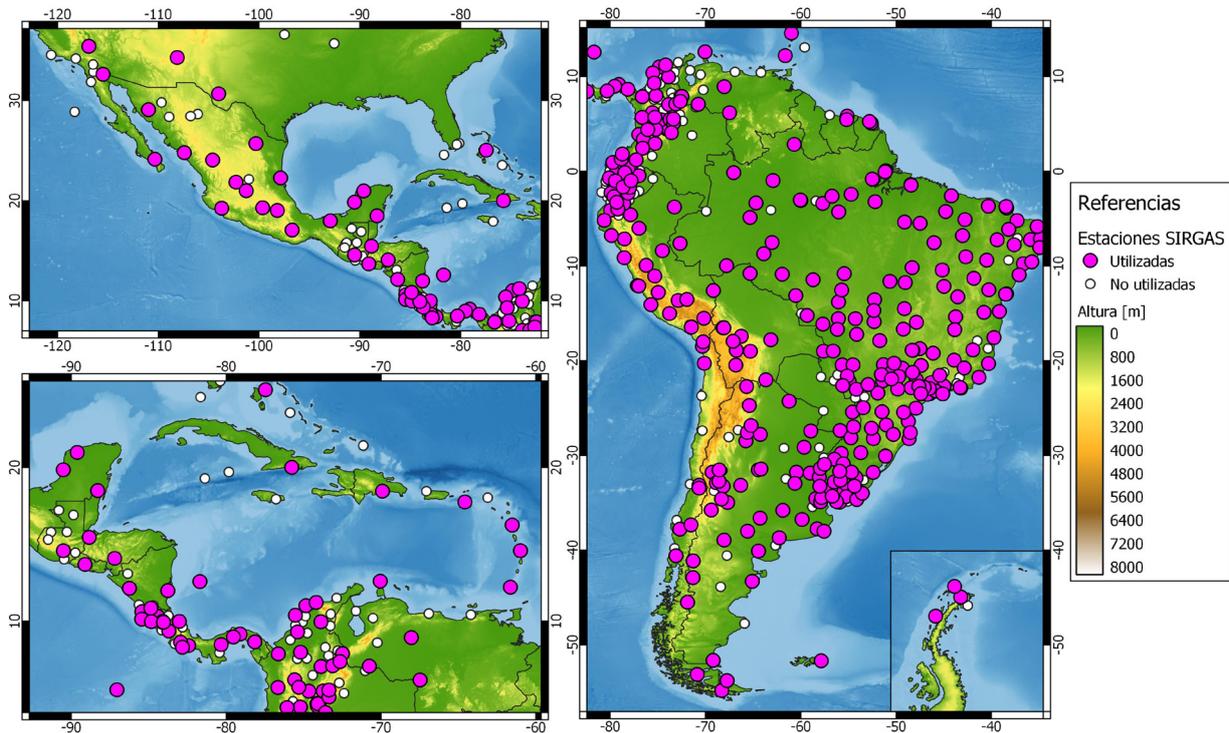


Figura 1. Distribución de estaciones SIRGAS a abril del 2021. Las estaciones utilizadas se indican con puntos rosas y las no utilizadas con puntos blancos.

2.2 Metodología de cálculo del ZTD desde ERA5

La distribución actual de estaciones de la red SIRGAS se presenta, en algunas áreas, con muy baja densidad de estaciones GNSS. Por otro lado, es común encontrar discontinuidades en las series temporales del ZTD_{SIR} en algunos sitios. Por estas dos razones, se propuso un método alternativo de cálculo del ZTD, desde datos de modelos atmosféricos, aplicando el camino opuesto al utilizado en Mackern, *et al.*, (2020) para la determinación de vapor de agua. Para este trabajo, el vapor de agua es un dato obtenido del modelo, al igual que la temperatura y presión atmosférica.

El modelo elegido para este trabajo fue ERA5, el cual es uno de los más difundidos y accesibles, generado y distribuido por el ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Este modelo brinda estimaciones horarias de un gran número de variables atmosféricas, de suelo y oceánicas en una grilla de 0.25° (≈ 31 km) de resolución tanto a nivel de superficie como a 137 niveles de altura atmosférica. Las variables de ERA5 cubren un gran periodo de tiempo, ya que cuenta con datos desde 1979 y los datos finales de este modelo se publican cada 3 meses mientras que los datos preliminares de procesamiento se pueden obtener con 5 días de demora (Hersbach *et al.*, 2018). Para este estudio, se seleccionó el modelo atmosférico «ERA5 a nivel de superficie» (llamado «Single level»), cuyos datos se pueden descargar gratuitamente desde el sitio oficial de Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>). La validación de los nuevos parámetros obtenidos (ZTD_{ERA5}) se realizó con los valores troposféricos de la red SIRGAS-CON. En este caso se consideró el ZTD_{ERA5} calculado en el nodo más cercano a la estación GNSS donde se disponía del ZTD_{SIR} . Las comparaciones se realizaron para un año de productos, correspondientes al año 2018.

La temperatura, obtenida en grados Kelvin [K], corresponde a la temperatura del aire a dos metros de altura del suelo. La presión atmosférica extraída se publica en hectopascales [h_{pa}] y es la fuerza ejercida por la atmósfera ajustada a la altura del nivel medio del mar. Si bien el modelo brinda presión atmosférica al nivel de la superficie terrestre, se ha decidido utilizar el nivel medio del mar como referencia de altura para la presión, a fin de ajustarse a la metodología de cálculo de IWV propuesta por Mackern *et al.* (2020). Finalmente, el vapor de agua expresado en unidades de presión [kg/m^2], representa el valor de vapor de agua integrado a lo largo de toda la columna atmosférica desde el nivel de superficie al tope de atmósfera (Hersbach *et al.*, 2018). Este modelo en particular permite prescindir de integrar la columna atmosférica, facilitando el uso y comprensión a usuarios ajenos a las prácticas meteorológicas.

En base a las variables meteorológicas obtenidas de ERA5, el cálculo de ZTD se realizó considerando la suma de las dos componentes: seca (ZHD) y húmeda (ZWD) (Ec. 1):

$$EC. 1 \quad ZTD = ZHD + ZWD$$

Donde el ZHD se determina siguiendo la Ec. 2

$$EC. 2 \quad ZHD = 0.002276738 \cdot \frac{P_{nodo}}{1 - 0.00266 \cos(2\varphi) - 0.28 \cdot 10^{-6} h_{nodo}}$$

Siendo, φ la latitud y h_{nodo} la altura del nodo de ERA5. La presión extraída del modelo se reduce al nivel de superficie según lo indicado en la Ec. 3.

$$EC. 3 \quad P_{nodo} = P_0(1 - 0.0000226 \cdot (h_{nodo} - h_0))^{5.225}$$

Con h_0 igual a 0, por considerar como referencia al nivel medio del mar. Finalmente, el ZWD se determinará como (Ec. 4):

$$EC. 4 \quad ZWD [m] = \frac{IWV [kg/m^2]}{\Pi}$$

Donde el factor de proporcionalidad se determina mediante la Ec. 5:

$$EC. 5 \quad \Pi = \frac{10^5}{\left(K'_2 + \frac{K_3}{T_m}\right) 0.4614991785}$$

En la Ec. 6 se utilizaron los coeficientes de la refracción K'_2 y K_3 «Best average» de Rüeger (2002), validados en Mackern *et al* (2021). Con ellos, la Ec. 5 queda determinada como:

$$EC. 6 \quad \Pi = \frac{10^5}{\left(22.9744 + \frac{375463}{T_m}\right) 0.4614991785}$$

La Ec. 6 depende de la temperatura media de la atmósfera, la cual fue calculada a partir de la temperatura en superficie (T_s) (Mendes & Langley, 2000) según la Ec. 7.

$$EC. 7 \quad T_m = 50.4 + 0.789T_s$$

De esta manera fue posible determinar un valor de ZTD_{ERA5} por cada nodo (punto) del modelo atmosférico.

3 Análisis de la variabilidad del ZTD

Las series de tiempo del ZTD_{SIR} calculados en SIRGAS fueron analizadas para cada sitio, en donde se pudo observar que cada una presenta un comportamiento periódico anual y en algunas semianual. La Figura 2 muestra las series de tiempo del ZTD_{SIR} para cuatro estaciones ubicadas en regiones climáticas distintas dentro del área de estudio (Tabla 1). Puede observarse cómo en estaciones de zonas áridas (Estación MGUE, Malargüe, Mendoza), los valores promedios de ZTD no sólo son bajos en comparación con zonas húmedas (Estación BELE, Belém, Brasil) sino que la amplitud anual (diferencias entre los máximos y mínimos) también es baja. Otras estaciones en zonas áridas, como UNSJ (Ciudad de San Juan, Argentina) no sólo tienen valores de ZTD bajos, sino que las series presentan menor dispersión en comparación con una de clima semi-húmedo (VBCA, Bahía Blanca, Argentina), donde los valores indican mayor variabilidad diaria.

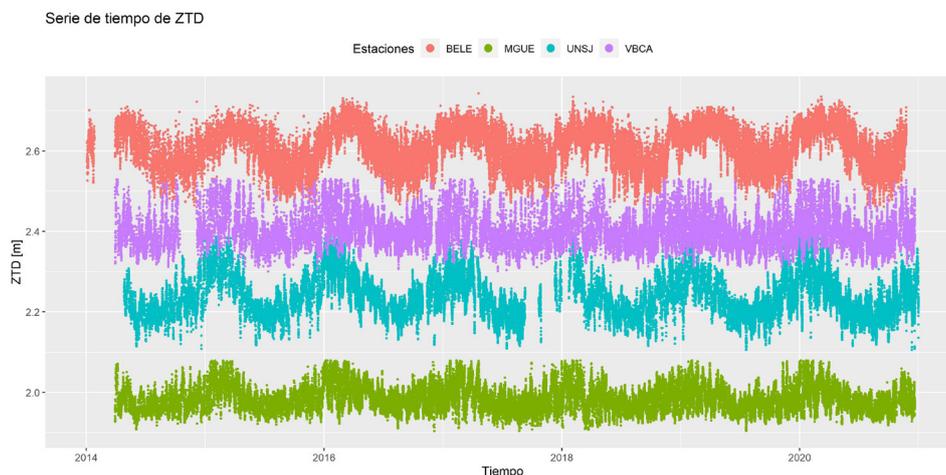


Figura 2: Serie de tiempo comparativa entre 4 estaciones GNSS pertenecientes a zonas climáticas distintas.

Fuente: Elaboración propia en base a ZTD de SIRGAS.

Tabla 1: Posiciones de estaciones SIRGAS comparadas y su valor ZTD_{SIR} medio para el periodo 2014-2021

Estación	País	Latitud (decimales)	Longitud (decimales)	Altura [m]	ZTD _{SIR} medio [m]
BELE	Brasil	-01° 24' 31.65"	-48° 24' 45.18"	9	2.61
MGUE	Argentina	-35° 46' 38.46"	-69° 23' 52.53"	1554	1.98
UNSJ	Argentina	-31° 32' 28.52"	-68° 34' 37.41"	710	2.23
VBCA	Argentina	-38° 42' 02.75"	-62° 16' 09.22"	59	2.39

Los valores medios de ZTD_{SIR} fueron graficados a fin de conocer la distribución espacial de los valores esperados de esta variable. La Figura 3 permite observar que aquellas áreas con menor ZTD medio se encuentran ubicados sobre la Cordillera de los Andes, mientras que aquellas zonas a menor altura presentan un incremento en el valor medio del ZTD_{SIR}.

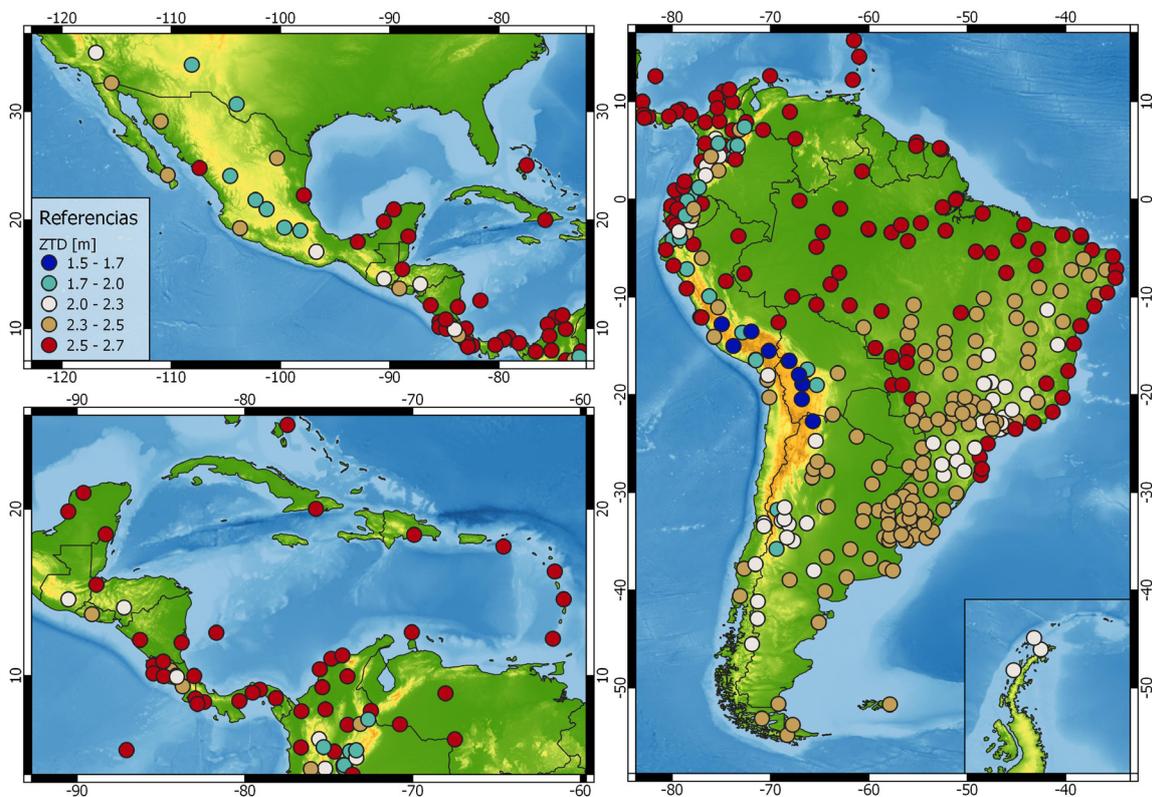


Figura 3. Distribución del valor medio de ZTD_{SIR} calculado en las estaciones SIRGAS seleccionadas

Por otro lado, para comprender la magnitud de la variación temporal del ZTD a lo largo de un día, se calculó el valor medio horario del ZTD (ZTD_tⁱ), considerando la serie completa. Luego para conocer su variación horaria, se determinó la diferencia entre dos valores horarios consecutivos considerando intervalos (t) de una y dos horas, según Eq. 8.

$$EC. 8 \quad \Delta ZTD^i = ZTD_{t+1}^i - ZTD_t^i$$

Cabe mencionar que algunas estaciones disponen de valores de ZTD estimados cada 2 horas en parte del período analizado, es por ello por lo que, en estos casos, se mantuvo ese intervalo. La Figura 4 muestra el valor absoluto de la máxima diferencia encontrada por estación.

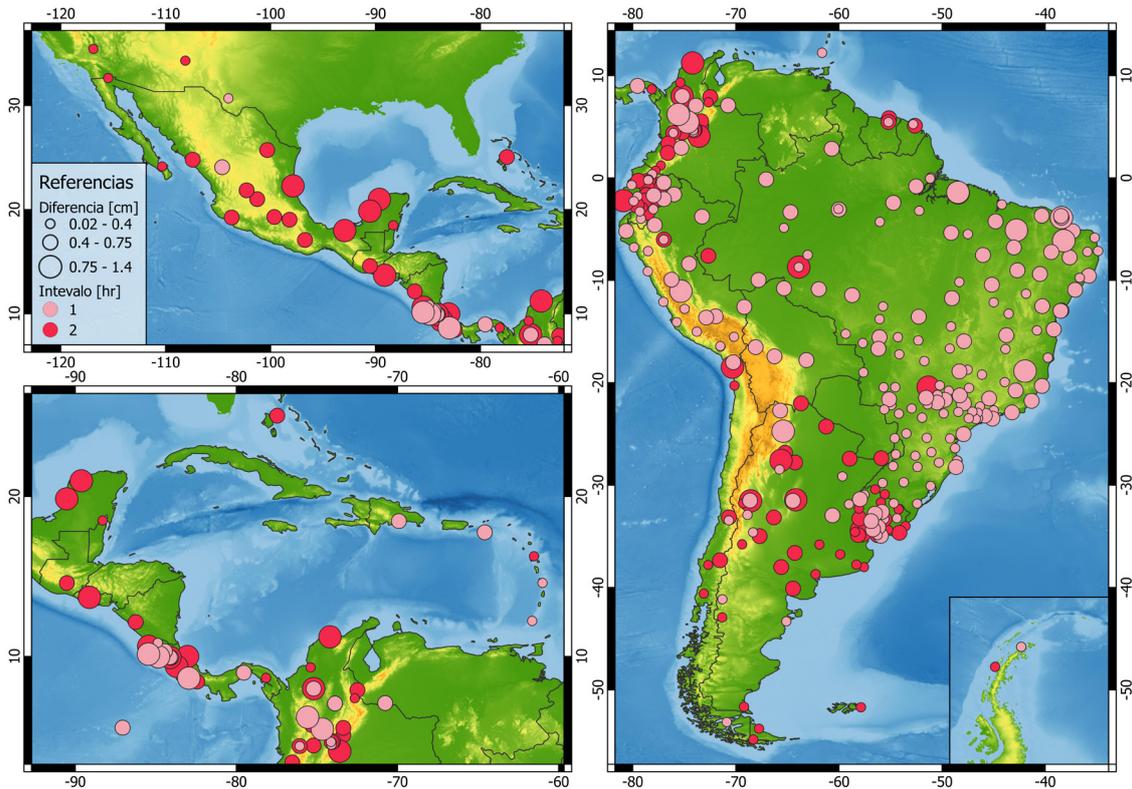


Figura 4: Máximas diferencias encontradas entre valores horarios medios consecutivos de ZTD. El tamaño del círculo representa la magnitud de la diferencia y el color indica el intervalo temporal.

Las máximas diferencias se observan en estaciones cuyos ZTD han sido estimados cada 2 horas. Los valores totales de cada intervalo horario y rango de variación pueden encontrarse en la Tabla 2. Se puede observar que las variaciones tanto horarias como cada 2 h, resultan menores que 0.75 cm en el 90 % de las estaciones, siendo tal diferencia menor que la precisión de dicho parámetro (Mackern *et al*, 2020). Comparando los registros cada 1 y 2 h se observa que las diferencias de ZTD mayores que 0.75 cm se han encontrado en el 62% de los casos en estaciones que tienen estimaciones de ZTD cada 2 h. De este análisis surge la justificación de estandarizar la estimación del ZTD a intervalos de 1 hora

Tabla 2: Cantidad de estaciones de acuerdo con el intervalo utilizado en el cálculo del ΔZTD_i

ΔZTD_i	Cantidad de estaciones por intervalo		
	1 hora	2 horas	Total
$0.02 \text{ cm} < \Delta ZTD_i < 0.4 \text{ cm}$	123	62	185
$0.4 \text{ cm} \leq \Delta ZTD_i \leq 0.75 \text{ cm}$	93	67	160
$0.75 \text{ cm} < \Delta ZTD_i < 1.4 \text{ cm}$	14	23	37

4. Validación del ZTD calculado con ERA5

Para realizar la validación de los ZTD_{ERA5} calculados, se seleccionaron aquellos puntos del modelo que se encontraban más cercanos a las estaciones SIRGAS-CON utilizadas. La validación del ZTD_{ERA5} se determinó por diferencia directa con el correspondiente ZTD_{SIR} , considerando que estos productos ya han sido validados por Mackern *et al.*, (2020). La Figura 5 muestra la distribución de las estaciones GNSS sobre las que se realizó la validación indicando en color, los valores medios de las diferencias obtenidas y, en tamaño, la desviación estándar (SD) de cada una. La Figura 6 muestra el histograma de las diferencias $(ZTD_{SIR} - ZTD_{ERA5})$ medias. Se observa que, de las estaciones analizadas, el 80 % (304 estaciones) poseen diferencias de $\pm 1.5 \text{ cm}$ y de ellas, el 96% presentan una desviación estándar menor a 2 cm.

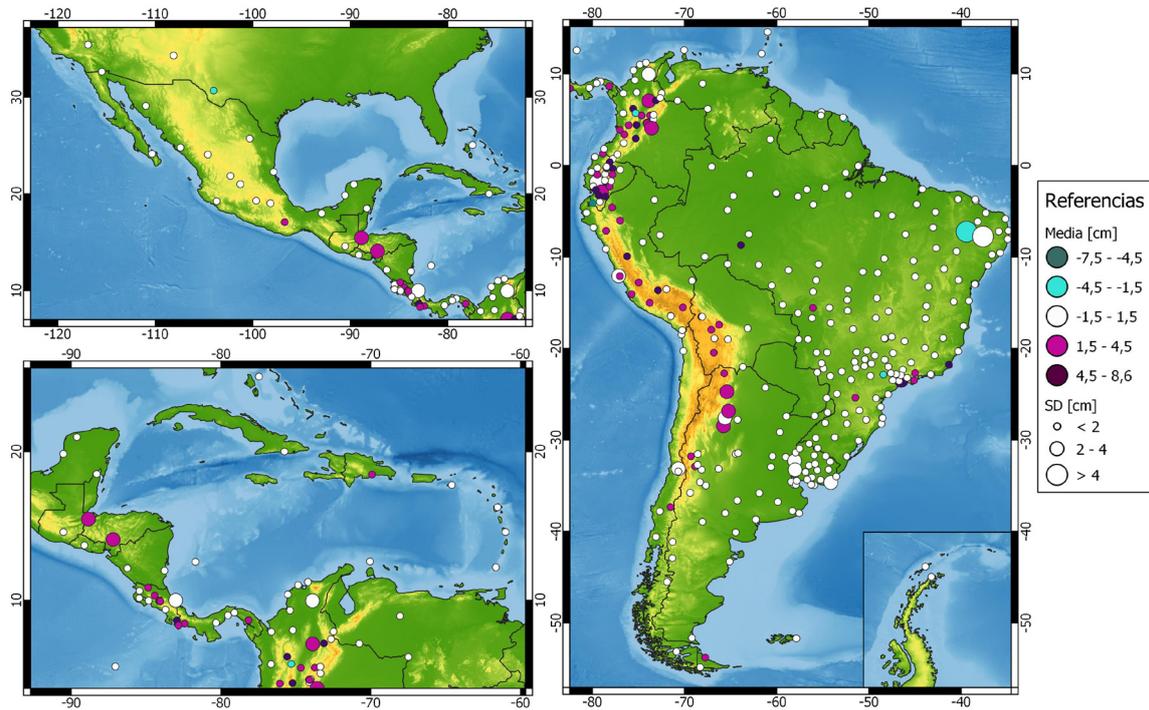


Figura 5: Distribución geográfica de las diferencias entre ZTD_{SIR} y ZTD_{ERA5} en cada estación SIRGAS. Los colores representan la media de las diferencias ($ZTD_{SIR} - ZTD_{ERA5}$) y el tamaño, la desviación estándar (SD) en centímetros.

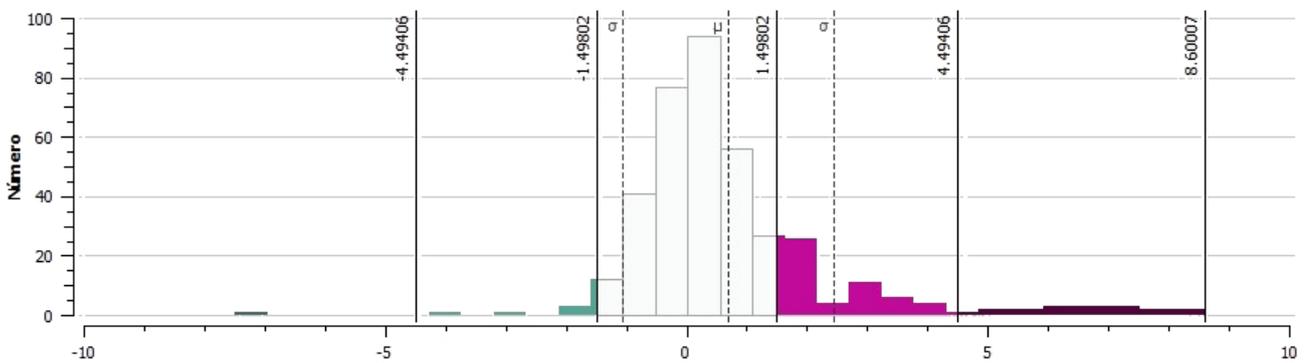


Figura 6: Histograma de las diferencias medias ($ZTD_{SIR} - ZTD_{ERA5}$). Fuente: Análisis estadístico de Qgis (v. 3.10.6).

Por otro lado, del total de estaciones analizadas, sólo el 4% (17 estaciones), presentan diferencias entre 5 y 8.6 cm, y se localizan en la zona norte de la Cordillera de los Andes. Estas diferencias superan ampliamente la incertidumbre de los ZTD_{SIR} y ZTD_{ERA5} (de ≈ 7.5 mm) encontrados en Mackern *et al*, 2020. En la Figura 7, se muestran las series de tiempo de ZTD de las dos estaciones con máximas diferencias: AP01 (Perú) y BNGA (Colombia). Puede apreciarse que si bien ambas series presentan el mismo comportamiento, se encuentran sesgadas en valores entre 7 y 8 cm respectivamente. Además, puede observarse que las diferencias presentan variabilidad estacional, lo cual requiere de un análisis detallado que no es parte de este trabajo. Como complemento, se presentan dos ejemplos en la Figura 8, en las cuales las diferencias entre los ZTD son mínimos y centrados en el 0 cuyos valores no superan los ± 4 cm.

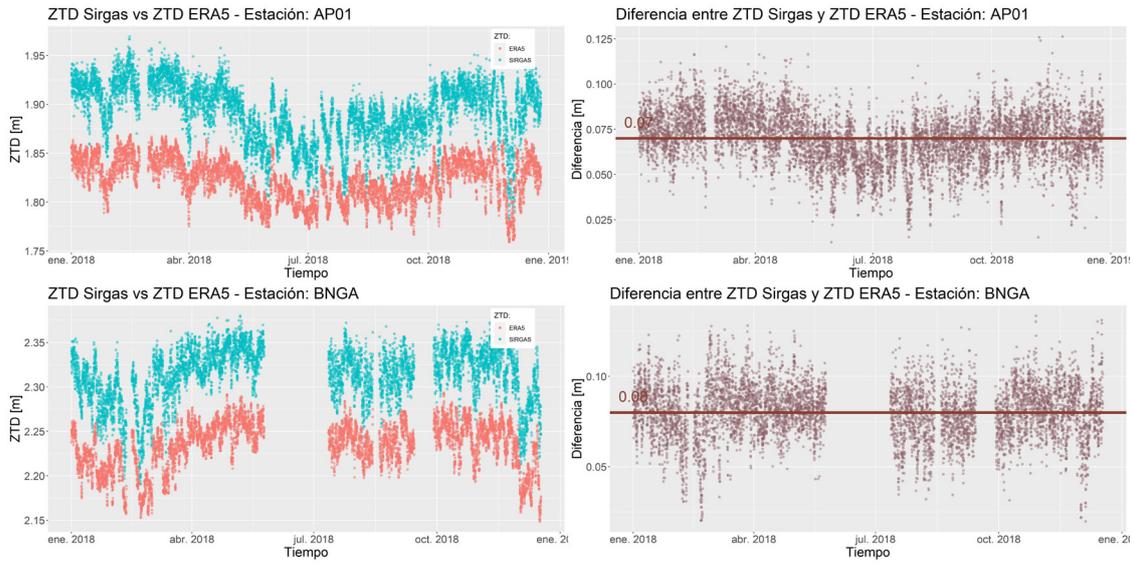


Figura 7: Ejemplos de dos estaciones con máximas diferencias ($ZTD_{SIR} - ZTD_{ERA5}$). AP01: 2419 m. BNGA: 959 m.

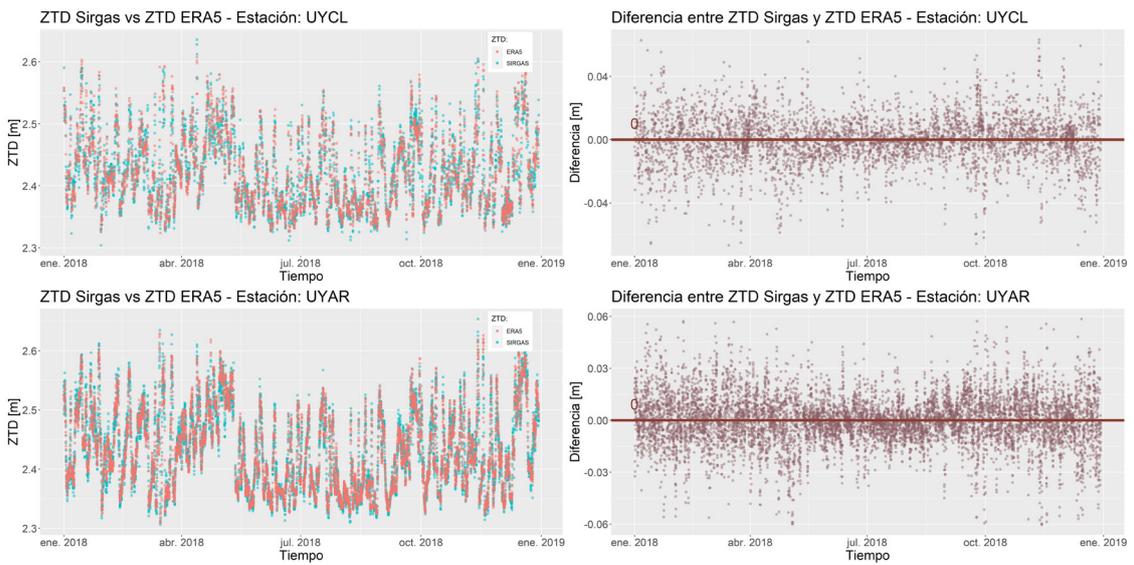


Figura 8: Ejemplos de dos estaciones con mínimas diferencias ($ZTD_{SIR} - ZTD_{ERA5}$). UYCL: 134 m. UYAR: 146 m.

La fuente de estas discrepancias puede tener diversos orígenes. Desde el punto de vista geodésico, se analizó la influencia de la superficie de referencia, la ubicación de los nodos ERA5 con respecto a la posición de las estaciones SIRGAS y la disponibilidad de valores de vapor de agua asimilados en el modelo atmosférico.

4.1 Superficie de referencia en el cálculo del ZTD_{ERA5}

En ERA5, la altura a la que refieren las variables meteorológicas se expresa como medida de potencial [m^2/s^2] en una variable llamada «geopotencial». Esta superficie de referencia es producto de interpolaciones de cinco modelos de superficie, los cuales se combinan para generar una grilla regular de ≈ 31 km de resolución (ECMWF, 2016a). El geopotencial de ERA5 puede transformarse a alturas geopotenciales (metros sobre el Geoide) si se los divide por un valor promedio de gravedad (ECMWF, 2016b):

Para analizar las alturas calculadas por la Ec. 9 se realizó una comparación con el modelo digital de elevaciones (DEM) SRTM30 (NASA-JPL, 2013) el cual brinda alturas al Geoide y es uno de los modelo más utilizado para representar la superficie terrestre.

$$EC. 9 \quad h_{ref}[m] = \frac{geopotencial [m^2/s^2]}{9.80665 [m/s^2]}$$

Si bien ambas superficies de referencia se encontraban con diferente resolución (ERA5: ≈31 km, SRTM: 30 m), la diferencia se realizó punto a punto, tomando las coordenadas coincidentes entre ambos (Figura 9). Los resultados muestran que las mayores diferencias se encuentran sobre la Cordillera de los Andes, llegando a superar en algunos sitios, los 1000 m en valor absoluto. Estos valores coinciden con lo expresado por Wang *et al.* (2016), quienes mencionan la complejidad de los modelos atmosféricos en determinar la superficie terrestre, especialmente en áreas montañosas, a causa de la suavización del terreno requerida para obtener las resoluciones finales.

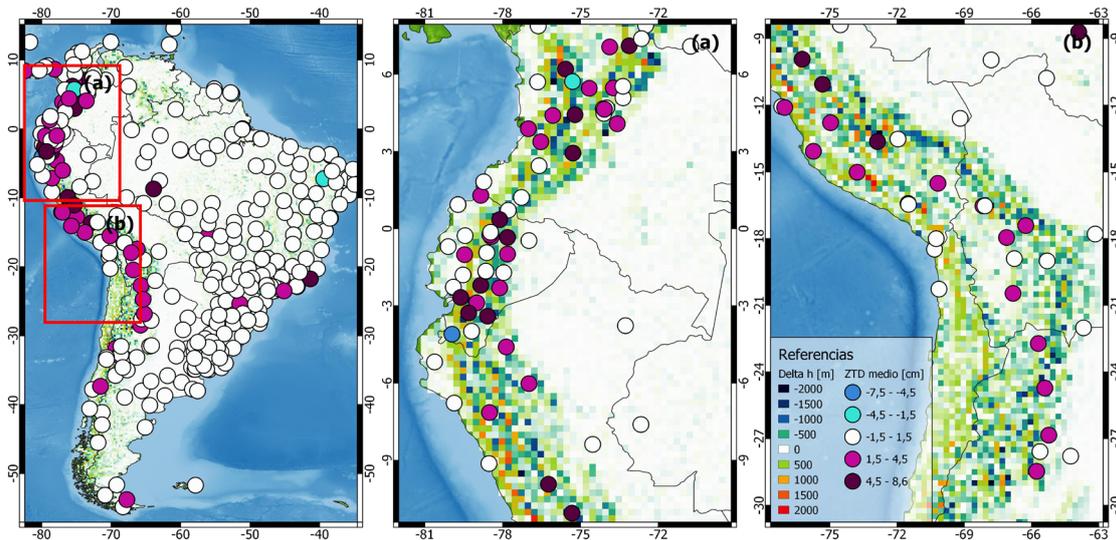


Figura 9: Comparación entre las medias de las diferencias $ZTD_{SIR} - ZTD_{ERA5}$ y las diferencias en alturas (ERA5 - DEM SRTM30).

En la misma Figura 9 se observan superpuestos los valores medios de las diferencias obtenidas entre el ZTD_{SIR} (valor de control) y el ZTD_{ERA5} determinado en cada estación GNSS. De su observación conjunta se concluye que hay una correspondencia entre los sitios con máximas diferencias y las regiones donde se cuantificaron las máximas inconsistencias de alturas. Corresponde aclarar que los valores de ZTD_{SIR} están referidos a la altura elipsoidal, h_{GNSS} (altura sobre el elipsoide WGS84) mientras que el ZTD_{ERA5} refiere a la altura geopotencial (H_{ref}) del punto de grilla más cercano a la estación GNSS correspondiente. Entre dichas alturas existe una diferencia de alturas a considerar (ondulación geoidal) en cada punto, sin embargo, en la zona de estudio la ondulación geoidal se encuentra entre 5 y 50 m, valor muy inferior a las diferencias de altura encontradas.

Ubicación diferencial del nodo de ERA5 con respecto al sitio GNSS

4.2 Otro factor importante a tener en cuenta es la diferencia geográfica que existe entre el punto de grilla del modelo ERA5 utilizado, con respecto a la estación GNSS correspondiente. Dado que la grilla de ERA5 es regular, una estación GNSS puede encontrarse a una distancia máxima de ≈22 km del nodo de ERA5 más cercano. En una región de topografía compleja, cada nodo puede presentar diferencias de altura superiores a 1000 m con respecto a la estación GNSS. En este aspecto, el punto de grilla de ERA5 utilizado en este trabajo (nodo más cercano) podría estar en desventaja con respecto a alguno de los otros 3 nodos, que se encuentre a una distancia ligeramente mayor, pero con diferencia de altura inferior (Van Dam *et al.*, 2010). Un ejemplo de lo mencionado puede observarse en la Tabla 3, donde se presenta cómo la variación de altura entre estaciones SIRGAS cercanas, ubicadas en zona montañosa, presentan una variación media del ZTD del orden de 10 cm, similares a las máximas diferencias de ZTD encontradas en esta investigación.

Tabla 3: Ejemplos de variaciones de ZTD en estaciones cercanas

Estación	País	Altura [m]	ΔAltura [m]	Distancia horizontal [km]	ZTD medio [m]	ΔZTD [m]
EPEC	Ecuador	2523	532	14	1.76	0.10
QUEM		3055			1.86	
BOGA	Colombia	2610	350	18	1.83	0.08
ABPD		2960			1.75	

4.3 Incertidumbre en la modelización del vapor de agua

Si bien la determinación del contenido del vapor de agua no escapa a la problemática de alturas mencionada, el modelado del vapor de agua requiere de un análisis independiente. Para la determinación de esta variable, los datos de entrada se retroalimentan de los valores estimados por radiosondeos y mediciones satelitales. En el caso de los radiosondeos, el área de estudio mencionada en este trabajo cuenta con sólo 44 radiosondeos, una muy baja densidad en comparación con otras regiones como Europa y EEUU. Por otro lado, las determinaciones satelitales son posibles en regiones con cielos despejados, lo cual condiciona la observación en áreas como el Caribe y América Central, cuyos cielos se encuentran cubiertos de nubes por grandes períodos de tiempo (Leontiev & Reuveni, 2017; van de Berg *et al.*, 1995). También es necesario mencionar que la resolución temporal de las técnicas mencionadas resulta insuficiente para la caracterización del vapor de agua en la zona, considerando que se cuenta con radiosondeos cada 12 horas en el mejor de los casos (Bevis *et al.*, 1992; Durre *et al.*, 2006), y cada 6 días para las observaciones satelitales. Por lo mencionado anteriormente, los valores de vapor de agua son insuficientes para su modelización en la región ya que los datos no son lo suficientemente densos para representar la variabilidad espacio-temporal en esta área de características tan diversas y de gran extensión (Wang *et al.*, 2016).

5. Discusiones y conclusiones

El ZTD es una corrección que debe ser determinada cuando se utiliza GNSS, puesto que influye directamente en la distancia satélite-receptor. Por este motivo, las redes geodésicas de alta precisión lo deben determinar para evitar su propagación en el cálculo de las coordenadas. Por otro lado, este parámetro resulta de interés para la meteorología, puesto que tiene una relación directa con el contenido del vapor de agua troposférico, permitiendo su estimación.

La determinación de las series de tiempo de ZTD mostraron que esta variable presenta un comportamiento periódico anual y que los valores medios de cada serie presentan diferencias según la región climática a la que pertenecen. Es necesario mencionar que, como el ZTD es consecuencia directa del contenido de vapor de agua en una región (así como de los cambios de presión atmosférica y temperatura), es de esperar que el comportamiento de ambas variables sea proporcional. Se espera entonces que, en áreas y épocas donde el ZTD es mayor, también lo sea el correspondiente contenido de vapor de agua. La misma relación se espera para los sitios y épocas de mínimos.

Del análisis realizado sobre la variación temporal del ZTD, para lo cual se calcularon las máximas variaciones horarias consecutivas, resultan ser inferiores a la precisión determinada para el ZTD según lo reportado por Mackern *et al.* (2020) en el 90% de las estaciones. Las variaciones máximas del ZTD para épocas consecutivas se determinaron con valores superiores a 0.75 cm en el 10% restante y para este grupo de estaciones el 62% de esas diferencias máximas se detectó para estaciones que cuentan con registros de ZTD estimados cada 2 h, lo cual justifica la necesidad de estimar el ZTD cada 1 hora. Esto último es un requerimiento actual de SIRGAS para con los centros de análisis que realizan su estimación dentro del cálculo operacional de la red. Se está trabajando en la posibilidad de estimar el parámetro a intervalos menores o bien proponer un método de interpolación temporal en ciertas estaciones y para aplicaciones que requieran épocas específicas (sub horarias).

Dado que el vapor de agua y el ZTD son variables de utilidad para distintas aplicaciones, se propuso un método de cálculo de ZTD basado en el modelo atmosférico ERA5, el cual permite aumentar la cantidad de datos disponibles y garantiza la continuidad de la serie temporal en sitios de interés específico. Los valores calculados fueron validados con respecto a valores de ZTD de la red SIRGAS-CON utilizando una serie anual de ambos parámetros (año 2018). Las diferencias medias resultaron ser cercanas al centímetro (para el 80% de las estaciones), y para un limitado número de estaciones ubicadas en altura, las diferencias resultaron superiores a 5 centímetros. De la validación del ZTD calculado desde datos de ERA5, con respecto a los de SIRGAS se concluyó que:

- En 304 sitios GNSS se encontraron diferencias entre ± 1.5 cm y, de ellas, 293 presentan una desviación estándar menor a 2 cm. Estos sitios estarían delimitando las áreas en las cuales el método de cálculo del ZTD desde ERA5 podría utilizarse.
- En 53 estaciones se observaron diferencias cuyos valores se encuentran entre 1.5 y 4.5 cm con desviaciones estándar también menores a 2 cm., 36 de las cuales se encuentran ubicadas en sitios de altura (sobre la Cordillera de los Andes), sobre las cuales se ha planificado realizar un análisis específico comparativo de alturas.
- En sólo 7 sitios se determinaron diferencias negativas entre -7.5 y -1.5 cm, de los cuales dos (GODE y KOUG) se encuentran cercanos a la costa y 5 están ubicados en zonas donde la ondulación geoidal es negativa (GODE, KOUG, CRAT, SPBO y MDO1).
- Por último, se encontró que en 5 de los puntos que presentaron diferencias de ZTD negativas entre -7.5 y -1.5 (CLEC, SNSN, MDO1, CRAT y SPBO) las diferencias entre la altura del nodo de ERA5 utilizado (más cercano) y altura de la estación GNSS superan, en valor absoluto, los 186 m (no mostrado en este trabajo).

Por todo lo expuesto se concluye que gran parte de las diferencias encontradas en el ZTD_{ERA5} validado se relaciona con la diferencia existente entre la superficie de referencia utilizada en ERA5 y las alturas de los sitios SIRGAS comparados. Este efecto resulta más notorio en las zonas de montaña, en donde se encontraron diferencias que, en algunos casos, superan los 1000 metros, adicionando un sesgo superior a los 5 cm en el ZTD_{ERA5} . Esta diferencia en alturas está complementada con el hecho de que el nodo ERA5 más cercano a la estación SIRGAS, puede presentar también diferencias de altura con respecto a sitio GNSS, introduciendo otro factor de incertidumbre. Estos análisis se están llevando a cabo por este grupo de investigación, en donde se tiene previsto analizar la influencia de la distancia y altura de los nodos de los modelos atmosféricos con respecto a las estaciones GNSS, así como la influencia de la ondulación geoidal, como corrección a los sistemas de alturas involucrados.

Las inconsistencias encontradas en el ZTD_{ERA5} también pueden deberse a los complejos procesos de cálculo que se utilizan en la determinación del vapor de agua a causa de la falta de datos (pasados y actuales) de radiosondeos en América Latina. Esto genera una incertidumbre en el modelado del vapor de agua, el cual, en este trabajo, es el principal insumo para el cálculo del ZTD_{ERA5} . Sin embargo, las comparaciones realizadas entre el ZTD_{ERA5} y ZTD_{SIR} permitieron concluir que, excluyendo la zona de la Cordillera de los Andes, los valores de ZTD_{ERA5} pueden ser utilizados con una incertidumbre de ± 1.5 cm. Dada la resolución espacial (0.25°), temporal (1 hora) y su libre disponibilidad, se han mostrado las capacidades de ERA5 para proporcionar retrasos troposféricos en aquellas zonas que no cuentan con estaciones SIRGAS o que requieren de una mayor densificación de puntos que la que ofrecen las redes GNSS de la región.

El aporte de valores de ZTD contribuye directamente a la generación de correcciones atmosféricas en imágenes satelitales (Rosell, 2022) y a la estimación en el cálculo de coordenadas, principalmente la altura, en procesamientos de observaciones GNSS. Si bien estos cálculos son generados internamente en los programas de procesamiento, un mejor conocimiento del ZTD contribuye a mejorar los modelos de corrección necesarios para trabajar con señales satelitales de origen electromagnético.

Por último, cabe aclarar que en América Latina hay una gran cantidad de estaciones GNSS, no incluidas en SIRGAS-CON, correspondientes a redes de densificación nacionales y que a la fecha de este trabajo no disponen de parámetros troposféricos publicados. Contar con productos ZTD a intervalos horarios en cada una de ellas podría significar un gran aporte tanto en la mejora de los modelos, en caso de ser asimilados a los mismos o bien como referencia para validar los modelos en zonas que actualmente no disponen de ningún control.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen la tarea silenciosa de los responsables de las estaciones GNSS, de los centros de datos y de análisis SIRGAS, sin los cuales esta investigación no hubiera sido posible. En especial se agradece al centro de análisis de atmósfera neutra, CIMA (Centro de Ingeniería Mendoza Argentina, UNCuyo-UMaza) quienes calculan semanalmente y brindan públicamente los productos troposféricos de las estaciones de SIRGAS, que se utilizaron en esta investigación.

7. Referencias bibliográficas

- Berrada Baby, H., Golé, P., & Lavergnat, J. (1988). A model for the tropospheric excess path length of radio waves from surface meteorological measurements. *Radio Science*, 23(6), 1023-1038. <https://doi.org/10.1029/RS023i006p01023>
- Bevis, M., Businger, S., Herring, T. A., Rocken, C., Anthes, R. A., & Ware, R. H. (1992). GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system. *Journal of Geophysical Research*, 97(D14), 15787. <https://doi.org/10.1029/92JD01517>
- Boehm, J., Niell, A., Tregoning, P., & Schuh, H. (2006). Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data. *Geophysical Research Letters*, 33(7). <https://doi.org/10.1029/2005GL025546>
- Boehm, J., Werl, B., & Schuh, H. (2006). Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(2). <https://doi.org/10.1029/2005JB003629>
- Chao, C. (1972). A model for tropospheric calibration from daily surface and radiosonde balloon measurement. In *JPL Technical Memorandum*, 350-391, pp 16.
- Copernicus Climate Change Service (C3S). (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. *Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS)*, Accessed 2018-05-04.
- Durre, I., Vose, R. S., & Wuertz, D. B. (2006). Overview of the Integrated Global Radiosonde Archive. *Journal of Climate*, 19(1), 53-68. <https://doi.org/10.1175/JCLI3594.1>
- ECMWF. (2016a). *IFS Documentation CY41R2*. ECMWF.
- ECMWF. (2016b). IFS Documentation CY41R2 - Part IV: Physical Processes. *IFS Documentation CY41R2*, March, 213. <https://doi.org/10.21957/tr5rv27xu>
- Herring, T. A. (1992). Modeling of Atmospheric Delay in the Analysis Space Geodetic Data. *Symposium on Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy*, 36. <http://ncgeo.nl/downloads/36DeMunck.pdf#page=167>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., & Rozum, I. (2018). ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present, Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). *ECMWF*, 147. <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>
- Hersbach, H., De Rosnay, P., Bell, B., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Balmaseda, A., Balsamo, G., Bechtold, P., Berrisford, P., Bidlot, J., De Boissésón, E., Bonavita, M., Browne, P., Buizza, R., Dahlgren, P., Dee, D., Dragani, R., ... Zuo, H. (2018). Operational global reanalysis: progress, future directions and synergies with NWP including updates on the ERA5 production status. *ERA Report Series*. <https://doi.org/10.21957/tkic6g3wm>
- Hopfield, H. S. (1969). Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data. *Journal of Geophysical Research*, 74(18), 4487-4499. <https://doi.org/10.1029/JC074i018p04487>
- Jacobson, M. Z. (2005). *Fundamentals of Atmospheric Modeling* (Second). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139165389>
- Leontiev, A., & Reuveni, Y. (2017). Combining Meteosat-10 satellite image data with GPS tropospheric path delays to estimate regional integrated water vapor (IWV) distribution. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(2), 537-548. <https://doi.org/10.5194/amt-10-537-2017>
- Mackern, M. V., Mateo, M. L., Camisay, M. F., & Morichetti, P. V. (2020). Tropospheric Products from High-Level GNSS Processing in Latin America. In *International Association of Geodesy Symposia book series*. https://doi.org/10.1007/1345_2020_121
- Mackern, M. V., Mateo, M. L., Camisay, M. F., & Rosell, P. A. (2022). Quality control of SIRGAS ZTD products. *Journal of Geodetic Science*, 12(1), 42-54. <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0136>
- NASA-JPL. (2013). *NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second number*. The Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/doi.org/10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1N.003>
- Niell, A. E. (2001). Preliminary evaluation of atmospheric mapping functions based on numerical weather models. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26(6-8). [https://doi.org/10.1016/S1464-1895\(01\)00087-4](https://doi.org/10.1016/S1464-1895(01)00087-4)
- Rosell, P. (2022). *Desarrollo de un modelo de corrección de la influencia del vapor de agua troposférico en el procesamiento DInSAR con el aporte de GNSS y ERA5*. Tesis doctoral (FCEN, UNCUYO).
- Van Dam, T., Altamimi, Z., Collilieux, X., & Ray, J. (2010). Topographically induced height errors in predicted atmospheric loading effects. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(7), 1-10. <https://doi.org/10.1029/2009JB006810>
- Van de Berg, L. C. J., Schmetz, J., & Whitlock, J. (1995). On the calibration of the Meteosat water vapor channel. *Journal of Geophysical Research*, 100(D10), 21069. <https://doi.org/10.1029/95JD01880>
- Wallace, J. H. P. (2006). Atmospheric Science. In *Dairy Science & Technology*, CRC Taylor & Francis Group (Issue June). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-00034-8>
- Wang, Y., Zhang, Y., Fu, Y. F., Li, R., & Yang, Y. J. (2016). A climatological comparison of column-integrated water vapor for the third-generation reanalysis datasets. *Science China Earth Sciences*, 59(2), 296-306. <https://doi.org/10.1007/s11430-015-5183-6>
- Yao, Y. Bin, Zhang, B., Xu, C. Q., He, C. Y., Yu, C., & Yan, F. (2016). A global empirical model for estimating zenith tropospheric delay. *Science China Earth Sciences*, 59(1), 118-128. <https://doi.org/10.1007/s11430-015-5173-8>
- Zebker, H. A., Rosen, P. A., & Hensley, S. (1997). Atmospheric effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B4), 7547-7563. <https://doi.org/10.1029/96JB03804>

El marco normativo catastral argentino y los Objetivos del Desarrollo Sostenible

The Argentine cadastral regulatory framework and the Sustainable Development Goals

Bevacqua, Cristian

Universidad Nacional de Catamarca. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas; Argentina.

DOI: <https://doi.org/10.59872/icu.v7i9.440>

Correo de correspondencia: cibagrim@tecno.unca.edu.ar

Recepción: 25/07/2023; Aceptación: 07/12/2023;

Publicación: 20/12/2023

Resumen

Uno de los documentos de Naciones Unidas, que sirve como guía para mejorar la gestión del territorio, es el Marco para la Administración Efectiva de la Tierra. El mismo incluye aspectos relacionados al catastro territorial, registro de la propiedad, urbanismo, valoración de suelo, etc.

Actualmente, se observa la necesidad de documentar, registrar y reconocer las relaciones de las personas con el territorio. Tales acciones, son indispensables para alcanzar el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible enunciados en la Agenda 2030 de Naciones Unidas.

Los Catastros Territoriales son una herramienta primordial en todo sistema de administración del suelo, conformando uno de los pilares fundamentales en la registración de la compleja trama de derechos y restricciones que relacionan al ser humano con el medio que habita.

También a nivel internacional, la Federación Internacional de Agrimensores ha elaborado y aprobado una visión para el desarrollo de los sistemas catastrales, el mismo es conocido como «Catastro 2014». Tal documento, define el término de «objetos territoriales legales» y aconseja su registración en los sistemas catastrales.

En Argentina, los lineamientos impartidos por el documento señalado en el párrafo precedente, han sido incorporados por la Ley Nacional de Catastro N° 26.209, promulgada en enero del año 2007.

En el presente trabajo, se analiza si los Catastros Territoriales de Argentina cuentan con un marco normativo nacional

Palabras claves: Catastro territorial; objeto territorial legal; Objetivos del Desarrollo Sostenible; Marco para la Administración; Efectiva de la Tierra; derechos y restricciones

Keywords: Territorial cadastre; legal territorial object; Sustainable Development Goals; Framework for Effective Land Administration; Rights and restrictions

suficiente que permita generar la información requerida para la administración efectiva de la tierra y la implementación de políticas destinadas a alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

Abstract

One of the United Nations documents, which acts as a guide to improve land management, is the Framework for Effective Land Administration. It includes aspects related to territorial cadastre, property registration, urban planning, land valuation, etc.

Currently, there is a need to document, record and recognize relationships between people and territory. That kind of actions are essential to comply with the Sustainable Development Goals set forth in the 2030 Agenda of the United Nations.

Territorial Cadastres are an essential tool in any land administration system, laying down one of the fundamental pillars in the registration of the complex network of rights and restrictions relating human beings with the environment they inhabit.

Also at international level, the International Federation of Surveyors has developed and passed a vision statement for the development of cadastral systems, known as «Cadastre 2014». The document defines the term «legal territorial objects» and recommends their registration in cadastral systems.

In Argentina, the guidelines provided by said document, have been incorporated by the National Cadastre Act N°. 26.209, passed in January 2007.

This work aims at analyzing if the Territorial Cadastre of Argentina has a national regulatory framework strong enough so as to generate the required information for land effective administration and the implementation of policies devised to achieve the Sustainable Development Goals.

Introducción

Nuestro planeta enfrenta grandes desafíos a nivel global, como ser el cambio climático, la pobreza, la degradación ambiental y la desigualdad, por mencionar algunos, los que ponen el peligro el futuro de todos. Con la clara intención de superar tan complejas problemáticas e incluir a toda la humanidad sin que nadie se quede atrás, Naciones Unidas ha fijado diecisiete Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) para el año 2030 (Naciones Unidas, 2015).

Del análisis de tales objetivos, se puede denotar que en gran medida se relacionan con el territorio e involucran la creciente necesidad de una eficiente administración del territorio y los recursos contenidos en él.

Existe además un documento de Naciones Unidas que consiste en una guía para mejorar la gestión del territorio. Tal documento es conocido como Marco para la Administración Efectiva de la Tierra (FELA), el que presenta una relación directa con la actividad catastral.

También a nivel internacional, encontramos que la Federación Internacional de Agrimensores (FIG) a través de la Comisión 7, responsable del Catastro y la Administración Territorial, ha elaborado diversos documentos relacionados a la registración catastral. Merece especial atención el documento titulado Catastro 2014.

En tal documento, se define el término «objeto territorial legal» y se aconseja la registración en los sistemas catastrales del «objeto territorial legal» parcela, que es el más importante por ser la unidad básica de registración, vinculado a los otros «objetos territoriales legales» que pudieran afectar o estar contenidos en dicha parcela.

En nuestro país, el término «objetos territoriales legales» ha sido incluido en la Ley Nacional de Catastro N° 26.209, la que fuera promulgada en el mes de enero del año 2007. En el mismo texto normativo, quedan incorporando los principales lineamientos impartidos por la Federación Internacional de Agrimensores (FIG) en el documento Catastro 2014.

El presente trabajo busca analizar si los Catastro Territorial de Argentina, cuentan con una legislación catastral nacional suficiente, que permita generar la información requerida en los términos explicitados en el Marco para la Administración Efectiva de la Tierra (FELA) y que sea útil para implementar políticas destinadas a alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS).

Metodología de abordaje

Fue empleado un método descriptivo para destacar los principales aspectos del documento de Naciones Unidas conocido como Marco para la Administración Efectiva de la Tierra y su relación directa con el Catastro Territorial.

Con la misma metodología, se avanzó con el análisis del documento Catastro 2014, elaborado por la Federación Internacional de Agrimensores, a los efectos de poder destacar los principales aspectos de su visión para los sistemas catastrales futuros.

Se realizó un estudio comparativo entre los Catastros Territoriales tradicionales y los catastros resultantes a partir de los principios instaurados por Ley Nacional de Catastro N° 26.209, procurando destacar si tal marco normativo les permite a los Catastros Territoriales de cada jurisdicción del país, el generar la información requerida para la administración efectiva de la tierra desde los gobiernos locales.

Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ods) consisten en 17 objetivos globales que fueron aprobados por la Asamblea General de Naciones Unidas (AG-ONU) en el año 2015, los que apelan a orientar a nivel global las acciones que permitan alcanzar un futuro mejor y más sostenible para la humanidad en el año 2030.

Tales objetivos son: Fin de la pobreza, Hambre cero, Salud y bienestar, Educación de calidad, Igualdad de género, Agua limpia y saneamiento, Energía asequible y no contaminante, Trabajo decente y crecimiento económico, Industria, innovación e infraestructura, Reducción de las desigualdades, Ciudades y comunidades sostenibles, Producción y consumo responsables, Acción por el clima, Vida submarina, Vida de ecosistemas terrestres, Paz, justicia e instituciones sólidas, y finalmente Alianzas para lograr los objetivos (Naciones Unidas, 2015).



Figura 1. Objetivos del Desarrollo Sostenible

Nota. Naciones Unidas, 2015, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Varios de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) se interrelacionan entre sí, todo ello, en virtud de que los mismos son muy vastos y a la vez presentan, en muchas ocasiones, aristas de una misma problemática. Con la finalidad de poder establecer aspectos más operativos y relacionados con el cumplimiento de tales objetivos, en el año 2017, la Asamblea General de Naciones Unidas (AG-ONU) debió definir metas específicas para cada uno de ellos, como así también, establecer indicadores capaces de medir el nivel progreso.

Una rápida lectura de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), permite asegurar que incuestionablemente involucran aspectos relacionados con el territorio y su efectiva administración.

Marco para la Administración Efectiva de la Tierra (FELA)

Las personas se relacionan de manera directa con el medio en el que habitan, lugar en el que realizan sus principales actividades económicas, sociales y civiles, procurando su subsistencia y la mejora de sus condiciones de vida. Tales acciones, son siempre crecientes y provocan nuevas tensiones tanto entre los miembros de una misma comunidad, como así también, entre la población y el medio ambiente en el que habitan.

Frente al desafío que representa para los gobiernos el poder gestionar aspectos tales como acceso a la propiedad de la tierra, se suma el procurar el cumplimiento de restricciones o limitaciones al dominio. Tales restricciones o limitaciones, tienden a promover en general la salubridad, el bien común y la preservación del medio ambiente.

Es a tales fines, que se debe efectuar la determinación, registración y difusión de la información vinculada a las múltiples interrelaciones que existe entre los individuos y el territorio. Tal interrelación, tiene por objeto la subsistencia de toda la comunidad y debe obedecer a determinadas reglas, las que regulan su normal aprovechamiento y garantizan un desarrollo sostenible.

El Marco para la Administración Efectiva de la Tierra aporta lineamientos que permiten desarrollar, renovar, reformar, fortalecer o modernizar los sistemas de administración y gestión de tierras (UN-GGIM, 2019).

Los mencionados lineamientos, consisten en nueve vías estratégicas que tienen por finalidad guiar la implementación del Marco para la Administración Efectiva de la Tierra y aproximar a la comunidad global a cumplir con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS).

A continuación, se detallan las nueve guías para la implementación del mencionado Marco para la Administración Efectiva de la Tierra:

- Gobierno, Instituciones y Responsabilidad
- Legal y Política
- Finanzas
- Datos
- Innovación
- Normas
- Asociaciones
- Capacidades y Educación
- Abogacía y Conciencia

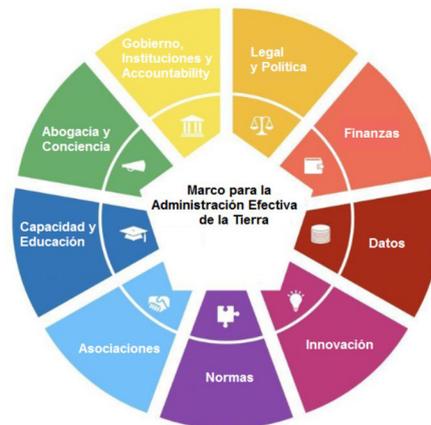


Figura 2. Nueve guías del Marco para la Administración Efectiva de la Tierra

Nota. UN-GGIM, 2019, https://ggim.un.org/documents/FELA_draft_final_Es.pdf

A los fines del presente trabajo, es oportuno señalar que lo inherente a los Datos presenta una relación directa con los Catastros Territoriales, ya que son tales organismos los encargados de administrar los datos correspondientes a todos los objetos territoriales legales de su jurisdicción, sean estos de derecho público o privado, comprendiendo aspectos tales como tenencia de la tierra, uso del suelo y valor de la tierra, por mencionar algunos. Los principales aspectos de la actividad catastral serán abordados en los apartados siguientes.

Catastro 2014 y los Objetos Territoriales Legales

Como fuera mencionado anteriormente, la Comisión 7 de la Federación Internacional de Agrimensores (FIG) ha elaborado y aprobado una visión para el desarrollo de los sistemas catastrales, quedando plasmados tales aspectos en el documento denominado Catastro 2014.

Es en tal sentido, que la Federación Internacional de Agrimensores (FIG) propuso se tome como referencia tal documento para desarrollar y reformar los sistemas catastrales a nivel mundial, señalando que el Catastro 2014 «es un inventario público metódicamente ordenado de datos relativos a todos los objetos territoriales legales, en un cierto país o distrito, basado en la medición de sus límites» (Comisión 7 - FIG, 1998).

De esta manera, queda incorporado en el léxico catastral el término «objeto territorial legal», en clara referencia a las cosas que se deben registrar en el Catastro Territorial y en el Registro de la Propiedad Inmobiliaria.

La definición de objeto territorial legal contenida en el texto original del documento Catastro 2014 expresa que «es una porción de territorio en el cual existen condiciones homogéneas dentro de sus límites»; agregando además que «estas condiciones están normalmente definidas por ley», y reconociendo que «cada sociedad crea las reglas para la coexistencia de sus miembros» (Comisión 7 - FIG, 1998).

Atento a lo antes indicado, cada vez que una ley fije idénticos parámetros jurídicos para una porción del territorio, independientemente que la norma sea de derecho público o privado, podemos llamar tal porción «objeto territorial legal». En síntesis, todo objeto territorial legal queda descrito por límites, los que establecen donde un derecho o restricción termina y donde comienza otro derecho o restricción.

Es así, que el objeto territorial legal será aquella porción del territorio con idénticos parámetros jurídicos, consistente en un continuo en lo que respecta a la aplicación territorial del derecho tanto público como privado.

A continuación se agrega una ilustración contenida en el documento Catastro 2014, donde se observa una porción de registro catastral con la presencia de parcelas coexistiendo con restricciones o limitaciones al derecho de propiedad. En un Catastro Territorial conforme a los lineamientos plasmados en el documento Catastro 2014, es posible reflejar la convivencia de diferentes objetos territoriales legales con una misma ubicación sobre la corteza terrestre, posibilitando representar la situación legal completa de misma, como se observa en la figura 3.

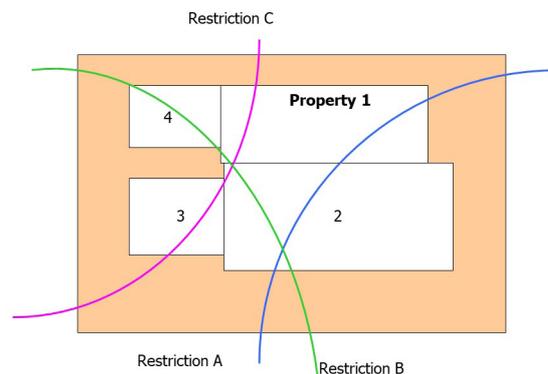


Figura 3. Declaración 1 - Catastro 2014: El Catastro 2014 indicará la situación legal completa del territorio, incluyendo derecho público y restricciones.

Nota. Adaptada por el autor de Comisión 7 - Federación Internacional de Agrimensores (FIG), 1998, <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastre2014/translation/c2014-spanish.pdf>

El poder alcanzar los principios instaurados en el documento Catastro 2014 por parte de las oficinas catastrales de cada jurisdicción, permite contar con inventarios públicos y metódicamente ordenados con información de todos los objetos territoriales legales de dichas jurisdicciones, de manera tal, que los Catastros Territoriales pasan a constituir verdaderas herramientas al servicio de la protección de los recursos naturales, para ser simultáneamente, un reflejo fidedigno con todos los elementos necesarios para garantizar la transparencia en tráfico inmobiliario.

Ley Nacional de Catastro N° 26.209

Para la República Argentina, lo recomendado en el documento Catastro 2014 y todo lo inherente a la tendencia de convertir los Catastros Territoriales en registros públicos de los objetos territoriales legales de cada jurisdicción, ha sido incluido en la Ley Nacional de Catastro N° 26.209, promulgada en el mes de enero del año 2007.

El artículo 1° de la mencionada ley expresa que los Catastros Territoriales «son los organismos administradores de los datos correspondientes a objetos territoriales y registros públicos de los datos concernientes a objetos territoriales legales de derecho público y privado de su jurisdicción».

Resulta oportuno señalar, que en el caso de aquellas porciones del territorio que presentan condiciones naturales homogéneas, tales como áreas cubiertas por bosques, zonas rocosas, salinas, pantanos, etc., en tal caso se trataría de simples objetos territoriales. Estos son objetos territoriales físicos, en virtud de que sus límites son definidos por leyes propias de la naturaleza y no impuestos por leyes generadas por el hombre. Por no revestir los mismos el carácter legal, no serían unidades a ser registradas en el Catastro Territorial (Bevacqua, 2015).

A los efectos de distinguir los objetos territoriales físicos detallados en el párrafo anterior, de los objetos territoriales legales que deben ser incorporados en el Catastro Territorial conforme lo señalado por la normativa catastral a nivel nacional, resulta oportuno observar la definición elaborada por Frickx y López (2018), miembros de la Academia Nacional de Agrimensura, quienes señalan que se denomina objeto territorial legal «a la porción de espacio georreferenciable, de límites determinados y constituidos con relación a cosa inmueble por naturaleza, de carácter jurídico». Para tales porciones del territorio si correspondería su registración catastral.

Los límites a los que se refiere la definición del párrafo anterior, son aquellos límites establecidos en leyes que contienen derechos o restricciones, los que serán reconocidos y respetados por todos los miembros de la sociedad, delimitando porciones uniformes del territorio en lo que concierne a sus parámetros jurídicos, resultando tales porciones del territorio objetos territoriales legales que deben ser registrados en el Catastro Territorial de la jurisdicción que corresponda.

En un esquema general, como el que se agrega a continuación, podemos observar como un Catastro Territorial con la información de cada objeto territorial legal inmueble parcela y de todos los objetos territoriales legales con los que coexiste, contribuye a conocer la situación legal completa de toda la jurisdicción, convirtiéndose así, en una herramienta fundamental para la efectiva administración de la tierra.

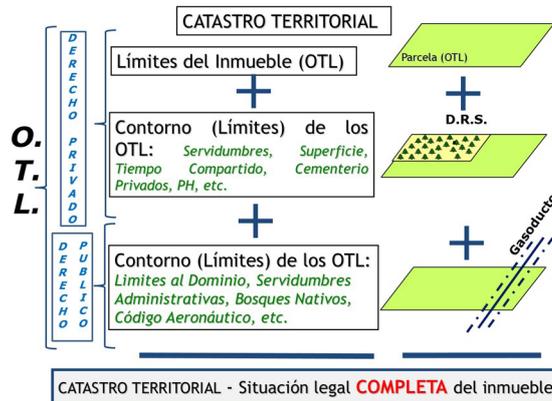


Figura 4. Esquema Catastro territorial con todos los objetos territoriales legales
 Nota. Elaboración propia.

La posibilidad de que el Catastro Territorial pueda representar la situación legal completa de una jurisdicción, se reafirma en lo expresado en el artículo 10° de la Ley Nacional de Catastro N° 26.209, el que indica que los objetos territoriales legales que no sean un objeto territorial legal parcela o cosa inmueble acorde a lo estipulado en mismo texto normativo, «serán asimismo determinados por mensura u otros métodos alternativos que garantizando niveles de precisión, confiabilidad e integralidad comparables a los actos de mensura, establezca la legislación local y registrados ante el organismo catastral, conforme las disposiciones de las legislaciones locales» (Herrera y Bevacqua, 2014).

Queda así instaurada la posibilidad de que el Catastro Territorial complete la información de su jurisdicción, todo ello, con la incorporación de aquellos objetos territoriales legales no parcelas, lo que permite reunir datos de todos los aspectos relacionados al territorio y que son útiles para su efectiva administración. En tal sentido se incluyen aspectos tales como tenencia de la tierra, uso del suelo, valor de la tierra, recursos naturales protegidos, infraestructura, entre otros.

Desafíos y proyecciones

En los apartados precedentes se analizó, atento al objetivo propuesto, si los Catastros Territoriales de Argentina disponen de un marco normativo nacional suficiente que permita generar la información requerida para la administración efectiva de la tierra y la implementación de políticas destinadas a alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). Se destaca que dicho análisis resulta de relevancia teniendo en cuenta que el abordaje de los ods es, aún hoy, un tema escasamente indagado por nuestra profesión en ámbitos académico y de ejercicio profesional.

Asimismo, resulta oportuno destacar que, a los catastros de cada jurisdicción del país, les compete el gerenciamiento de la información territorial por ser componentes fundamentales de la infraestructura de los datos espaciales. En tal sentido, los datos suministrados por dichos catastros para la efectiva administración de la tierra deben ser fidedignos y reflejar una realidad que está en constante cambio.

El Marco para la Administración Efectiva de la Tierra (fela) reconoce que los datos pueden provenir de una gran variedad de fuentes y es requisito, además, en materia catastral, poder disponer de una identificación normalizada para cada espacio territorial asociado a tales datos, con exactitud acerca de la duración en el tiempo y referencia a aquellos individuos a quienes se les atribuye un derecho, restricción o responsabilidad concerniente a dicho espacio territorial. El citado documento destaca la necesidad imperante de disponer con precisión espacial aceptable, con procesos de actualización sistematizada y el resguardo de la autoridad administrativa correspondiente, es decir los organismos catastrales de cada jurisdicción; ello, a los efectos de que los datos no sean inconsistentes, por cuanto se debilitará su uso y credibilidad frente a la sociedad. Asimismo, se establece que los organismos catastrales de cada jurisdicción deberán garantizar la disponibilidad, accesibilidad e interoperabilidad de los datos, ello, a partir de un marco conceptual genérico aportado por las Normas ISO 19152 como modelo unificado para el ámbito de la administración del territorio.

Surge de lo expresado en párrafos precedentes, el reto de ahondar en diversas líneas temáticas que representan nuevos desafíos para la investigación desde la agrimensura y que ameritan ser desarrollados en trabajos futuros. En ese sentido, hoy los ods nos interpelan a todos los profesionales de la Agrimensura para reflexionar sobre los mismos, coadyuvando al cumplimiento de la Agenda 2030.

Conclusiones

A lo largo del presente trabajo, se ha destacado cual es la tendencia a nivel internacional para los sistemas catastrales conforme señala la Federación Internacional de Agrimensores (FIG) por intermedio de su documento Catastro 2014.

Se dejó expresado además, que la República Argentina por intermedio de la Ley Nacional de Catastro N° 26.209 ha incorporado en su marco normativo nacional los preceptos que deben regir en materia catastral, los cuales son acordes a lo recomendado por la Federación Internacional de Agrimensores (FIG).

Todo ello, a los fines de que los Catastros Territoriales de cada una de las jurisdicciones del país puedan convertirse en administradores de los datos concernientes al territorio, con base en la registración de todos los objetos territoriales legales de derecho público y privado, mostrando de tal modo la situación legal completa del espacio territorial.

En función de lo antes detallado, se está en condiciones de asegurar que los Catastros Territoriales de Argentina cuentan con una legislación catastral nacional suficiente para generar la información requerida en los términos explicitados en el Marco para la Administración Efectiva de la Tierra (FELA), contribuyendo así con la implementación de políticas públicas asociadas a alcanzar en el futuro los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS).

Se espera que este trabajo pueda servir como aporte para futuras investigaciones, que permitan profundizar la aplicación de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) desde los Catastros Territoriales de Argentina.

Referencias bibliográficas

Bevacqua C. (2015). *Identificación, Clasificación y Registración de los Objetos Territoriales Legales*. Editorial Científica Universitaria.

Comisión 7, Federación Internacional de Agrimensores - FIG (1998). Cadastre 2014. URL: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastre2014/translation/c2014-spanish.pdf>

Frickx N. y López W. (2018). Objetos territoriales legales. URL: <https://www.academianacionaldeagrimensura.org>

Grupo de Expertos en Administración y Gestión de Tierras Comité de Expertos de las Naciones Unidas sobre la Gestión Global de Información Geoespacial - UN-GGIM (2019). Marco para la Administración Efectiva de la Tierra (FELA). URL: https://ggim.un.org/documents/FELA_draft_final_Es.pdf

Herrera H. y Bevacqua C. (2014). *Introducción a los Objetos Territoriales Legales*. Editorial Científica Universitaria.

Ley Nacional de Catastro N° 26.209 (2007). URL: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/120000-124999/124298/norma.htm>

Naciones Unidas (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

La Agrimensura y la planificación urbana. Análisis de la normativa, ejemplo de la ciudad de Bahía Blanca

Surveying and urban planning. Analysis of the regulations, example of the city of Bahía Blanca

De Aduriz, Ana Maria; Schenone, Marcela Esther; Bergallo, Cecilia Elizabeth; Pessolano, Pablo Fernando; Lemarchand, Solange Yesica

Universidad Nacional del Sur. Departamento de Ingeniería. Área 13 Agrimensura Legal y Catastro; Argentina

DOI: 10.59872/icu.v7i9.420

Correo de correspondencia: amdeauriz@yahoo.com.ar

Recepción: 24/05/2023; Aceptación: 23/08/2023;

Publicación: 19/04/2023

Palabras claves: Agrimensura; Planificación Urbana; Regularización Dominial; Normativa; Desigualdad.

Keywords: Surveying, Urban Planification; Regularization; Normative; Inequality

Resumen

La participación del Ingeniero Agrimensor en los trazados de las ciudades y en el crecimiento de las mismas es de vital importancia ya que permite un abordaje particular del límite territorial, de los objetos territoriales legales que lo conforman, de la problemática de la vivienda, del mercado de suelo y del ordenamiento territorial.

El presente proyecto de investigación, del cual se presenta un estado de avance, se orienta a revisar, analizar y proyectar la actuación de la Agrimensura en el desarrollo urbano de la ciudad.

La metodología utilizada, en términos generales, comienza con la revisión bibliográfica orientada a la elaboración de los lineamientos conceptuales que guían la investigación, la recopilación y análisis de la normativa referida al ordenamiento territorial en el ámbito nacional, provincial y municipal, continúa con la selección y análisis de los datos obrantes en los diferentes organismos públicos y la identificación de la problemática en el terreno para vincular e interrelacionar estos tres aspectos. Termina con la discusión de los resultados y elaboración de las conclusiones.

Los principales resultados hasta ahora indican que, si bien existen los instrumentos jurídicos y técnicos para la solución de los problemas, las tareas de gestión y administración son lentas e insuficientes.

Abstract

Surveying and the The participation of the Surveyor Engineer in the layouts of the cities and in their growth is of vital importance since it allows a particular approach to the territorial limit, of the legal territorial objects that comprise it, of the problem of housing, the land market and territorial ordering.

This research project, of which a state of progress is presented, is aimed at reviewing, analyzing and projecting the performance of Surveying in the urban development of the city.

The methodology used, in general terms, begins with the bibliographical review oriented to the elaboration of the conceptual guidelines that guide the investigation, the compilation and analysis of the regulations referring to territorial planning at the national, provincial and municipal level, continues with the selection and analysis of the data available in the different public organizations and the identification of the problem in the field to link and interrelate these three aspects. It ends with a discussion of the results and elaboration of the conclusions.

The main results so far indicate that, although the legal and technical instruments exist to solve the problems, the management and administration tasks are slow and insufficient.

Introducción

La gestión del territorio se enmarca en el concepto de ordenamiento territorial, que es la expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de toda la sociedad, que se llevan a cabo mediante determinaciones que orientan el accionar de los agentes privados y públicos sobre el uso del suelo. El ordenamiento territorial es una política pública, destinada a orientar el proceso de producción social del espacio mediante la aplicación de medidas que tienen por finalidad la mejora de la calidad de vida de la población, a través de su integración social en el territorio y el uso y aprovechamiento ambientalmente sustentable y democrático de los recursos naturales y culturales.

También permite garantizar condiciones adecuadas de localización, accesibilidad, extensión y provisión de servicios de infraestructura esenciales, equipamientos públicos y transporte; orientando las inversiones públicas y privadas en un marco de previsibilidad y seguridad jurídica, determinando los objetivos y las estrategias, instrumentados a través de planes, en cuyo proceso de elaboración la participación garantiza el consenso y aval de la comunidad.

Otorga la necesaria mirada de integralidad, evitando las resoluciones fragmentadas de los problemas, anticipándose para orientar los procesos de crecimiento, optimizar recursos y hacer más eficiente el gasto público y las asignaciones presupuestarias, disminuyendo potenciales conflictos sociales y problemas de gestión.

Cabe agregar que, en la actualidad, y debido a los procesos de urbanización cada vez más acelerados, un alto porcentaje de la población de América Latina reside en las ciudades. Dicha urbanización se ha realizado muchas veces sin planificación alguna, generando problemas de desigualdad social, informalidad, problemas ambientales y de infraestructura, entre otros.

Objetivos

Identificar el marco normativo que ha regulado y regula actualmente la actividad agrimensural en el desarrollo urbano y sus consecuencias para la ciudad de Bahía Blanca.

Analizar el crecimiento urbano, las desigualdades y conflictos de tenencia de la tierra, y los distintos abordajes que se han ido aplicando en las últimas dos décadas. Resultados y posibilidades de cambios.

Método

- Revisión bibliográfica orientada a la elaboración de los lineamientos conceptuales que guían el desarrollo de la investigación.
- Recopilación de la normativa referida al ordenamiento territorial en el orden nacional, provincial y municipal, en particular sobre la política de ley nacional N° 24146, Programa arraigo, y su reglamentaria provincial, así como también del Plan familia propietaria, pcia de Bs. As.
- Análisis de los datos obrantes en los diferentes organismos públicos, sobre la aplicación de dichas leyes.
- Identificación de la problemática en el terreno, comparando datos de la mancha urbana, su crecimiento en la ciudad dual, (formal e informal) según sea el gestor un privado o el Estado.
- Discusión de los resultados y elaboración de las conclusiones.

Desarrollo

Ámbito de estudio

El ámbito de estudio es la ciudad de Bahía Blanca. La misma se encuentra ubicada al sur de la provincia de Buenos Aires. Está ubicada a 670 km aproximadamente de CABA y muy cerca de la zona patagónica, siendo sus coordenadas 38°43' S y 62°16' O. El partido abarca unos 2.100 km², la ciudad unos 130 km² y tiene una población, según el último censo 2010, de 320.000 habitantes.

La ciudad se ha consolidado como uno de los más importantes centros comerciales, culturales, educativos y deportivos del interior del país. Además, cuenta con importantes museos y bibliotecas y su infraestructura turística incluye circuitos arquitectónicos, paseos y parques. Constituye un nudo de transportes y comunicaciones entre los flujos económicos del suroeste de la provincia y del valle del Río Negro. Además, gracias a su infraestructura terrestre, marítima y las cercanías al puerto comercial de aguas profundas ubicado en Ingeniero White, establece relaciones a nivel regional, nacional e internacional.

Un poco de historia

Desde la época del Virreinato del Río de la Plata, y la conformación posterior del territorio de la nación, la Argentina se consolida formalmente como Nación en 1862, al cesar la confrontación entre la Confederación y Buenos Aires, adoptándose entonces la Constitución Nacional de 1853. Se conforma por la unión de provincias preexistentes que habían alcanzado un desarrollo económico y social acorde a la época y a su ubicación geográfica.

Las 14 provincias originales no alcanzaban a los denominados posteriormente territorios nacionales, que serían luego las provincias más jóvenes que comprendían en ese momento la Patagonia argentina y el Gran Chaco.

En la Constitución Nacional se establece el sistema federal, las provincias cedieron al poder central los controles indispensables para asegurar la organización nacional (defensa, moneda, relaciones exteriores, aduanas, navegación, etc.) y se reservaron la

soberanía en todo aquello que no consta específicamente delegado a la Nación en la Constitución. Estas cuestiones conforman el conjunto de las potestades o facultades conocidas como «reservadas» o «no delegadas».

En ese sentido, todo lo concerniente a las normas sobre el territorio, el Catastro y la división del suelo, son potestades reservadas por las provincias, por lo que cada una de ellas regirá de diferente manera sobre el tema.

Provincia de Buenos Aires

En la provincia de Buenos Aires, los trazados de los pueblos se realizaron en base a las Leyes de Indias, luego adaptadas y reguladas por las Instrucciones Generales para agrimensores de la provincia, emitidas por el Dpto. Topográfico, antecedente de la Dirección de Geodesia de la provincia en el año 1861.

Con la creación y construcción de la capital provincial, la ciudad de La Plata, la provincia toma fuerza y se organiza en los primeros años del siglo xx, generando el dictado de casi todas las normas originarias relacionadas con el tema del Catastro, Tierras y Registro

Se reconoce como el antecedente formal a la Ley de Creación y ampliación de ejidos. N° 3487/1913. A esta le suceden diferentes normas, entre las que destacan las que regulan las profesiones, en 1929, la Ley general de Catastro parcelario, en 1935 y sus modificatorias, hasta la actual ley N° 10707. También se dictan las Instrucciones Generales para agrimensores 1940, la reglamentaria a la ley de ejidos decreto N° 7015/44, normas para la subdivisión, cesiones, calles etc. y loteos especiales y las normas para barrios residenciales y barrios parques en 1965.

Con posterioridad se reemplaza la ley de ejidos del año 1913 por la actual norma sobre ordenamiento territorial, división y uso del suelo: el decreto -ley N° 8912/77 y sus reglamentarias y modificatorias.

Esta ley establece las dimensiones mínimas de las parcelas: 12 mts. de frente por 300 m² de superficie. Fija los Indicadores urbanísticos, la cesión de espacios públicos en base a la densidad poblacional prevista, la instalación de servicios esenciales y define pautas para la gestión del territorio.

La última ley que también modifica parte de los artículos del decreto ley N° 8912 y establece formas especiales de acceso al suelo, es la ley N° 14449 del año 2012, conocida como de Acceso justo al hábitat.

Tiene como alcances en su artículo 1°:

- a) *Promover la generación y facilitar la gestión de proyectos habitacionales, de urbanizaciones sociales y de procesos de regularización de barrios informales.*
- b) *Abordar y atender integralmente la diversidad y complejidad de la demanda urbano habitacional.*
- c) *Generar nuevos recursos a través de instrumentos que permitan, al mismo tiempo, reducir las expectativas especulativas de valorización del suelo.*

Establece cuatro programas:

Programa de lotes con servicios	Régimen de integración socio urbana	Programa de créditos para mejoramiento del hábitat	Programa de Capacitación a los Municipios y particulares
---------------------------------	-------------------------------------	--	--

Análisis de los diversos modos de división parcelaria, nuevas geometrías para barrios de vivienda o planes del Estado, según las épocas, normas vigentes y uso del suelo para la ciudad (corte para los últimos 20 años).

En general se pueden reconocer dos grandes modos de clasificar la división del suelo según los agentes que la proponen. En ese sentido se establece la siguiente división:

1) Propuesta por particulares

Las normativas en general prevén según las zonas, usos unifamiliares, bifamiliar o multifamiliares, parcelas regulares, simétricas y con cumplimiento de los indicadores urbanísticos respectivos de frente y superficie. Continuidad de calles preexistentes e instalación de servicios esenciales para su aprobación.

Los modos de división pueden ser: a) Régimen común, b) Propiedad horizontal y c) Conjuntos inmobiliarios.

Dichas normas contemplan excepciones para casos especiales, tales como los conjuntos habitacionales integrales, que son aquellos que suponen la creación de la parcela más la edificación.

En general, según nuestro estudio, (datos de planos en Cartoarba) las divisiones de particulares se han desarrollado en el área N y NE de la ciudad, donde la zonificación está tipificada como Residencial parque, Rp1 y Rp2, con indicadores urbanísticos según la siguiente tabla:

Tabla 1. Indicadores urbanísticos según zona en Bahía Blanca

Zona	Frente (mts)	Superficie (m2)	Densidad (Hab/ha)	Uso
Rp1	20	600	150	unifamiliar
Rp2	17	400	150	bifamiliar

Según un estudio del Dpto Catastro, para la Agencia de Planificación Urbana y el HCD de 2009, podemos destacar el modo de utilización, según la década, del modo de dividir por el régimen común o por propiedad horizontal, según la localización territorial o la zona en que se encuentra el inmueble, llegando en los últimos años a un equilibrio entre ambas modalidades que implican densificación o expansión territorial. Ver Fig.1,2 y Tabla 2.

Tabla 2. Cantidad de parcelas/partidas según régimen de división elegido

Años	Cantidad de partidas	Parcelas	Unidades Funcionales
1980	137300	2011	6362
1986	147000		
1996	159700	2207	7733
2005	172100	5751	5513
2009	178200	1501	2412

Fuente: Dpto Catastro. MBB

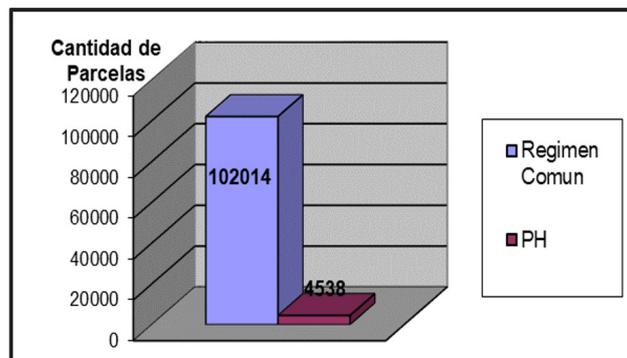


Figura 1. Cantidad de parcelas con servicios según la modalidad de subdivisión.

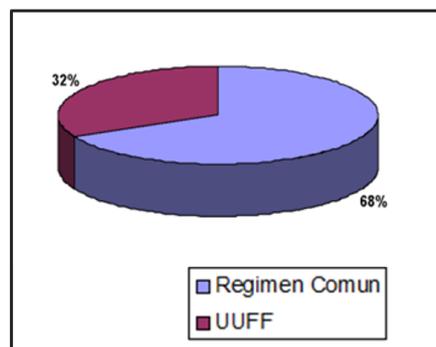


Figura 2. Partidas según división.

2) Propuestos por el Estado

La normativa en general, ha sido la excepción a la norma vigente en función de un interés social, las parcelas se exceptúan del cumplimiento de los indicadores de la zona, aprobándose nuevos mínimos. Por ejemplo:

-El Programa Arraigo Ley Nac. N° 23967- (tierras del Estado Nacional). Decreto N° 591/92- D.U.P. (distrito de urbanización prioritaria. Eran tierras de propiedad del FFCC y de Vialidad Nacional Parte de esas tierras, se encontraban usurpadas de antigua data.

Dichas tierras se desafectaron de su destino original, según el decreto indicado, y por convenios entre la Nación (en ese momento el ONABE) más el Municipio y la Provincia, se organizó su regularización dominial.

Esta decisión supuso un trabajo previo de importante magnitud. Efectivamente, en principio, esta tarea implicó la realización de las mensuras, tanto para regularizar y generar las parcelas ocupadas, como también para generar parcelas nuevas, libres de edificación (ver fig. 3) para erradicar en aquellos casos que era necesario (ver fig. 4). Esta primera instancia se llevó a cabo con profesionales de la Agrimensura, en el marco de un convenio celebrado con el Consejo Profesional, Distrito III. También trabajaron referentes vecinales y los técnicos de los tres niveles de Estado para arribar a acuerdos de geometría parcelaria, calles, mejoramiento de vivienda u obras nuevas. Esta tarea se realizó durante la primera parte de la década del 90, y en la misma se respetó la geometría parcelaria, que responde exclusivamente a la ocupación efectiva.

Se dictaron, también, los decretos provinciales que avalaban la excepción, más las ordenanzas municipales correspondientes. Es importante destacar que la gran mayoría de las parcelas generadas aún no han sido escrituradas.



Figura 3.- División sector ocupado Programa Arraigo, afectadas a la regularización, parcelas según posesión. Fuente: Dpto. Catastro- MBB.

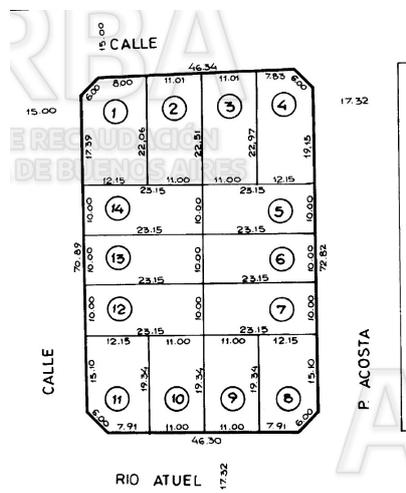


Figura 4.- División típica del mismo programa arraigo sobre tierra baldía, para erradicación de otros sectores. Fuente: www.carto.arba.gov.ar

-Planes federales de vivienda I y II

Estos se desarrollaron sobre tierras del Estado en el primer caso y sobre tierras de particulares, en general sindicatos, en el segundo.

El fraccionamiento se realizó por normas de excepción, similares a las aplicadas en programa arraigo, inclusive con dimensiones especiales para no someter a las viviendas construidas al régimen del derecho real de propiedad horizontal. Ver figura 5 y 6.

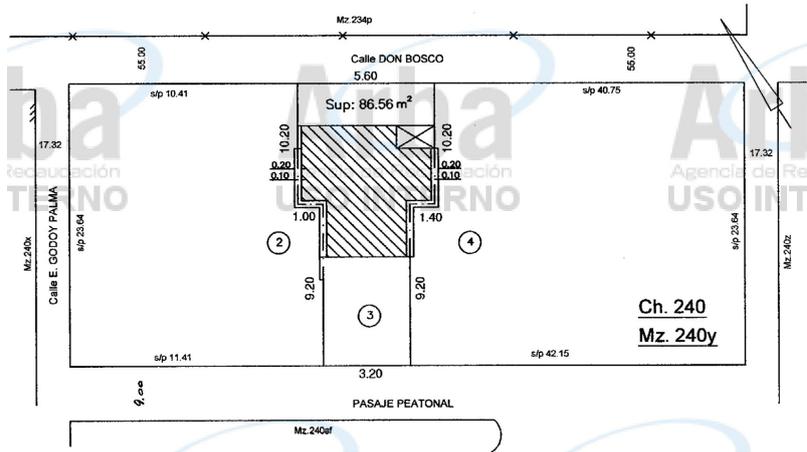


Figura 5. Parcela con dimensiones especiales.

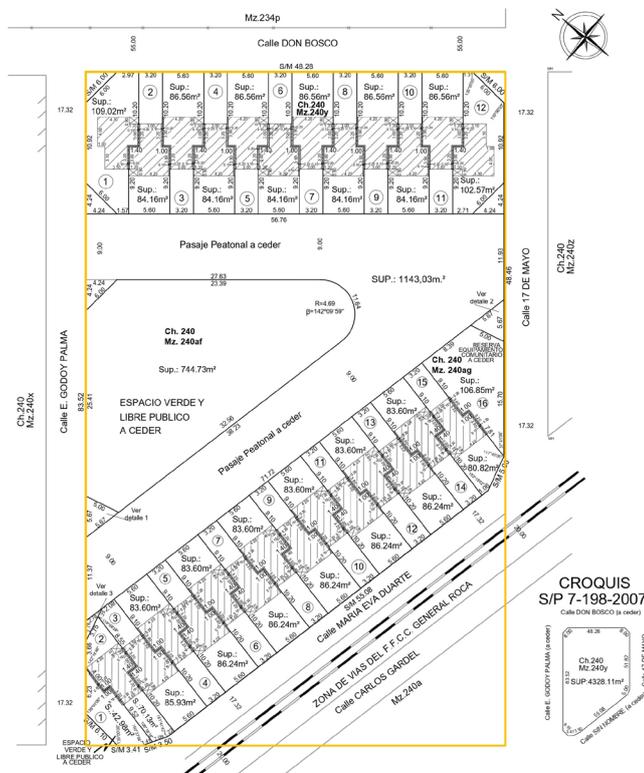


Figura 6. - Conjunto de parcelas en manzanas.

Se generaron parcelas con la geometría aprobada de 10 mts de frente y 250 m² de superficie- En general para Plan Federal I, en todo el sector comprendido por las Chacras originales del FFCC identificadas como Ch 343 y 344. Ver fig. 7.



Cantidad de parcelas: 1050
 Áreas verdes: 47619 m²
 Equipamiento comunitario: 48540 m²

Figura 7. División para Plan federal I Ch 343 y 344. Fuente: Elaboración propia sobre plano en www.bahia.gov.ar

Vale también mencionar aquellas leyes que se refieren a la escrituración social, que concretan la regularización dominial como la Ley Orgánica de la Escribanía general de Gobierno de la Provincia de Buenos Aires N° 10830 que contempla la escrituración social, la ley N° 11622, de consolidación dominial con fines sociales y la ley nacional N° 24374, ya que su decreto provincial de implementación ha permitido la generación de parcelas cuya geometría o modo de división es también una excepción a las normas previstas en el decreto ley N° 8912, y que merecen un análisis particular en otro trabajo. Solo se la menciona como antecedente, porque ha sido reiteradamente utilizada desde su sanción en 1994 y ha servido para muchas regularizaciones dominiales tanto de parcelas individuales como de barrios enteros, aunque no es aplicable a inmuebles del Estado.

-Programas provinciales. Urbanizaciones sociales planificadas (ex Plan familia propietaria)

Las mismas se aplicaron sobre tierras de la provincia de Buenos Aires, adquiridas a la Nación en los términos previstos en la ley nacional N° 24146 y reglamentarios provinciales.

El convenio marco se realizó entre la provincia y la municipalidad de Bahía Blanca y estableció un Plan director de Tierras, con un proyecto urbano de sector, definiendo áreas de parcelamiento, vías de circulación, cesión de espacios públicos, etc. Todo fue convalidado en una ordenanza de excepción a la zonificación vigente.

En la provincia se dictó el decreto N° 807/95 que define las dimensiones especiales para Plan familia propietaria, en 10 mts de frente y 250 m² de superficie (Fig.8) Estas no eran tierras ocupadas con anterioridad, sino tierra libre de mejoras, generando así parcelas baldías en su totalidad.

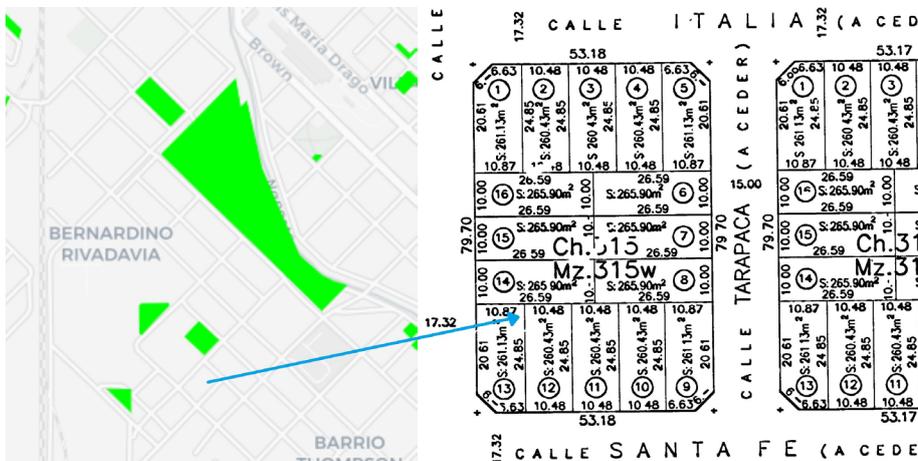
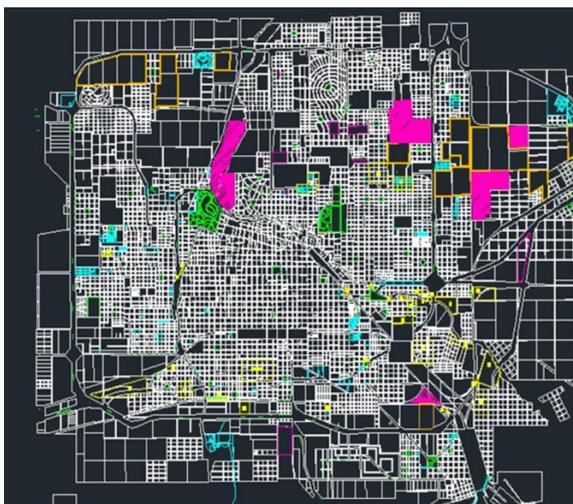


Figura 8. Plan familia propietaria Decreto N° 807/95. Fuente: Dpto. Catastro. MBB

En general, todos los planes oficiales se ubican sobre la franja de vulnerabilidad del área sur de la ciudad.

Además, de estos planes oficiales, existen una serie de asentamientos informales, que han ido ocupando tierras públicas y privadas desde la misma época del 90, aproximadamente y se han establecido nuevas localizaciones, villas y asentamientos que se han dado a partir de la década del 2000, 2010 y que siguen ampliándose, todas con un alto impacto ambiental, situaciones que en general desde la gestión estatal no se ha dado respuesta.

Así, existen vacíos reales de propiedad privada a dividir, vacíos con un uso específico en general como clubes, universidad, etc., que difícilmente modifiquen ese destino, y los asentamientos y/o villas censados y registrados en los términos de la ley de hábitat provincial N° 14449 y también identificados por el Renabap. Registro nacional de barrios populares. Figura 9.



- Vacíos a dividir, propiedad de particulares
- Usos especiales, clubes, universidad
- Asentamientos, a regularizar según registro de la ley de Hábitat provincial y el Renabap

Figura 9. Plano de vacíos reales, usos especiales y asentamientos populares.
Fuente: Elaboración propia, en base a datos de Dpto. Catastro y Hábitat provincia.

La identificación de la tipología de los barrios a incorporar en el Registro surge del artículo 27 de la Ley N° 14.449: villas y asentamientos precarios.

En la ciudad de Bahía Blanca, se adhirió a la ley de hábitat mediante la ordenanza N° 18675. De los 4 programas que se mencionaron, para el de «lotes con servicios», se presentaron más de 30 propuestas, de las cuales solo se ha avanzado inicialmente con 3 de ellas. Si bien la pandemia, puede haber influido en los tiempos de gestión, la dinámica administrativa entre la provincia y el municipio es demasiado lenta para poder afrontar el problema de acceso al suelo con parte de esta política y frenar e intervenir de algún modo en la absoluta libertad del mercado inmobiliario. Máxime cuando las ordenanzas de adhesión y los expedientes (Fig. 10) tienen más de 8 años, en algunos casos.

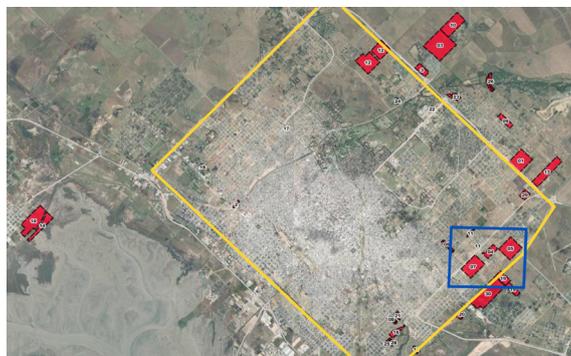


Figura 10. Mapeo de ofrecimiento de tierras para afectar a programa lotes con servicios.
Fuente: Central territorial de datos Dpto. Catastro. MBB

De las 30 propuestas, por diferentes motivos, solo se ha avanzado en 3. Algunos de los motivos son porque están por fuera del área urbana y no se considera posible urbanísticamente avanzar en la expansión de la mancha urbana por esos sectores;

otras se encuentran en zonas degradadas o con fines industriales o mixtos, lo que los hace inviables para el Banco de tierras. Se perdió mucho tiempo en trámites burocráticos, administrativos y diferencias políticas, que desaprovecharon el impulso inicial de la aplicación de la norma.

Resultados de la implementación de la ley de hábitat en B. Blanca, Ordenanza N° 18675.

Existen dificultades relacionadas también con los conceptos de plusvalía que plantea la ley de hábitat, la inestabilidad económica de este país que dificulta su implementación y la falta de decisión política para aplicarlo. Tampoco se ha avanzado en el programa de Regularización dominial de villas y asentamientos que dicha ley prevé, y se nota un crecimiento de la mancha urbana de cada una de ellos, que no se detiene. Esto es motivo de otro estudio particularizado. Ver figura 11 y tabla 3.

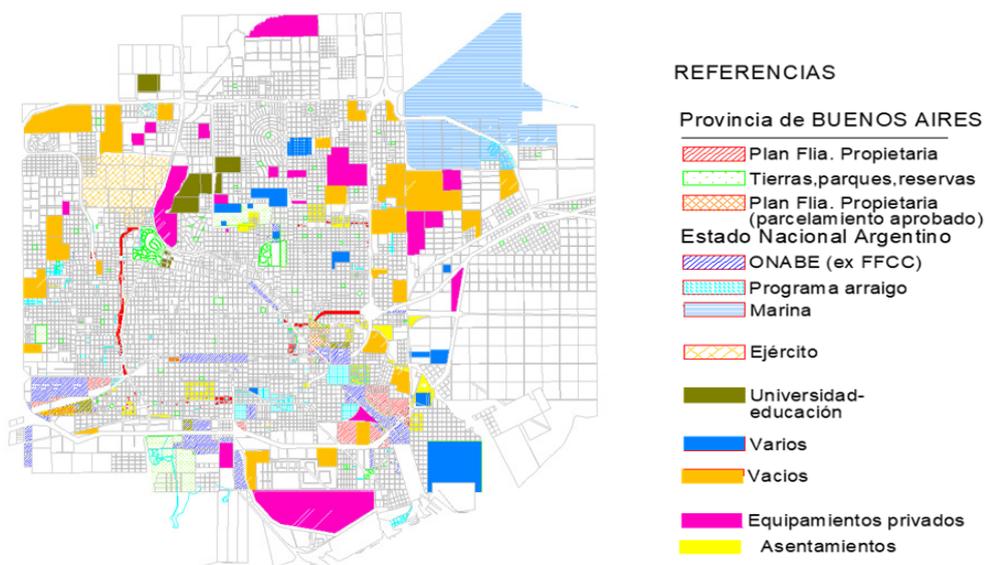


Figura 11. Vacíos urbanos y referencias

Tabla 3. Superficie en % sobre total del área urbana

Identificación del espacio	Superficie en Hectáreas (%)	
Ejido considerado	11000	100%
Vacíos reales privados	783	7%
Equipamiento privado	473	4 %
Ejército	351	3 %
Parques y espacios públicos .reservas	600	6 %
Universidad	125	1%
Vacíos del Estado	490	4 %
Calles	Calculo aproximado	12 %
Loteado a cubrir	Calculo aproximado	13 %
Mancha urbana actual	5000	50 %

Entre 2009 y 2019, según análisis de los planos de mensura aprobados, tanto en la página de Carto-Arba, como en la página del CPA, www.cpa.org.ar más alguna consulta municipal, comparado con los datos publicados por Hábitat de Provincia, <https://www.gba.gob.ar/habitat> y el análisis propio de crecimiento de la mancha urbana, se puede decir que:

- Parcelamiento aprobado oficial y privado: 254 ha
- Parcelamiento según registro de villas y asentamientos: 468,50 ha

Claramente, la velocidad de la oferta es muy inferior a la demanda, sin analizar los costos y la posibilidad de acceso a las parcelas creadas formalmente. Fig.12.



Figura 12. Comparativo de Ha. Ocupadas oficial y no oficial.

En este punto, solo indicar el concepto de ciudad dual, que vienen trabajando diversos actores, en particular el término lo acuña el sociólogo Manuel Castells, «La ciudad informacional». Madrid: Alianza Editorial, 1995. Concepto de ciudad dual.

«La estrategia debe relacionar ambas realidades, lograr territorios más justos, que se complementen, con actividades superpuestas, espacios públicos comunes y atractivos, densidades moderadas, una sociedad más segura e inclusiva».

Este fenómeno se da en diversas ciudades de escala intermedia a la que Bahía Blanca no es ajena, conviven zonas urbanas altamente cualificadas y otras donde impera una decadencia física sin precedentes, debido a una distribución desigual de la riqueza.

Existen no solo problemas o desafíos en cuanto a la integración social y física sino también problemas asociados al cambio climático, es decir, el aumento de la temperatura del planeta provocado por las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero, y todo esto supone acciones y desafíos a resolver de manera urgente.

Tabla 4. Comparativo entre ciudad formal e informal

Ciudad formal	Ciudad informal
<input type="checkbox"/> Arquitectura de calidad	<input type="checkbox"/> Urbanismo espontáneo
<input type="checkbox"/> Estructura urbana y económica polarizada	<input type="checkbox"/> Pobreza y exclusión
<input type="checkbox"/> Loteos privados, residencial parque	<input type="checkbox"/> Segregación espacial
<input type="checkbox"/> Crecimiento económico	<input type="checkbox"/> Normas de excepción, geometría y servicios

Conclusiones

Las políticas de generación de suelo y de vivienda no alcanzan a cubrir la demanda existente.

Se advierte que sigue existiendo una ciudad formal y otra informal, que no se detiene. Alta incidencia y complejidad y conflictividad derivadas de la informalidad urbana.

Si bien se han dictado normas de adhesión a la ley de hábitat que permitirían una intervención más fuerte del estado municipal en el mercado inmobiliario, por diversas razones no se aplican.

No se ha avanzado por ende en un Banco de Tierras que permita afrontar las demandas de suelo y los programas de vivienda que surjan.

Hasta ahora no hay planes de regularización dominial de los asentamientos y villas, a pesar de que se firmó un convenio marco con el Consejo Profesional de Agrimensura de la Provincia de Buenos Aires, que entre sus fines generales lo incluye.

Tampoco se ajustan los tiempos administrativos de ambas jurisdicciones, municipal y provincial, tornando los trámites y gestiones demasiado lentos, burocráticos y sin la rapidez esperable frente a la dinámica de la ocupación informal.

Bibliografía

Castells, M. (1995). «La ciudad informacional». Madrid: Alianza Editorial.

Chesñevar C. (1986). «El agrimensor en la planificación urbana». VII Congreso Nacional de Agrimensura, Córdoba.

Chesñevar C. (1993). «La descentralización como instrumento para la racionalización». I Jornadas de Planeamiento Físico y Desarrollo del Sur de la Provincia de Buenos Aires, Bahía Blanca.

Chesñevar C. (1993). «Legislación y realidad». I Jornadas de Planeamiento Físico y Desarrollo del Sur de la Provincia de Buenos Aires, Bahía Blanca.

Chesñevar C. (1995). «El Catastro Territorial y su marco legal en la Argentina». III Congreso Latinoamericano y VI Nacional de Agrimensura, Punta del Este, Uruguay.

Chesñevar C. (1997). «El marco legal y el desarrollo urbano en Bahía Blanca». VI Encuentro de Geógrafos de América Latina (Facultad de Filosofía y Letras de la U.B.A., Buenos Aires, mar/97).

Chesñevar C. (1997). «La normativa legal sobre división y uso del suelo y su incidencia en la preservación o desaparición de referentes culturales urbanos». VIII Jornadas Cuyanas de Geografía, Fac. de Filosofía y Letras de la Univ. Nac. de Cuyo, Mendoza.

Chesñevar C. (1998). «El Estado en el ordenamiento urbano. Su rol como gestor y sus contradicciones como actor». XVIII Congreso de Geografía de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, Valparaíso.

Código Civil y Comercial Argentino. Códigos de la edificación de Bahía Blanca. Código de Planeamiento Urbano de Bahía Blanca y ordenanzas modificatorias.

HCD. Honorable Concejo Deliberante de la Ciudad de Bahía Blanca, Diario de Sesiones, Ord. MBB N° 17515 Programa de Movilidad del Suelo Urbano Inactivo y Desarrollo Urbanístico.

Poder legislativo de la Provincia de Buenos Aires, Ley Provincial N° 14449 «de Acceso Justo al Hábitat».

Lincoln Institute. Publicaciones varias

Rocatagliatta, J. (2008). «Argentina, una visión actual y retrospectiva de la dimensión territorial». Emece.

Subirats, J. (Coord.) (2002): «Redes, territorios y gobierno. Nuevas respuestas a los retos de la globalización». Diputació de Barcelona. Xarxa de Municipis. Barcelona.

Trivelli, P. (2000). «Gestión Urbana para el Desarrollo Sustentable de las Grandes Ciudades Latinoamericanas». Publicación de la Conferencia Regional para América Latina y El Caribe. Gestión Urbana para el Desarrollo Sustentable. Río de Janeiro, Brasil.

Winchester, Lucy. (2008). «La dimensión económica de la pobreza y precariedad urbana en las ciudades latinoamericanas. Implicaciones para las políticas del hábitat». Revista EURE vol XXXIV, N° 103.

Zingoni, J. (2014) «Gobernar la ciudad, desarrollo local». Extensión UNS.

www.carto.arba.gov.ar

www.bahia.gob.ar

www.cpa.org.ar

<https://www.gba.gob.ar/habitat->

<http://www.mosp.gba.gov.ar/institucional/historia.php>

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Microgeodesia, método de intersección en la determinación de los ejes del láser utilizado en AGGO (Observatorio Geodésico Argentino Alemán)

Microgeodesy, intersection method in the determination of the laser axes used in AGGO (German Argentine Geodetic Observatory)

Mangiaterra Wischnivesky, Aldo Oscar ^{1,2}; Calvo Pascual Joaquín ^{1,2}

¹ Universidad Nacional de Rosario

² Colegio de Profesionales de la Agrimensura de la Provincia de Santa Fe

DOI: 10.59872/icu.v7i9.429

Correo de correspondencia: aldomangiaterra@gmail.com

Recepción: 17/06/2023; Aceptación: 11/12/2023;

Publicación: 19/04/2023

Palabras claves: punto invariante, precisión, microgeodesia, SLR, AGGO

Keywords: invariant point, precision, microgeodesy, SLR, AGGO

Resumen

En el Observatorio Geodésico Argentino Alemán se utiliza, entre otras, la técnica Satellite Laser Ranging, consistente en medir distancias a satélites. El objetivo de este trabajo es conocer la posición del punto principal del instrumento láser, es decir el punto origen de las distancias que mide ese instrumento. Esto resulta necesario para determinar la posición relativa entre las distintas técnicas geodésicas utilizadas en este observatorio. En las mediciones efectuadas se ha utilizado instrumental de precisión (estación total y teodolito) aplicando el método de intersección.

En este artículo, recurriendo a conceptos de la microgeodesia, se expone la definición convencional de tal punto principal del instrumento (punto invariante), las mediciones realizadas, los cálculos efectuados y la precisión resultante, demostrando que la misma es mejor que la obtenida con el método tradicional de relevamiento radial.

Abstract

At the German Argentine Geodetic Observatory, the Satellite Laser Ranging technique is used, among others, which consists of measuring distances to satellites. The objective of this work is to know the position of the main point of the laser instrument, that is, the origin point of the distances measured by that instrument. This is necessary to determine the relative position between the different geodetic techniques used in this observatory. Precision instruments (total station and theodolite) were used in the measurements carried out, applying the intersection method.

In this article, resorting to concepts of microgeodesy, the conventional definition of such main point of the instrument (invariant point), the measurements made, the calculations carried out and the resulting precision are presented, demonstrating that it is better than that obtained with the traditional radial survey method.



Introducción

Para muy diversos fines es fundamental contar con un sistema único mundial de referencia al cual referir los puntos del espacio que componen y rodean nuestro planeta, lo que permite correlacionar información de distintas fuentes y de distintas épocas. A la vez, es necesario que ese sistema sea lo más preciso posible.

El marco de referencia terrestre internacional ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) es el resultado del cálculo combinado de cuatro redes, las que son medidas mediante cuatro técnicas diferentes llamadas: VLBI, SLR, GNSS y DORIS (Altamimi *et al*, 2016). Aquellos observatorios geodésicos que cuentan con más de una de esas técnicas, como es el caso de AGGO, resultan fundamentales. Es necesario conocer la vinculación espacial entre los puntos principales de tales instrumentos. Gracias a la posibilidad de medir, mediante métodos terrestres, la posición relativa de los instrumentos correspondientes con mejor precisión que la que brindan las técnicas mencionadas, se introducen tales valores diferenciales como observaciones en el cálculo combinado del ITRF, logrando su mejoramiento.

Esa determinación de posición relativa es lo que se conoce como colocalización. Se trata de mediciones de alta precisión en espacios reducidos, aplicando microgeodesia (Chueca Pazos *et al.*, 1996).

Para efectuar la colocalización es necesario determinar con precisión la posición espacial de los puntos principales de cada uno de los instrumentos que utiliza cada técnica.

En este trabajo se presenta una metodología que, haciendo uso de la microgeodesia, pretende determinar el punto principal del telescopio SLR con una precisión mejor que ± 1 mm.

Objetivo

Determinar la ubicación de los ejes principal (o vertical) y secundario (u horizontal) que permiten ambos giros del telescopio del instrumento que es utilizado en la técnica geodésica denominada SLR en el observatorio AGGO.

Teóricamente ambos ejes deberían interceptarse, pero sabemos que ningún instrumento es perfecto y, por lo tanto, es posible que los ejes sean rectas albeadas.

En tal caso, por convención, se considera punto principal al punto del eje principal más próximo al eje secundario.

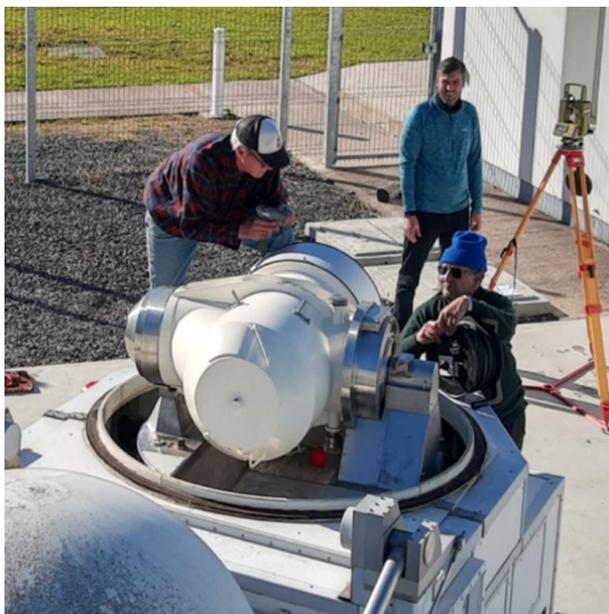


Figura 1. Foto del instrumento SLR.

Materiales y métodos

En el presente trabajo se recurre a la microgeodesia, es decir a mediciones espaciales de alta precisión en espacios reducidos, apelando al instrumental, la medición y el cálculo propios de la geodesia.

El lugar de la medición es el observatorio AGGO (latitud $-34^{\circ} 52' 25.34914''$, longitud $-58^{\circ} 08' 23.48308''$, altura elipsoidal 39.685 m) y la fecha de la misma fue el 26 de mayo de 2022, utilizando el siguiente instrumental: Estación Total Leica TS60 (Precisión angular $0.5''$) y Teodolito Wild T1610 (Precisión angular $1.5''$).

Posición del eje principal:



Figura 2. Punto E (Pilar GNSS)



Figura 3. Punto G

Se indica la posición del eje principal (con la letra O en Figura 4), en forma relativa a los puntos fijos E y G de la red planimétrica; el primero de ellos ubicado en el pilar correspondiente a una antena GNSS (Figura 2) y el segundo en la estructura de hormigón próxima al equipo SLR (Figura 3).

Procedimiento

Se colocaron los instrumentos de medición en posiciones arbitrarias H e I, materializadas durante la medición por los centros de los instrumentos utilizados (H el teodolito e I la estación total) y adecuadamente elegidos como base de la medición (Figura 4) y se colocaron señales de puntería en el extremo del tubo del telescopio del SLR (Figura 5).

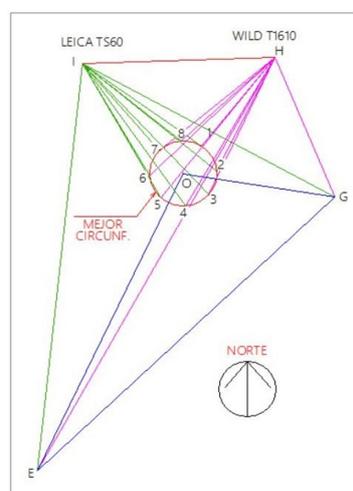


Figura 4. Disposición de las estaciones en los puntos H e I y croquis de la planimetría de los puntos observados (fuera de escala).



Figura 5. Señales de puntería adosadas al tubo del telescopio



Figura 6. Imagen del apuntamiento a una de las señales, obtenida a través del ocular del teodolito.

Se hizo girar el telescopio obteniendo ocho posiciones (aproximadamente 45° en cada giro, puntos 1 a 8 de Figura 4) hasta completar una vuelta.

Desde ambos instrumentos se realizaron las observaciones angulares horizontales a los puntos fijos E y G y a las señales de puntería adosadas al telescopio láser en cada una de las ocho posiciones en que se detuvo.

A los efectos de mejor precisión la observación de H desde I (y viceversa) se hizo apuntando recíprocamente a los hilos del retículo del instrumento opuesto.

Se obtuvieron las planillas de observaciones indicadas en Anexo, Tabla 1.

En las mismas se hacen constar las lecturas angulares horizontales a la señal de puntería consistente en alfiler de cabeza esférica.

Cálculo de la posición relativa del eje principal del SLR respecto de E y G predeterminados en tareas de colocalización

Se utilizó el programa Autocad para, en un sistema de referencia XY planimétrico arbitrario y mediante intersección de las direcciones adoptadas, obtener la posición de los puntos fijos E y G y de las ocho ubicaciones de la señal de puntería con respecto a la base materializada por los instrumentos ubicados en H e I. Lo singular del método es que no requiere ninguna medición de distancia, en comparación con la técnica tradicional de radiación, mediante ángulos y distancias (Córdoba Hita y López Ramasco, 2018).

A posteriori, ya conformada la figura (Figura 4) que comprende 12 puntos, se la escaló utilizando la medida del segmento EG provista por la red planimétrica utilizada en la colocalización, (Grupo de Geodesia Satelital de Rosario, 2018), obteniéndose entonces coordenadas planimétricas en un sistema arbitrario.

Con las coordenadas de las ocho posiciones de la señal ubicada en el extremo del tubo del telescopio del SLR (hipotéticamente una circunferencia) se calculó la ecuación de la circunferencia que mejor se ajusta a esos puntos por el método de mínimos cuadrados.

Se parte de las coordenadas de ocho puntos $P_i (X_i, Y_i)$, (Anexo, Tabla 2) que el elemento de puntería ubicado en el telescopio del SLR describe al girar una vuelta, relevados por intersección horizontal de las direcciones angulares medidas desde los dos instrumentos.

Se calculan coordenadas del centro de la circunferencia más probable (a, b) y el radio r - (medidas en mm).

Se parte de la ecuación de la circunferencia: $(X - a)^2 + (Y - b)^2 = r^2$ (Ec.1)
donde a, b y r son las incógnitas.

Apelamos al método de medidas indirectas, variación de coordenadas. Se linealiza la Ec.1 aplicando desarrollo de Taylor hasta el primer orden y se reemplaza a, b y r; siendo: $a = a_0 + \alpha$; $b = b_0 + \beta$; $r = r_0 + \rho$

Se obtiene la ecuación:
 $X\alpha + Y\beta + r\rho = (X^2 + Y^2 - r_0^2) / 2$ (Ec.2)
siendo las incógnitas α, β, ρ ; en la cual se adopta $a_0 = b_0 = 0$ y $r_0 = 458.5960378$ (calculado según el punto 1 de la figura 4)

Al segundo miembro de la (Ec.2) lo llamamos U = $(x^2 + y^2 - r_0^2) / 2$ (ver valores calculados en Anexo, Tabla 3)

Estimación de pesos:
 $\sigma_u = \text{raíz} (U'_x{}^2 * \sigma_x^2 + U'_y{}^2 * \sigma_y^2)$
 $U'_x = X \quad U'_y = Y \quad \sigma_u = \text{raíz} (X^2 * \sigma_x^2 + Y^2 * \sigma_y^2)$

Considerando $\sigma_x = \sigma_y \approx 0,1$ (verificado en Autocad que no exceden ese valor)
 $\sigma_u = \text{raíz} ((x^2 + y^2) * \sigma_x^2) = r * \sigma_x$ (para todo U_i)

En la Ec.2 hay coeficientes experimentales X e Y pero con el mismo razonamiento, dado que en todos los U_i resulta $X^2 + Y^2 = r^2$, se consideran todos los pesos iguales a 1.

En el Anexo se insertan las tablas 4 a 14 que reproducen los datos utilizados para el cálculo.
De la Tabla 9 surgen los resultados: $a = 0,09$ mm; $b = 0,01$ mm y $r = 458,57$ mm cuyas diferencias con los valores adoptados para realizar el cálculo son ínfimas.

Se calcularon los residuos a partir de los valores ajustados del centro y radio de la circunferencia y con ellos el σ a posteriori, utilizado finalmente para la estimación de la precisión de los parámetros, obteniendo
 $\sigma_a \approx \pm 0,03$ mm $\sigma_b \approx \pm 0,03$ mm $\sigma_r \approx \pm 0,03$ mm

Se adopta el centro de esa circunferencia como posición de O

Precisión: mejor que ± 0.1 mm

De esta forma quedó determinada la posición relativa de O respecto de los puntos E y G (Figura 7)

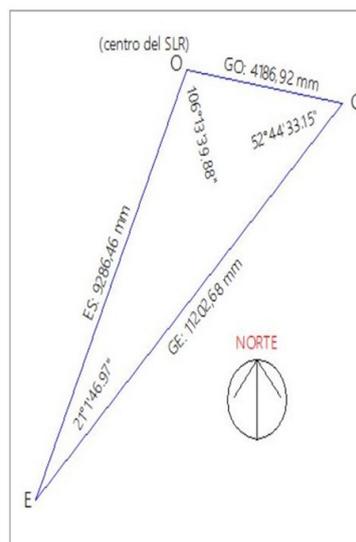


Figura 7. Gráfico del triángulo GEO con medidas lineales y angulares.

Posición del eje secundario

Se indica dicha posición del eje en forma relativa mediante dos valores:

- a) Distancia del eje secundario al eje principal.
- b) Cota del eje secundario en el sistema SRNV16 (Sistema de Referencia Nacional Vertical 2016).

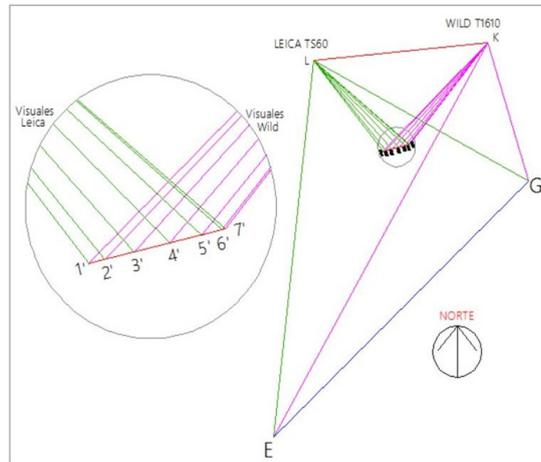


Figura 8. Disposición de las estaciones en los puntos K y L y croquis de la proyección planimétrica de los puntos observados correspondientes al miniprisma (fuera de escala).

Procedimiento

Se estacionaron los instrumentos mencionados (teodolito y estación total) en los puntos arbitrarios K y L, adecuadamente elegidos como base de la medición (Figura 8), y se colocaron dos señales de puntería próximas al extremo del tubo del telescopio del SLR (Figura 9).



Figura 9. Señales colocadas en el telescopio (miniprisma y marca de puntería).

En estas condiciones y manteniendo fijo el azimut del telescopio del SRL, se hizo girar el mismo alrededor del eje secundario obteniéndose siete posiciones hasta completar aproximadamente 180°. Según las lecturas en altura (del telescopio) provistas por el equipo SLR, éstas fueron de 0,7°, 30,44°, 60,02°, 90,04°, 120,03°, 150,03° y 179,52°.

Desde ambos instrumentos se realizaron las observaciones angulares horizontales a los puntos fijos E y G para obtener la vinculación al sistema planimétrico de AGGO previamente descrito y utilizado. En tanto que se efectuaron lecturas horizontales y verticales a las señales de puntería adosadas al tubo del telescopio, en cada una de las siete posiciones en que se detuvo (Figura 8).

A los efectos de mejor precisión la observación de K desde L (y viceversa) se hizo apuntando recíprocamente a los hilos del retículo del instrumento opuesto.

También, desde ambos instrumentos, se hicieron las observaciones necesarias para determinar la cota de cada uno de sus centros ópticos respecto al tetón del sistema de referencia altimétrico de AGGO, asignándole al mismo, provisoriamente, cota 0,00 mm. (Figura 10).

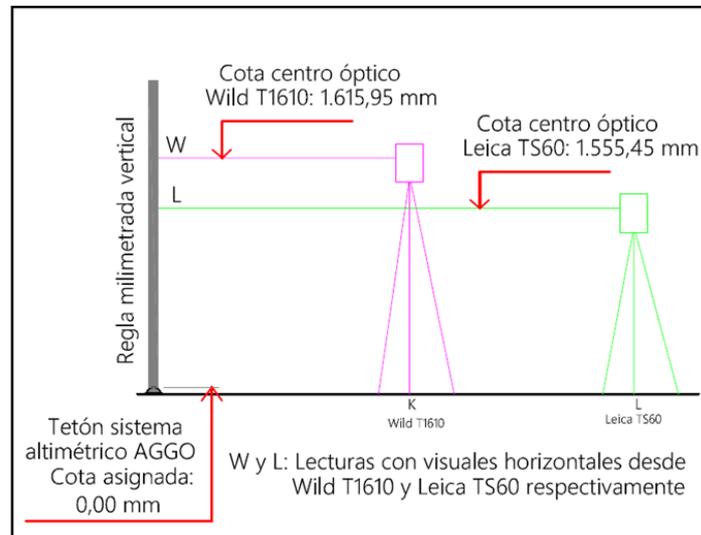


Figura 10. Gráfico y resultado de la determinación de cotas de los centros ópticos de los instrumentos en K y L.

Para el desarrollo y cálculo de este manuscrito se ha trabajado con las lecturas horizontales y verticales al miniprisma. No obstante, en las planillas de observación se muestran todas las observaciones realizadas al miniprisma y a la marca de puntería (Anexo, Tablas 15 y 16)

Aclaración: Las lecturas verticales (h) de la Estación Total Leica TS60 se han convertido a cenitales (z) para homogeneizar el cálculo.

Cálculo de la posición relativa del eje secundario del SLR respecto al eje principal:

Se utilizó software Autocad para, en un sistema de referencia XY planimétrico arbitrario y mediante intersección de las direcciones adoptadas, obtener la posición de los puntos fijos E y G y de las siete ubicaciones del miniprisma, todo con respecto a la base materializada por los instrumentos ubicados en los puntos K y L.

A posteriori, ya conformada la figura (Figura 8) que comprende once puntos, se la escaló utilizando la longitud del segmento EG, provista por la red planimétrica calculada previamente en mediciones de la red de colocación, (Grupo de Geodesia Satelital de Rosario, 2018) obteniéndose entonces coordenadas planimétricas en un sistema arbitrario.

Se supone que al girar el telescopio sobre su eje secundario lo hace describiendo un plano vertical, por lo que la proyección horizontal de las siete posiciones del miniprisma ubicado en el brazo del telescopio del SLR, deberían pertenecer a una recta (puntos 1' a 7' de Figura 8).

Estaba previsto calcular la recta que mejor se ajuste a estos siete puntos proyectados al plano, sin embargo, uniendo inicialmente los puntos 1' y 7' se observó que, en el peor de los casos las proyecciones de los puntos 2' y 6', se separan de la recta adoptada en 0,1 mm. Por tal razón no se consideró necesario realizar ese cálculo y se resolvió con la recta 1'-7'.

Vale señalar que, en este caso específico, se considera innecesario todo trabajo pretendiendo precisión mejor que $\pm 0,1$ mm. Con esta conclusión se considera que los siete puntos están contenidos en un plano vertical cuya intersección con un plano horizontal es la recta mencionada (1'-7').

A continuación, se calculan las cotas de los siete puntos respecto al tetón altimétrico próximo al equipo SLR (Ver Figura 11, ejemplo punto 4). En Anexo, se pueden ver en la Tabla 17 las coordenadas y cotas de los 7 puntos, las últimas calculadas aplicando nivelación trigonométrica.

Estas cotas, hipotéticamente deberían pertenecer a un arco de circunferencia con centro en el eje secundario del instrumento (Figura 12). Luego se debería proceder a calcular el arco que mejor se ajuste a esos siete puntos a fin de determinar su centro C.

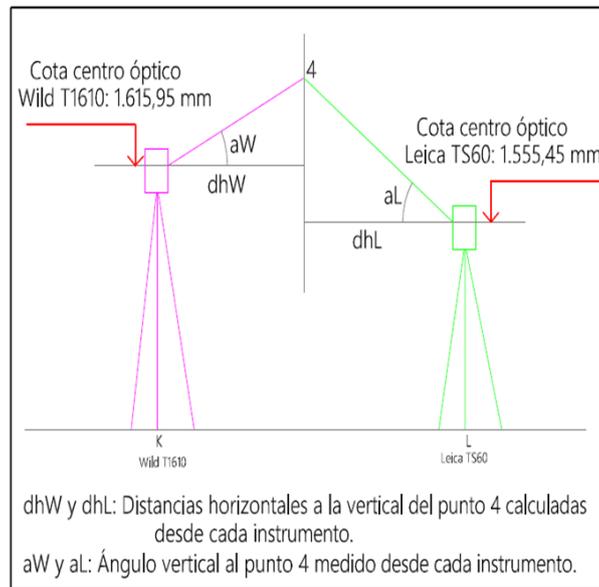


Figura 11. Esquema del cálculo de cotas.

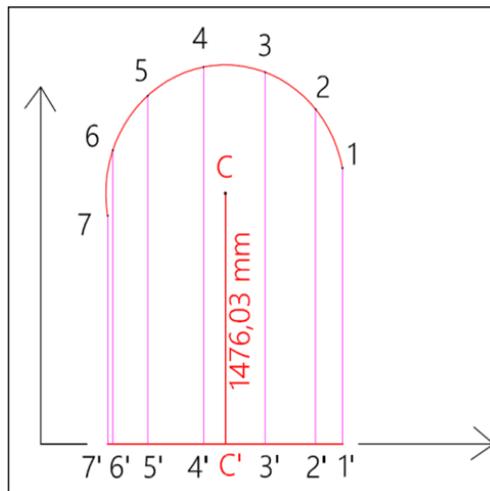


Figura 12. Altimetría (fuera de escala) de los puntos 1 a 7 (miniprisma).

Nuevamente nos encontramos con que adoptando el arco determinado arbitrariamente por tres puntos no contiguos (mediante Autocad), los restantes no se separan del mismo en más de 0,1 mm. Se considera válido entonces a dicho arco, se determina su centro C y su altura (diferencia de cota entre el eje secundario y el tetón de referencia utilizado), así como su proyección C'. De Autocad se obtiene entonces que el centro C tiene una altura de 1476.03 mm respecto al punto fijo (tetón) próximo al SLR.

Este centro C corresponde al arco de circunferencia que describió el miniprisma ubicado en el brazo del telescopio del SLR. Como dicha señal fue colocada sobre un lateral del mismo (Figura 9), el plano que la contiene está desplazado respecto al eje principal del instrumento.

Se observa que proyectando ahora el centro C del arco vertical estudiado hacia la recta horizontal, nos determina el punto C' (Figura 12); punto por el cual debe pasar la proyección horizontal del eje secundario, la que además debe ser perpendicular al plano vertical que contiene a los siete puntos relevados y, por lo tanto, a la recta de sus proyecciones indicada en Figura 8.

Para resolver el punto a) mencionado anteriormente «Distancia del eje secundario al eje principal» se utilizó la determinación planimétrica del eje principal del SLR estudiada con anterioridad (punto O, Figura 7), la que también estuvo apoyada en los puntos fijos E y G de AGGO.

Para ello se insertó entonces la posición del punto O (posición del eje principal del SLR - Figura 7), resultando la siguiente situación.

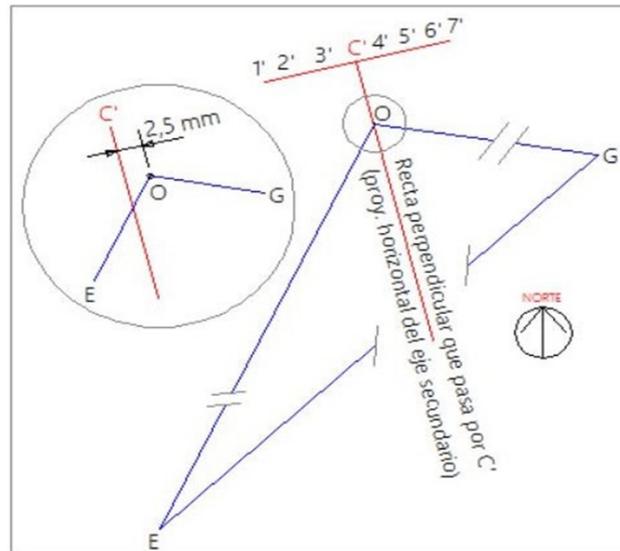


Figura 13. Proyección horizontal del eje secundario y ubicación del punto O (posición del eje principal).

En esta composición espacial sería de esperar que la proyección horizontal del eje secundario pasara por O, posición del eje principal sobre el cual gira el SLR. En el gráfico Autocad se observa que no es así y se mide su separación, la cual es de 2,5 mm.

Resultados

Como primer resultado se obtuvo la posición relativa de O respecto de los puntos conocidos G y E. Las distancias y ángulos que lo determinan se observan en la Figura 7.

Como segundo resultado se obtuvo la posición del eje secundario (u horizontal), expresada en los siguientes datos:

- a) Distancia del eje secundario al eje principal: 2.5 mm.
- b) Cota del eje secundario en el Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16) = 20.947,0 mm, valor que surge de sumar a la cota del tetón (19.471,0 mm) la diferencia de altura entre dicho tetón y el punto C cuyo valor es 1.476,03 mm (Figura 12).

Precisión: se estima en ± 0.1 mm (para resultados a) y b)).

Solución con observaciones a la marca de puntería

Las observaciones angulares horizontales y verticales a la marca de puntería figuran en las Tablas 15 y 16, y los puntos se designan como I a VII (Anexo, Tabla 18)

Para la recta (proyección al plano horizontal) de los mismos se unieron también, como en el caso del miniprisma, los puntos I' y VII', con el mismo criterio empleado anteriormente.

Con estas alturas se trazó un arco de circunferencia eligiendo arbitrariamente tres puntos no contiguos, y verificando que en los demás puntos la diferencia no superaba el 0,1 mm; razón por la cual tampoco aquí se justificaba calcular el mejor arco y se trabajó directamente con el trazado inicialmente.

Se determinó entonces la cota del centro del arco, la que dio como resultado 1475,80 mm (con miniprisma dio 1476,03 mm), es decir una diferencia de 0,23 mm.

Siguiendo igual razonamiento que con el miniprisma, la distancia de la proyección horizontal del eje secundario al punto O, dio un valor de 2,62 mm (con miniprisma dio 2,50 mm) es decir una diferencia de 0,12 mm.

Discusión sobre el método de medición

El método que podríamos llamar clásico o estándar es el que aparece publicado en las mediciones llevadas a cabo en diversos observatorios geodésicos en muy distintos lugares del mundo. Consiste en colocar un prisma reflector en el instrumento que gira y, desde una estación total observar dirección y distancia, obteniendo coordenadas que permitan calcular la posición del eje de giro (Córdoba Hita y López Ramasco, 2018; Muller et al., 2014).

Tomemos como ejemplo la estación total Leica TS60 cuya precisión angular es de $0.5''$ y de 0.5 mm en distancias cortas (pongamos por caso menores a los 50 m), es decir una estación total de la más alta calidad desde el punto de vista de su precisión. Estaríamos, en el mejor de los casos, con una incertidumbre de 0.5 mm en las coordenadas.

El método que proponemos en este trabajo es el de intersección de visuales efectuadas desde dos instrumentos ubicados en posiciones adecuadas para que la configuración sea favorable (condición ineludible), es decir procurando que los ángulos de las intersecciones se aproximen a 90° cuanto sea posible.

Se estacionan ambos instrumentos en posición adecuada para observar una señal de puntería adosada al telescopio que gira. Trabajamos con una precisión angular de $1''$.

Pongamos, el caso del SLR, donde la distancia de los instrumentos a las intersecciones no supera los 5 m. Si hacemos una simulación con un Cad, vemos que, con errores de $1''$, el máximo error en coordenadas puede ser del orden de ± 0.03 mm (Figura 14).

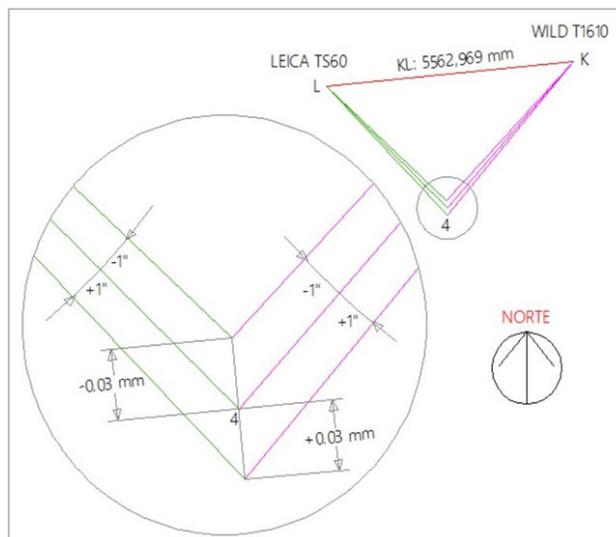


Figura 14. Cuantificación del error máximo posible en las coordenadas del punto 4 de la Figura 4 - Pág. 4
Distancias K4: 4238,84 mm, L4: 3768,61 mm.

En definitiva, vemos que, con el método de intersección se logran mejores resultados que con una radiación midiendo dirección y distancia.

No es difícil afirmar que esta aseveración es válida en diferentes aplicaciones de microgeodesia, como por ejemplo las expuestas en IPGH (1986).

Conclusiones

1. El método aplicado permitió alcanzar satisfactoriamente el objetivo señalado al principio, es decir obtener la posición espacial del punto principal del SLR.
2. Fue determinada la excentricidad de $2,5$ mm del eje secundario, lo que será motivo de futuros análisis por parte de los especialistas de AGGO a cargo de la técnica SLR.
3. La precisión obtenida en la determinación del punto principal es muy alta, mejor que $\pm 0,1$ mm. Sin embargo, la precisión de la posición espacial del punto principal depende de cuál sea la precisión con que se conocen las posiciones de los puntos utilizados para vincularse al sistema de AGGO; en este caso los puntos E y G de la figura 7.

4. El método utilizado y los resultados obtenidos son satisfactorios lo cual no quiere decir que sea la única posibilidad de obtener resultados similares. La tecnología aplicada en los equipos Láser-Tracker (Jordan, 2020), propia de la metrología industrial, puede aplicarse al caso que estamos tratando y obtener altas precisiones. Cabe tener en cuenta el alto costo de tales equipos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible a partir de las mediciones efectuadas en AGGO y de los cálculos correspondientes, todo lo cual forma parte de una tarea más amplia, la de la colocalización mencionada en Página 2.

Agradecemos a aquellos con quienes compartimos esa labor, Romina de los Ángeles Galván, Claudio Brunini, Alfredo Pasquare (AGGO), Pablo Paus, José Romano (Facultad de Ingeniería de La Plata), María Virginia Mackern, María Laura Mateo (Universidad de Cuyo y Universidad Maza), Laura Cornaglia, Gustavo Noguera, y Juan Manuel Calvo (Universidad Nacional de Rosario).

Bibliografía

Altamimi, Z., P. Rebischung, L. Metivier, and X. Collilieux (2016), ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, doi:10.1002/2016JB013098.

Córdoba Hita Beatriz, López Ramasco Javier- Realización del local tie de las distintas técnicas geodésicas espaciales en el observatorio de Yebe - España - informe técnico IT CDT 2018-20 (<https://icts-yebe.oan.es/reports/doc/IT-CDT-2017-8.pdf>)

Chueca Pazos Manuel, Herráez Boquera José, Luis Berné Valero José - Redes Topográficas Y Locales Microgeodesia - Tratado de topografía 3 - Madrid - Editorial Paraninfo - Año 1996.

Grupo de Geodesia Satelital de Rosario, 2018, Informe técnico: AGGO -Colocalización, (<https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/investigacion/Colocalización-AGGO.pdf>)

Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) - Manual de normas y especificaciones para levantamientos geodésicos de alta precisión en áreas pequeñas - Río de Janeiro - Año 1986.

Jordan, Kevin - United States Department of Commerce - National Oceanic & Atmospheric Administration - National Ocean Service - National Geodetic Survey - Foundation Cors Program - Local tie information report - IERS network site: Mauna Kea, HI (USA), 2020 (https://www.ngs.noaa.gov/corbin/iss/reports/MKEA_Report_2020.pdf)

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Aplicación de técnicas de *Machine Learning* para Valuación Masiva de Inmuebles en ciudades intermedias de la provincia de Mendoza

Machine Learning techniques application for Mass Appraisal in middle cities of Mendoza province

Polo, Renzo Enrique¹; Alberdi, Ramiro²; Erba, Diego Alfonso¹

¹ Consultor independiente

² Fac. de Ing. y Cs. Hídricas de la Univ. Nac. del Litoral

DOI: 10.59872/icu.v7i9.428

Correo de correspondencia: renzoepolo@gmail.com

Recepción: 16/06/2023; Aceptación: 07/12/2023;

Publicación: 19/04/2024

Palabras claves: Valuaciones

Keywords: Machine learning

Resumen

La necesidad de valorar masivamente los inmuebles se ha comprobado en el desarrollo de las políticas públicas en general. Los métodos tradicionalmente aplicados para la valuación masiva de inmuebles (VMI) han involucrado el uso de fórmulas e índices complejos, difíciles de obtener, procesar y mantener, elegidos en parte por la falta de conocimiento en tecnologías de automatización de procesos. Los procedimientos de VMI no se realizan con una frecuencia apropiada para acompañar la dinámica del mercado inmobiliario y por ese motivo nunca se llega a una valuación precisa de los inmuebles. En búsqueda de soluciones a dicha problemática, se desarrolló este trabajo siguiendo tres acciones: 1) generar una base de datos de entrenamiento capturando, sistematizando y procesando datos de oferta de inmuebles en el mercado inmobiliario de tres ciudades intermedias de la provincia de Mendoza; 2) caracterizar las bases de entrenamiento y predicción mediante variables geográficas; 3) asignar valores a todas las parcelas urbanas a través de técnicas de *Machine Learning*, más concretamente a través del algoritmo XGBoost para el modelado de valores. Aun cuando este recurso ha sido poco explorado en este ámbito de aplicación, los resultados y métricas obtenidas muestran que su utilización deriva en parámetros de calidad aceptables para los objetivos planteados, y que su implementación permite diseñar estrategias eficientes y eficaces para la construcción de VMI, a menor costo en dinero y en tiempo que los métodos tradicionales. La clave del éxito, en parte, tiene fuerte dependencia con la estrategia de recolección de datos.

Abstract

The need to massively valuation of land has been verified in the development of public policies in general. The methods traditionally applied for land mass appraisal (LMA) have involved the use of complex formulas and indices, difficult to obtain, process and maintain, chosen in part due to a lack of knowledge in process automation technologies. LMA procedures are not carried out with an appropriate frequency to follow the dynamics of the real estate market and for this reason an accurate valuation of the properties is never reached. In search of solutions to this problem, this work will be carried out following three actions: 1) generate a training database capturing, systematizing and processing real estate supply data in the real estate market of three middle size cities in the province of Mendoza; 2) characterize the training and prediction bases through geographic variables; 3) assign values to all urban plots through Machine Learning techniques, more specifically, the XGBoost algorithm for value modeling. Even though this resource has been little explored in this field of application, the results and metrics obtained show that its use leads to acceptable quality parameters for the proposed objectives, and that its implementation allows designing strategies for the construction of efficient and effective LMAs. at a lower cost in money and time than traditional methods. The key to success, in part, is strongly dependent on the data collection strategy.

Introducción

Las políticas públicas han manifestado sus intenciones de gravar más a los bienes inmuebles de mayor valor, tanto en la normativa que las materializa cuando en la verbalización de quienes las ejecutan. En general este principio no se discute, las dudas permanecen en el «cómo», es decir, con qué métodos se pueden llevar a la práctica. Inexorablemente el análisis recae sobre dos líneas: por un lado, la estrictamente tributaria que refiere al cálculo del impuesto de base territorial, y por otro, la determinación de la base imponible que, particularmente para los bienes inmuebles, está estrechamente vinculada a la información que registran y generan los catastros al aplicar diferentes métodos para valorar dichos inmuebles. Este trabajo se enfoca en el último aspecto por la filiación temática con el catastro, área con la que los autores tienen un vínculo estrecho, pero además por la importancia que en los últimos años ha tomado la actualización tecnológica y conceptual del proceso de la valuación masiva de inmuebles (VMI en adelante) en América Latina. Los métodos de VMI más modernos, apoyados en estadística e inteligencia artificial, se popularizan, se usan cada vez más y consecuentemente han tenido impacto en un gran número de políticas territoriales y tributarias dado que como resultado de su aplicación se pueden realizar evaluaciones de impactos económicos de grandes obras urbanas, definir estrategias de recupero de plusvalía, acelerar el desarrollo de planes de ordenamiento territorial, entre muchas otras.

En ese marco, se evidencia que la incorporación de tecnologías de información geográfica (TIG) abre para la Agrimensura oportunidades de proveer profesionales e investigadores capacitados para llevar adelante estos procesos de modernización.

El gran salto conceptual y técnico apuntado está dado por el cambio de paradigma que implica evolucionar de los sistemas tradicionales de valuación basados en tabulaciones, coeficientes, parámetros estáticos y mediciones en cartografía analógica, hacia los métodos modernos que se basan en la consideración de los valores de mercado de los inmuebles para construir un mapa continuo del territorio que muestre los matices económicos, apoyados en TIG y en la potencia de cálculo que ofrecen las técnicas estadísticas actuales. Este nuevo paradigma, en el contexto del libre mercado de inmuebles que funciona en la región con pocas restricciones, tiene la ventaja de poder registrar la riqueza real que representan las propiedades inmuebles, dado que, en términos ideales, se tiene en cuenta el valor al que el inmueble efectivamente se comercializa. Frente a los modelos tradicionales, este método incluye muchas variables que en general son difíciles de medir o representar pero que de una u otra manera están impresos en el valor final de transferencia (preferencias del comprador, urgencias del vendedor, expectativas, conocimiento territorial, etc.).

Trabajar con valores de mercado implica usar muestras compuestas por precios de oferta que en general corresponden a un número reducido del conjunto de inmuebles existentes. Por esta razón, los métodos de VMI basados en precios de mercado deben recurrir a técnicas estadísticas que permitan asignar un valor a cada uno de los inmuebles dentro del territorio, a través de casos testigo o tipo, y esto siempre conlleva un grado o nivel de precisión que es necesario conocer.

Actualmente, las técnicas estadísticas se han visto notablemente beneficiadas por el avance tecnológico en lo que a software libre y hardware accesible se refiere, reduciendo tiempos de cálculo, incorporando estrategias de aprendizaje autónomo o *machine learning*, en sus diferentes variantes. A su vez, la posibilidad que brindan las TIG de obtener representaciones tanto variadas como detalladas del territorio, en diferentes aspectos y a través de numerosas fuentes, hizo posible que las aplicaciones estadísticas adquieran más insumos y controles para la generación masiva de valores.

El talón de Aquiles de los métodos actuales suele ser, justamente, la captura de datos de mercado desde diferentes fuentes. Los requisitos que las muestras deben cumplir para que resulten adecuadas en la corrida de modelos informáticos no son pocas y, frecuentemente, los datos desperdiciados son inevitables. Más aún, considerando que una de las estrategias de obtención de información es la recorrida en campo, puede advertirse que los principales desafíos se ubican en esta etapa del proceso.

En ese contexto, este trabajo muestra los resultados obtenidos con la generación, aplicación y evaluación de un método de VMI de suelo urbano basada en valores de mercado, la cual pone de manifiesto todas las ventajas y desafíos antes mencionadas, junto a estrategias para potenciarlas y superarlas, respectivamente. La experiencia relatada en este artículo se llevó a cabo en tres localidades intermedias de la provincia de Mendoza durante el año 2022 enfocándose en lotes baldíos como inmueble tipo y los resultados presentados son alentadores para ampliar el alcance de este método a escalas mayores y más complejas.

Bases conceptuales

En América Latina y el Caribe la valuación catastral es mayoritariamente dissociativa, es decir, los valores del suelo y de las construcciones se determinan separadamente, para luego sumarlos y conformar el valor del inmueble. El valor del suelo en particular es generalmente agrupado, no necesariamente se determina «lote a lote», en sectores o zonas considerados homogéneos dentro de los cuales no necesariamente hay homogeneidad ni de uso del suelo, ni de distribución de redes de infraestructura, ni de normativa urbanística. Estos procesos subjetivos influyen negativamente sobre la equidad en la determinación del valor con relación a los practicados en el mercado, no obstante, es posible dar objetividad al método a través de la identificación de submercados mediante análisis de componentes principales y de agrupamientos (Hayles, 2006; Napoli *et al.*, 2017), técnicas de análisis *cluster* y análisis exploratorio de datos espaciales, análisis de cointegración, agrupamiento difuso, funciones de suavizado, entre otras (Royuela & Duque, 2013), las cuales pueden ser aplicadas con ventajas en ambiente SIG.

La Regresión Lineal Múltiple (RLM) es una técnica comúnmente utilizada para la VMI que permite determinar las relaciones lineales existentes entre una variable dependiente y variables independientes: la variable dependiente normalmente es el precio, mientras que las variables independientes pueden ser distancias a diferentes puntos de valorización, inclusión en zonas con altos índices de aprovechamiento edilicio o con afectaciones ambientales, entre otras. La RLM ha sido utilizada por varios autores como base para comparar su rendimiento frente a otras técnicas emergentes (Bencure *et al.*, 2019; Cohen *et al.*, 2020; Doumpos *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020; Yilmazer & Kocaman, 2020), y si bien es de fácil comprensión, su aplicación para generar modelos de VMI para toda una ciudad no siempre se torna apropiada puesto que, eventualmente, no tiene la capacidad de identificar los elementos determinantes para la concretización de un negocio inmobiliario, generando frecuentemente problemas relacionados con autocorrelación espacial de los residuos y heterocedasticidad (Kauko & d’Amato, 2017).

La geoestadística puede ser utilizada para analizar el mercado inmobiliario a través de un conjunto de técnicas y permite predecir valores de inmuebles distribuidos a lo largo del espacio y/o del tiempo. En este ámbito los valores no se consideran independientes, sino que se correlacionan unos con otros, es decir, existe una dependencia espacial. Intuitivamente esto implica que mientras más cercanos estén situados dos inmuebles, más correlacionados están sus valores y mientras más separados, menos relación habrá entre ellos (Díaz Viera, 2002).

El Aprendizaje de Máquina (*Machine Learning*) es una rama de la IA que se aplica en la VMI, pues se encarga de estudiar métodos automatizados para generar modelos matemáticos, es decir, algoritmos y estadísticas que permitan resolver tareas de forma tal que el *software* descifra por sí mismo cómo resolverlo. En el área de VMI los modelos de aprendizaje de máquina suelen ser criticados por ser de difícil comprensión y asemejarse a los modelos de tipo «caja negra», especialmente cuando se comparan con los modelos econométricos de RLM donde el coeficiente de cada estimador es interpretado como la contribución marginal de la variable independiente al precio observado.

Desde otro ángulo puede afirmarse que los algoritmos de aprendizaje de máquina son estocásticos, por lo que su comportamiento puede variar de acuerdo al conjunto de datos. En ese sentido, las técnicas de remuestreo, como la validación cruzada o *leave-one-out*, sirven para evaluar la varianza de los resultados obtenidos, alejándose de la idea de «caja negra». Los métodos de conjunto o ensamblajes utilizan múltiples predicciones de estimadores para conseguir un mejor rendimiento predictivo que el que se podría obtener aisladamente (Polikar, 2006). En términos de varianza, los ensamblajes ayudan a reducirla y a generar modelos que generalizan el problema. Ejemplos de ellos son las técnicas de bosques aleatorios (*Random Forests* - Breiman, 2001), los cuales en regresión se refieren a múltiples árboles de decisión (Figura 1) contruidos independientemente, para luego calcular la estimación final como el promedio de las estimaciones para cada uno de ellos. Sumado a ello, existen las técnicas de *Boosting* (Freund & Schapire, 1996), que consisten en que cada árbol construido reduzca los residuos de la predicción del árbol anterior minimizando una función de pérdida. Las implementaciones XGBoost, CATBoost y LightGBM son optimizaciones de esta técnica¹.

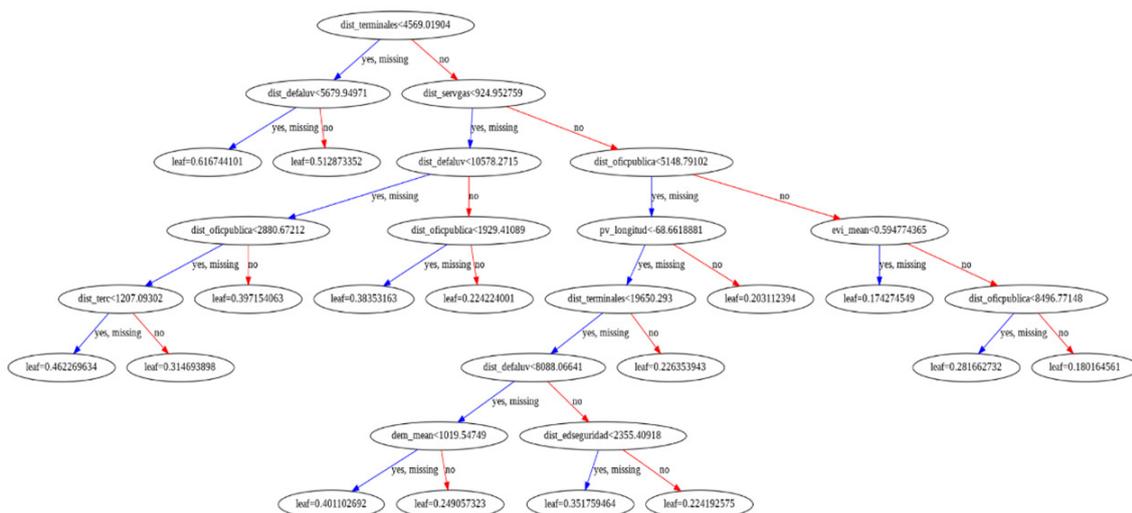


Figura 1. Ejemplo esquemático de árbol de decisión. Fuente: elaboración propia.

¹Más detalles sobre esas implementaciones pueden ser consultados en: XGBoost: Chen & Guestrin (2016), Brownlee (2016); CATBoost: Prokhorenkova et al. (2018) y LightGBM: Ke et al. (2017).

Una estrategia alternativa en la construcción de ensamblajes es la generación de meta-modelos, es decir, arreglos que sirvan para combinar las predicciones efectuadas por otros algoritmos de aprendizaje. Esta técnica llamada *Stacking* fue propuesta por Wolpert (1992), y consiste en la construcción de múltiples modelos de predicción para que sus resultados sean considerados como variables independientes en un modelo final, que las combinará para obtener un valor de síntesis.

Todo modelo de *Machine Learning* requiere configurar diferentes bases de datos para su implementación, las cuales pueden clasificarse como:

1. **Bases de entrenamiento** que contienen la nube de puntos con los datos depurados del Observatorio, complementados con las variables geográficas y ordenados por áreas de procesamiento según características territoriales. Estas bases de entrenamiento son el insumo esencial para la generación de modelos de predicción, y deben subdividirse en 3 partes:

- **Entrenamiento:** Observaciones utilizadas para encontrar relaciones entre la variable dependiente y las independientes.
- **Validación:** Observaciones utilizadas en el proceso de entrenamiento para calcular la función de pérdida a minimizar durante la optimización de hiperparámetros.
- **Testeo:** Observaciones que son utilizadas al finalizar el proceso de entrenamiento para evaluación de modelos y cálculo de métricas de desempeño.

2. **Bases de predicción**, constituidas por las unidades territoriales a las cuales se determina el valor del suelo calculado a través de los modelos entrenados ad hoc, y deben tener incorporadas las mismas variables geográficas que las bases de entrenamiento. Para el ámbito urbano generalmente el parcelario se utiliza como referencia para el cálculo del valor del suelo libre de mejoras.

Estado del arte

Todo proceso de revalúo tradicional inicia con el análisis de los datos catastrales correspondientes a valores de inmuebles y su relación con la política tributaria bajo la normativa vigente. En Argentina en general, y en la provincia de Mendoza en particular, las normas vigentes proponen valuar a los inmuebles y sus mejoras a través de modelos predeterminados que, si bien explícitamente aspiran a relacionar los valores catastrales con los precios practicados en el mercado («... Los valores unitarios de la tierra... serán asignados ... en función del estado del Mercado Inmobiliario local...»), la forma en que se componen evidencia que es alta la probabilidad de que no haya una correlación uniforme. Las fórmulas de cálculo del valor de todos los tipos de inmuebles contemplados en la norma mendocina son de fácil comprensión, no obstante, las variables que representan los valores del m² de terreno (VUT) y de construcción (VUC) derivan de la ubicación de la propiedad, de la jerarquía de la zona, de los servicios y, en definitiva, de un puntaje de categorización todo lo cuales no necesariamente atiende a las expectativas del mercado. De hecho, respecto a los métodos basados en coeficientes de forma, Monzani *et al.* (2020) comprobaron que pueden mostrar diferencias significativas comparados con las expectativas del mercado, a pesar de ser un método que se emplea desde hace muchas décadas.

En Argentina las experiencias desarrolladas con perspectivas del mercado no son numerosas y, si bien no se han implementado políticas centralizadas o coordinadas a escala nacional, en 2018 se promulgó el decreto PEN 938/2018, modificado por el PEN 450/22, que crea el Organismo Federal de Valuaciones de Inmuebles. En el art. 1. se establece que «tendrá por objeto determinar los procedimientos y las metodologías uniformes de aplicación para las valuaciones fiscales de los inmuebles ubicados en el territorio de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y en las provincias, con el objeto de lograr [...] que tiendan a reflejar la realidad del mercado inmobiliario² y la dinámica territorial [...]», lo cual brinda un marco e iniciativa para abordar la VMI bajo esas premisas. En ese contexto e incluso desde antes de dicha promulgación, algunas provincias y localidades han implementado observatorios a los fines de relevar los datos necesarios, pero pocas han avanzado en el procesamiento de ellos y muchas menos han aplicado métodos actuales de VMI. Al respecto, como ejemplo más avanzado de este tipo de políticas puede mencionarse al Gobierno de la Provincia de Córdoba que viene llevando adelante desde hace más de un lustro revalúos masivos a través de métodos de IA, como puede verse en sus reportes de publicación periódica³. En esa provincia generaron el mapa de valores del suelo a través de la implementación de un observatorio y de la aplicación de técnicas de machine learning que incluyeron algoritmos como *Random Forest* (RF) (Carranza *et al.*, 2018, 2019;), *Quantile Random Forest* (QRF) (Cerino *et al.*, 2021) y *Gradient Boosting Model* (GBM) (Piumetto *et al.*, 2019). De manera más incipiente y en la misma línea, en la provincia de Buenos Aires se ha puesto en marcha en 2021 el «Observatorio de valores del suelo e instrumentos de financiamiento del desarrollo urbano»⁴, el cual ya presenta sus primeros resultados en Dioguardi *et al.* (2022).

Con relación a lo anterior, si bien el término observatorio tiene amplios usos y sentidos, en este trabajo se los define como una estructura administrativa que monitorea el territorio a través de imágenes y/o censos, vinculada a instituciones catastrales, empresas públicas y/o privadas a través de alianzas con intereses comunes (Eguino & Erba, 2020). Concretamente, a lo que se refieren los objetivos de este trabajo es a la creación de un Observatorio del Mercado Inmobiliario de Mendoza (OMIM).

² El destacado en negrita es propio.

³ Ver, por ejemplo: Nuevos Valores Unitarios de la Tierra Urbana 2022 en Córdoba: <https://www.idecor.gob.ar/wp-content/uploads/2022/12/Informe-Valores-Tierra-Urbana-2022.pdf>

⁴ https://www.gba.gob.ar/habitat/noticias/se_presenta_el_observatorio_de_valores_del_suelo_e_instrumentos_de_financiamiento

Área de estudio

La provincia de Mendoza presenta un territorio heterogéneo donde las tierras aprovechables en los términos actuales se concentran en el 4,8% del total de superficie⁵ (los denominados oasis). Estas áreas concentran el 95% de la población con densidades máximas que llegan a los 300 habitantes/km² en el ámbito urbano. A su vez, la organización urbana de la provincia concentra el 62% de la población en el Gran Mendoza en primer lugar, y como segundo núcleo urbano se ubica la ciudad de San Rafael y alrededores en el oasis centro. Si bien resulta complejo definir en forma precisa el concepto de ciudades medias para la provincia de Mendoza, en este trabajo se analizaron las ciudades de San Rafael, Malargüe y Tunuyán (Figura 2), cuyo tamaño y población no se ubican en los extremos, a diferencia de Gran Mendoza u otras localidades menores. Esto último no implica que sean representativas de toda la realidad territorial, pero dan un buen panorama sobre las posibilidades de extender las metodologías a zonas semejantes (caso Tunuyán y Malargüe) y/o áreas urbanas mayores (caso San Rafael). En la tabla 1 se muestran algunos datos territoriales de referencia de las localidades.

Tabla 1. Datos básicos de las localidades estudiadas

Localidad	Superficie del departamento ¹ (km ²)	Superficie total de inmuebles urbanos y suburbanos ² (km ²)	Cantidad de inmuebles urbanos ¹	Población ³
San Rafael	31.435	56,0	54.092	210.468
Tunuyán	3.362	15,2	13.862	58.534
Malargüe	40.525	3,6	5.575	32.977

¹Según datos de la Dirección de Catastro de la Administración Tributaria de Mendoza (DCATM).

²Obtenida mediante sumatoria de superficies de parcelas registradas en la base de datos de la DCTAM.

³Según datos del Censo Nacional 2022.



Figura 2. Localidades estudiadas en el contexto provincial. Fuente: elaboración propia.

⁵Según datos del Departamento General de Irrigación de Mendoza.

Materiales y métodos

La estrategia metodológica se inspiró en experiencias similares como la de la provincia de Córdoba (Piumetto *et al.*, 2019), y consistió en organizar el proceso en tres etapas bien definidas y sucesivas:

1) **Observatorio**, con la responsabilidad de obtener, sistematizar y depurar los datos de mercado provenientes de diferentes fuentes.

Los recursos se generaron en forma secuencial atendiendo a la demanda de representatividad y diversidad geográfica en los entornos urbanos. De este modo, el primer relevamiento se hizo a través de técnicas de *web scraping*, mediante las cuales se «rasparon» sitios especializados como por ejemplo www.inmoclick.com, y se obtuvieron muestras de lotes baldíos en las localidades de estudio. Una vez reconocidas las áreas de vacancia se visitaron puntualmente otros sitios web y/o avisos en línea para completar la nube de puntos, entre los cuales se destaca www.properati.com.

En paralelo, se realizaron relevamientos en terreno con recorridas intensivas a las localidades para capturar avisos de particulares y/o de inmobiliarias que no tuvieran precio publicado en sitios web. El mecanismo consistió en capturar la posición del inmueble mediante fotografía de fachada con el cartel de venta visible (Figura 3) y posterior contacto con el comercializador para obtener los datos de interés para el trabajo.



Figura 3. Avisos e inmuebles relevados en el terreno. Fuente: elaboración propia.

Seguidamente se procedió con la sistematización y depuración de esos datos, fundamentalmente, a través del análisis estadístico, buscando identificar y descartar valores fuera de contexto (*outliers*) y evaluar la exactitud en la posición a través de la constatación de las características de cada inmueble con la base parcelaria de la DCATM. Una vez depuradas las nubes de puntos se constituyeron las bases de entrenamiento para cada localidad.

2) **Cartografía y SIG**: con la función de generar variables geográficas para la caracterización del territorio.

Los métodos automatizados de VMI se basan en la correspondencia geográfica de los valores de muestra y de población. En otras palabras, la generación de valores para todos los inmuebles a través de una muestra representativa requiere que se identifiquen parámetros correlacionados con las diferencias de valor. De este modo, fue confeccionada una amplia lista de variables geográficas que en conjunto potencialmente componen el valor del suelo e influyen en las variaciones entre muestras. Dichas variables se calcularon tanto para la base de entrenamiento como para la base de predicción tomando como base el parcelario urbano y suburbano. Las fuentes de información para esta tarea fueron muy diversas pero tomaron como base, por un lado, las capas SIG disponibles en geoservicios oficiales tales como la Infraestructura de Datos Espaciales de Mendoza⁶ (IDEM), la DCATM y el Sistema de Información Territorial Ambiental⁷ (SIAT) en combinación con la generación de algunas capas nuevas y extracción de fuentes libres (OpenStreetMap⁸, por ejemplo) y, por otro, servicios web de imágenes satelitales libres. Ambos conjuntos fueron recopilados, procesados y presentados combinando herramientas de uso libre como QGIS⁹, Google Earth Engine¹⁰ y PostGIS¹¹. Cabe destacar que toda la información se organizó y almacenó en servidores en la nube, en una base de datos PostgreSQL¹², administrada en combinación con QGIS y pgAdmin¹³.

⁶ <https://www.mendoza.gov.ar/idem/>

⁷ <http://siat.mendoza.gov.ar/>

⁸ <https://www.openstreetmap.org/>

⁹ <https://qgis.org/es/site/>

¹⁰ <https://earthengine.google.com/>

¹¹ <https://postgis.net/>

¹² <https://www.postgresql.org/>

¹³ <https://www.pgadmin.org/>

El resultado final de este procedimiento es una lista de variables que fue adosada a cada registro de la base de datos.

3) **Revalúo masivo:** con el cometido de aplicar algoritmos que, alimentados por la base de datos de entrenamiento, generaron los valores para la base de predicción de valores de mercado. De la amplia lista de algoritmos disponibles mencionados en apartados anteriores, en este trabajo se optó por el empleo del XGBoost, propuesto por Chen & Guestrin (2016), el cual permite evaluar, a través de diferentes iteraciones, la pertinencia de las variables geográficas en un gran número de modelos que se sintetizan en un óptimo resultante y arroja los siguientes parámetros:

- *Valor por m² o Valor Unitario del Suelo (VUT):* es el resultado directo de los modelos sobre las bases de predicción, considerando características de las parcelas.
- *Valor del suelo homogeneizado o Valor Unitario del Suelo Homogeneizado (VUTH):* presenta los resultados del cálculo del VUT considerando un lote tipo de tamaño y forma regular para todo el territorio. Funciona como indicador del valor independiente de las características de las parcelas.
- *Valor total de la parcela:* es el producto del cálculo entre el VUT por el área total de la parcela. Es el valor completo del terreno libre de mejoras.

Por su carácter incipiente, en este trabajo se decidió emplear el VUT como elemento representante de la aplicación de los modelos.

Los resultados de la modelación se evaluaron a través del Error Porcentual Medio Absoluto (*Mean Absolute Percent Error - MAPE*), que mide el error expresado en porcentaje a través del promedio de los errores absolutos.

Esta etapa fue desarrollada íntegramente en lenguaje Python¹⁴, utilizando Pandas¹⁵ y Scikit-Learn¹⁶ como biblioteca de manipulación y análisis de datos; Hyperopt¹⁷ para optimización de hiperparámetros en árboles de regresión; y la biblioteca XGBoost¹⁸ como implementación de este algoritmo.

Resultados

Los resultados de la etapa 1 se resumen en la tabla 2, donde se detalla la cantidad de observaciones sistematizadas en total y las que efectivamente fueron empleadas luego de la depuración; y en las figuras 4, 5 y 6, en las que se muestran las nubes de puntos resultantes por localidad, incluyendo puntos totales relevados y puntos descartados por diferentes factores.

Tabla 2. Total de muestras sistematizadas y procesadas en el proceso de revalúo.

Localidad	Scraping automatizado	Otros sitios web	Relevamiento en campo	Total observaciones	Total depuradas
San Rafael	31	9	67	107	70
Tunuyán	30	21	0	51	23
Malargüe	4	4	15	23	12
Totales	65	34	82	181	105

¹⁴ <https://www.python.org/>

¹⁵ <https://pandas.pydata.org/>

¹⁶ <https://scikit-learn.org/stable/>

¹⁷ <http://hyperopt.github.io/hyperopt/>

¹⁸ <https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/>

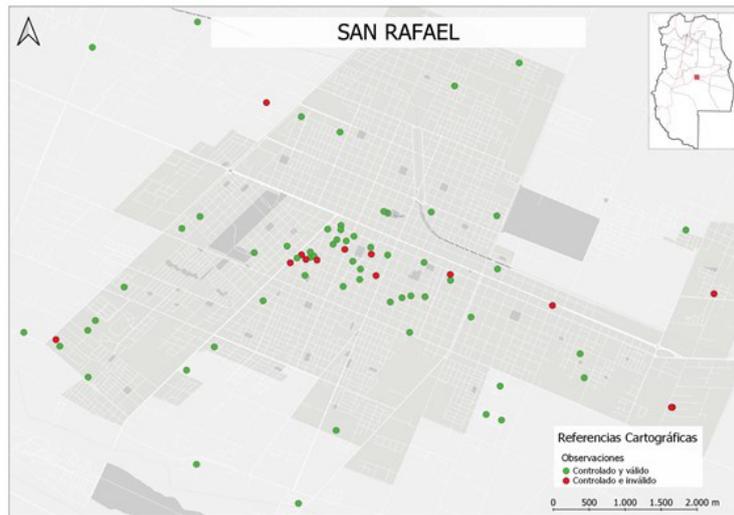


Figura 4. Nube de puntos resultantes del observatorio para San Rafael. Fuente: elaboración propia.

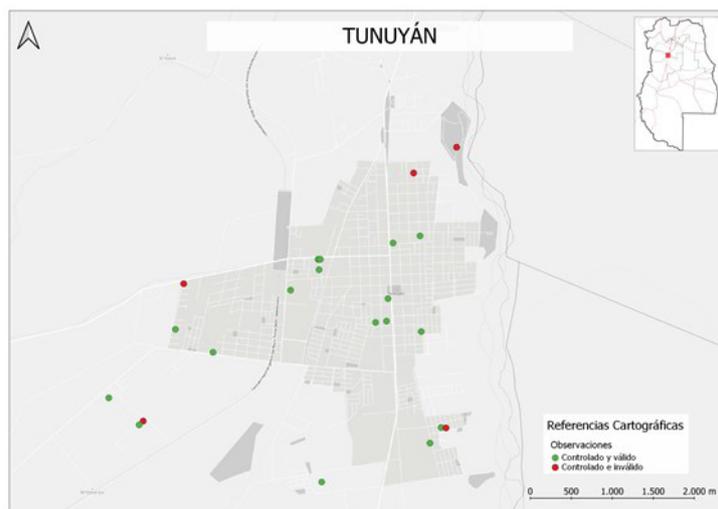


Figura 5. Nubes de puntos resultantes para Tunuyán. Fuente: Elaboración propia.

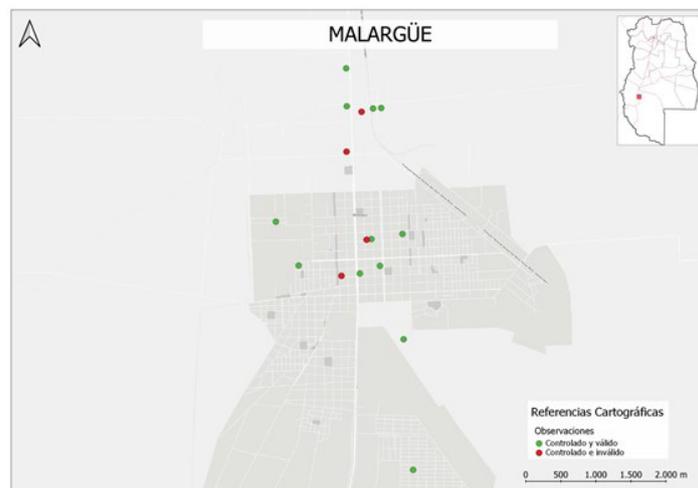


Figura 6. Nubes de puntos resultantes para Malargüe. Fuente: elaboración propia.

En la etapa 2 se generaron en total 79 variables geográficas organizadas en 3 categorías:

- *Catastrales*: derivadas de atributos propios de las parcelas tales como superficie construida, tamaño, etc.
- *De localización*: representan distancias a sitios o zonas de interés (hospitales, escuelas, etc.), su densidad (cantidad de paradas de bus en un radio determinado) o indican pertenencia a áreas con características particulares (áreas de alto valor, zonas homogéneas, etc.).
- *Satelitales*: obtenidas a través de la generación de diferentes índices espectrales o estadísticos calculados con productos satelitales (imágenes y modelos digitales de terreno).

Los procedimientos empleados se resumen en la Figura 7, y fueron aplicados tanto para la base de entrenamiento como para la de predicción, completando los conjuntos de datos de la etapa anterior para ejecución de la tercera etapa.

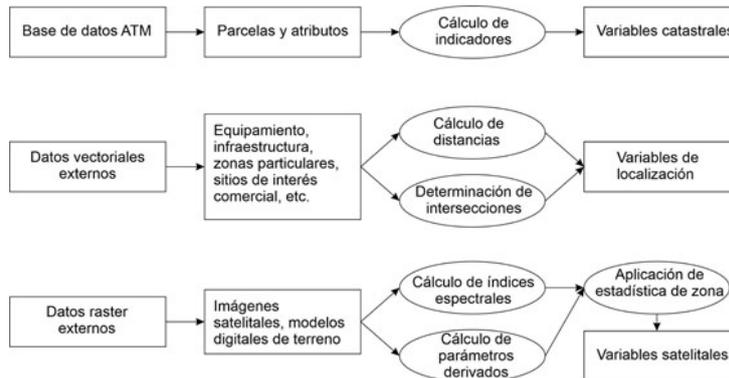


Figura 7. Flujo de trabajo para la generación de variables geográficas. Fuente: elaboración propia.

La etapa 3 consistió en la aplicación del algoritmo XGBoost. La implementación radicó en la variación de los datos de entrenamiento y validación a partir del cambio de semilla de inicialización. Los hiper parámetros de los árboles se obtuvieron a través de una búsqueda bayesiana (Bergstra *et al.*, 2013), previa configuración del espacio de búsqueda de estos parámetros y minimización de la función de pérdida. Este procedimiento se reiteró obteniendo 25 predicciones que luego fueron ensambladas con un meta-modelo del cual se obtuvo la predicción final.

La evaluación de calidad realizada mediante la obtención del índice MAPE arrojó un valor de 29%, que bajo estas condiciones de aplicación resulta aceptable y acorde a valores obtenidos en trabajos similares (Reyes-Bueno *et al.*, 2018; Carranza *et al.*, 2022; Oliveira, 2020; Oliveira *et al.*, 2022), aunque todavía por encima del rango establecido por la IAAO (2018) y procesos con varios años de experiencia que alcanzan actualmente cifras cercanas al 10% (IDECOR, 2022), aunque con diferencias metodológicas de obtención del MAPE. Posteriormente, se procedió a la asignación de valores de VUT sobre la base de datos de predicción, logrando los mapas que se presentan a continuación en las figuras 8 a 10.

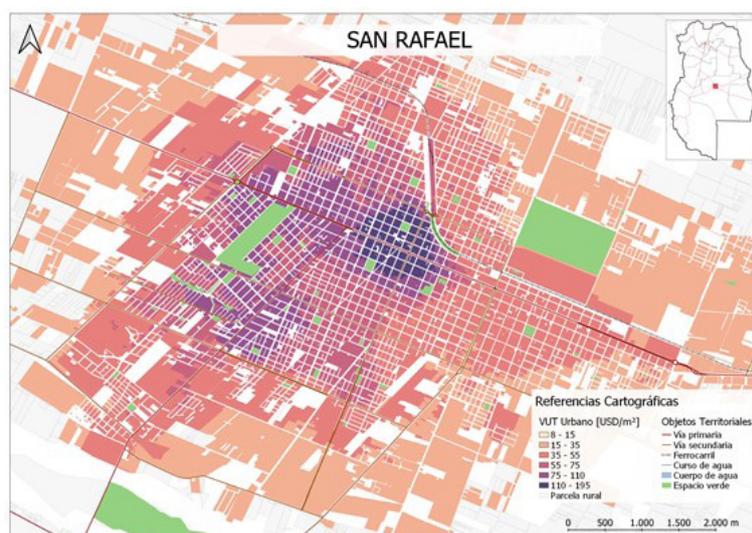


Figura 8. Mapa de valores del suelo urbano de la localidad de San Rafael. Fuente: elaboración propia.

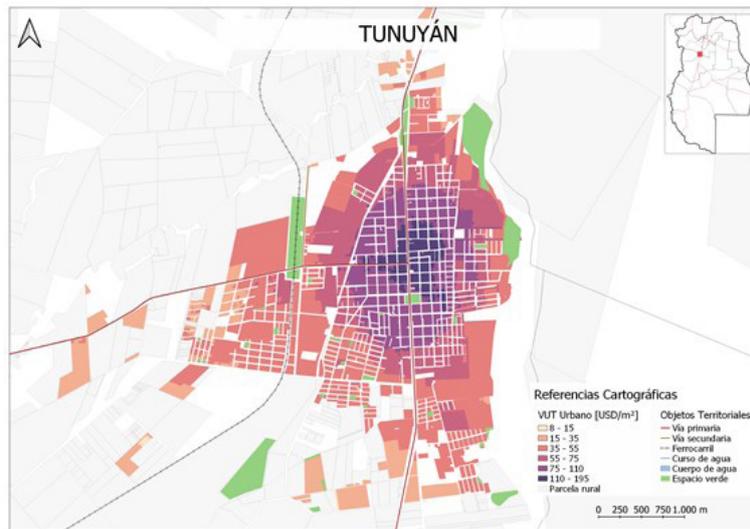


Figura 9. Mapa de valores del suelo urbano de la localidad de Tunuyán. Fuente: elaboración propia.

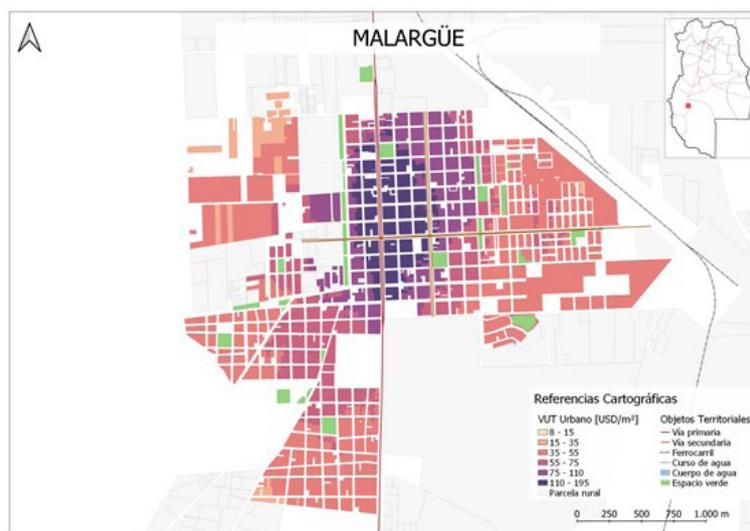


Figura 10. Mapa de valores del suelo urbano de la localidad de Malargüe. Fuente: elaboración propia.

Discusiones

Los métodos tradicionales aplicados para determinar valores catastrales en general, y el referido en la norma de Avalúos de Mendoza en particular, se basan en la obtención de valores a través del procesamiento de variables territoriales y parcelarias. La complejidad que pueden alcanzar estos modelos es tan amplia como detallado se requiera que sea el método, sin embargo, no existe alguno que concentre todos los elementos que intervienen en la formación de valores, por la sencilla razón de que hay parámetros «escondidos» o no determinables (gustos, preferencias, urgencias, entre otros). No obstante, al tratarse de una cantidad limitada y bien conocida de variables, los métodos pueden aplicarse sin problemas o limitaciones a todo un territorio, aunque los resultados finales pueden no estar relacionados con la riqueza real existente ni con el impacto efectivo de las obras públicas, permisos de edificación, etc. Por el contrario, en los valores de mercado que se pueden relevar en forma directa sí se incluyen esos factores escondidos, aunque sin conocer cuál es su influencia y/o especificidad, razón por la cual deben emplearse métodos estadísticos para arribar al mapa completo a partir de muestras. Si bien estos mecanismos no están exentos de errores, la precisión es cuantificable, puede determinarse y mitigarse por arreglos informáticos o bien reducirse mejorando la calidad del proceso (introduciendo más datos, por ejemplo). En resumen, la posibilidad de determinar la riqueza real del territorio es un horizonte al que se pueden dirigir las políticas de VMI, tomando los mejores aspectos de los métodos tradicionales, pero sin perder de vista el funcionamiento real del mercado. Los resultados presentados en este trabajo para San Rafael, Tunuyán y Malargüe muestran que la refinación de los métodos a través de la densificación de datos,

ampliación y/o jerarquización de variables geográficas, junto a la actualización o testeo de nuevos parámetros de calibración del modelo XGBoost, permiten proponer nuevos métodos de VMI a escala provincial, a relativo bajo coste y menores tiempos de ejecución, pero con mayor fidelidad y captación de los efectos de políticas territoriales que generan riqueza.

Conclusiones

Referir los valores al mercado inmobiliario está en el espíritu de la normativa catastral en gran parte de las jurisdicciones latinoamericanas, no obstante, esto raramente acontece en la práctica.

Existe vasta literatura sobre valuación masiva de inmuebles urbanos, desde el enfoque de precios hedónicos con modelos de regresión lineal múltiple, regresión espacial, con y sin el uso de técnicas geoestadísticas, hasta la aplicación de técnicas de machine learning; lo que lo que falta es difundir estos métodos y técnicas en Argentina y poner en práctica particularmente el algoritmo XGBoost además del Random Forest utilizado en los revalúos masivos desarrollados en la provincia de Córdoba (Carranza, J.P.; 2018). Tal como lo indica Muzaffer Can Iban (2022), si bien el rendimiento predictivo de los algoritmos basados en árboles puede superar al del método de mínimos cuadrados clásico y al XGBoost, el regresor que utiliza este último puede ser ligeramente mejor que los métodos competitivos basados en árboles

Este artículo describe un flujo de trabajo aplicado en localidades de la provincia de Mendoza, cuyo fin fue la obtención del mapa de valores de mercado a escala de parcela en zonas urbanas. Más allá de la consecución de dicho mapa, se ha demostrado que es posible aplicar métodos rápidos y económicos para referir la riqueza inmobiliaria a valores reales del mercado. No obstante, es importante destacar que la robustez del método radica fuertemente en las muestras reales del observatorio, de modo que su densidad debe establecerse como un parámetro de calidad al inicio del proceso. Aun así, los resultados estadísticos son promisorios para una implementación a mayor escala y sostenida en el tiempo.

El área de valuaciones masivas está en la pauta de los administradores públicos, se abre para la Agrimensura un nuevo espacio de trabajo que requerirá, no obstante, actualizaciones por parte de los profesionales actuantes y renovación de los programas de las disciplinas afines.

Bibliografía

- Bencure, J. C., Tripathi, N. K., Miyazaki, H., Ninsawat, S., & Kim, S. M. (2019).** Development of an Innovative Land Valuation Model (iLVM) for Mass Appraisal Application in Sub-Urban Areas Using AHP: An Integration of Theoretical and Practical Approaches. En *Sustainability* (Vol. 11, Número 13). <https://doi.org/10.3390/su11133731>.
- Bergstra, J., Yamins, D. & Cox, D. (2013).** «Hyperopt: A Python library for optimizing the hyperparameters of Machine Learning algorithms». Proceedings of the 12th Python In Science Conference.
- Breiman, L. (2001).** «Random Forests». *Machine Learning*, 45. pp. 5-32. Elsevier. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Brownlee, J. (2016).** A gentle introduction to XGBoost for applied Machine Learning. *Machine Learning Mastery*, consultado por última vez el 29/05/2023: <https://machinelearningmastery.com/gentle-introduction-xgboost-applied-machine-learning/>.
- Carranza, J. P., Salomón, M. J., Piumetto, M. A., Monzani, F., Montenegro, M. G. & Córdoba, M. A. (2018).** Random Forest como técnica de valuación masiva del valor del suelo urbano: una aplicación para la ciudad de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Congreso de Cadastro Multifinalitário e Gestao Territorial, COBRAC. Florianópolis.
- Carranza, J. P., Piumetto, M. A., Salomón, M. J., Monzani, F., Montenegro, M. G. & Córdoba, M. A. (2019).** Valuación masiva de la tierra urbana mediante inteligencia artificial. EL caso de la ciudad de San Francisco, Córdoba, Argentina. *Revista Vivienda & Ciudad*, Vol. 6, ISSN 2422-670X.
- Carranza, J. P.; Piumetto, M. A.; Lucca, C. M. & Da Silva, E. (2022).** «Mass appraisal as affordable public policy: Open data and machine learning for mapping urban land values». *Land Use Policy*, Vol. 119. Elsevier.
- Cerino, R. M., Carranza, J. P., Piumetto, M. A., Bullano, M. E., Caffaratti Donalisio, V. & Monzani, F. (2021).** Propuesta para la valuación masiva del suelo urbano. Aplicación espacial del algoritmo Quantile Regression Forest. *Revista Vivienda y Ciudad*, Vol. 8, ISSN 2422-670X.
- Chen, T. & Guestrin, C. (2016).** «XGBoost: A scalable tree boosting system». KDD '16: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. pp 785-794.
- Cohen, J. P., Coughlin, C. C., & Zabel, J. (2020).** Time-Geographically Weighted Regressions and Residential Property Value Assessment. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 60(1), 134-154. <https://doi.org/10.1007/s11146-019-09718-8>.
- Díaz Viera, M. A. (2002).** *Geoestadística Aplicada*.
- Dioguardi, F., Torres, D., Antonelli, R. L. & del Río, J. P. (2022).** Construcción de un grafo de conocimiento para un observatorio inmobiliario. Libro de actas del XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2022.
- Doumpos, M., Papastamos, D., Andritsos, D., & Zopounidis, C. (2020).** Developing automated valuation models for estimating property values: a comparison of global and locally weighted approaches. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03556-1>.
- Eguino, H. & Erba, D.; (Eds.) (2020).** Catastro, valoración inmobiliaria y tributación municipal: Experiencias para mejorar su articulación y efectividad. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18235/0002437>.
- Freund, Y. & Schapire, R. E. (1996).** «Experiments with a new boosting algorithm». En Saitta (Ed.): *Machine Learning*, Proceedings of the 13th International Conference. pp. 148-156. Morgan Kaufmann.
- Hayles, K. (2006).** A Property Valuation Model for Rural Victoria [School of Mathematical and Geospatial Science. RMIT University]. <http://researchbank.rmit.edu.au/eserv/rmit:6265/Hayles.pdf>
- IAAO (2018).** Standard on Automated Valuation Models (AVMs). International Association of Assessing Officers. Disponible en: https://www.iaao.org/media/standards/Standard_on_Automated_Valuation_Models.pdf
- IDECOR (2022).** Informe: Estudio del Mercado de Suelo Urbano de la provincia de Córdoba. Disponible en: <https://www.idecor.gob.ar/wp-content/uploads/2022/12/Informe-Valores-Tierra-Urbana-2022.pdf>
- Kauko, T. J., & d'Amato, M. (Eds.). (2017).** *Advances in Automated Valuation Modeling*. En *AVM after the non-agency mortgage crisis*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49746-4>.
- Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q. & Liu, T. (2017).** «LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree». 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS).
- Monzani, F., Carranza, J. P., Piumetto, M. A., Salomón, M. J., Polo, R., ECórdoba, M. A. & Monayar, M. V. (2020).** Análisis estadístico del impacto de la superficie, el frente y el fondo sobre el valor unitario de la tierra urbana. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 7 N° 1.
- Napoli, G., Giuffrida, S., Trovato, M. R., & Valenti, A. (2017).** Cap Rate as the Interpretative Variable of the Urban Real Estate Capital Asset: A Comparison of Different Sub-Market Definitions in Palermo, Italy. *Buildings*, 7(3).
- Oliveira, A. A. F. de. (2020).** «Avaliação em massa com modelos de aprendizado de máquina aplicados aos terrenos urbanos do Município de Fortaleza». Dissertação (Mestrado em Economia do Setor Público). Universidade Federal do Ceará.
- Oliveira, A. A. F. de; Bandeira, S. R. V.; Silva, C. V. A. (2022).** «Estimativa de desempenho de métodos de aprendizado de máquina baseados em árvores de decisão na valoração do solo no município de Fortaleza, Brasil». *Revista Valorem*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-15, 2022.
- Polikar, R. (2006).** The Wavelet Tutorial. Rowan University.
- Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A. & Gulin, A. (2018).** «CatBoost: unbiased boosting with categorical features». *Advances in Neural Information Processing Systems* 31.
- Reyes-Bueno, F., García-Samaniego, J. M. & Sánchez-Rodríguez, A. (2018).** «Large-scale simultaneous market segment definition and mass appraisal using decision tree learning for fiscal purposes». *Land Use Policy*, Vol. 79, pp. 116-122. Elsevier.
- Royuela, V., & Duque, J. C. (2013).** HouSI: Heuristic for delimitation of housing submarkets and price homogeneous areas. *Computers, Environment and Urban Systems*, 37(1), 59-69.

Wang, D., Li, V. J., & Yu, H. (2020). Mass Appraisal Modeling of Real Estate in Urban Centers by Geographically and Temporally Weighted Regression: A Case Study of Beijing's Core Area. *Land*, 9(5), 143. <https://doi.org/10.3390/land9050143>.

Wolpert, D. H. (1992). «Stacked generalization». *Neural Networks*, 5 (2). pp. 241-259. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(05\)80023-1](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(05)80023-1).

Yilmazer, S., & Kocaman, S. (2020). A mass appraisal assessment study using machine learning based on multiple regression and random forest. *Land Use Policy*, 99, 104889. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104889>.