

LIBRO DE RESÚMENES

AAGG2024

XXX
**Reunión Científica de la Asociación
Argentina de Geofísicos y Geodestas**

15 al 19 de abril de 2024

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, FACULTAD
REGIONAL BUENOS AIRES,
AV. MEDRANO 951,
CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES**



Esta publicación compila los resúmenes de los trabajos científicos presentados en la **XXX Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas (AAGG 2024)**, realizada en el Aula Magna de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional, sita en Av. Medrano 951 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, del 15 al 19 de abril de 2024. La reunión contó con la presencia de astrónomos, geofísicos, geodestas, agrimensores, oceanógrafos, hidrólogos, meteorólogos, climatólogos, geólogos, glaciólogos y profesionales e investigadores de disciplinas relacionadas con las Ciencias de la Tierra, del Agua y de la Atmósfera. Además, lo hicieron funcionarios, docentes, estudiantes y público en general.

Las disciplinas abordadas durante la reunión son las siguientes:

Geofísica, Meteorología, Climatología, Oceanografía, Geodesia, Geofísica Aplicada, Sismología, Vulcanología, Física Solar, Geomagnetismo, Geomática aplicada a los procesos en las Ciencias de la Tierra, Hidrología, Ciencias de la Criósfera y Comunicación pública de la ciencia.

Los resúmenes fueron evaluados por el Comité Organizador Científico, integrado por los siguientes docentes-investigadores:

Araneo, Diego
Arecco, María Alejandra
Durand, Jorge Marcelo
Guarracino, Luis
Larocca, Patricia
Lauro, Carolina
Lenzano, Luis
Sabbione, Juan Ignacio
Velis, Danilo
Yuchechen, Adrián

La compilación general fue realizada por los Dres. Claudia N. Tocho y Adrián E. Yuchechen.

Agradecemos a todos los expositores y asistentes por su participación en el evento, y esperamos seguir contando con su apoyo en el futuro.

Claudia N. Tocho y Adrián E. Yuchechen

Libro de resúmenes de la XXX Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas: AAGG 2024 / . - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Astrónomicas y Geofísicas. Observatorio Astronómico de la Plata, 2024.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-34-2441-4

1. Geodesia. 2. Geofísica. 3. Atmósfera.

CDD 523.2

Índice general

MODELADO DE LA MAREA INDUCIDA POR EFECTOS MECÁNICOS EN ACUÍFEROS COSTEROS HETEROGÉNEOS	14
Ignacio Censi, Luis Guarracino y Julián Cuello	14
INTERACCIÓN MECÁNICA ENTRE ACUÍFEROS COSTEROS Y EL RÍO DE LA PLATA	16
Julián E. Cuello y Luis Guarracino	16
PUESTA EN VALOR DE INFORMACIÓN HIDROCLIMÁTICA PARA LA TOMA DE DECISIÓN DEL SECTOR HIDROENERGÉTICO A PARTIR DE UN MODELO DE SUELO: CORRECCIÓN CON REGRESIONES MÚLTIPLES LINEALES	17
Gonzalo Díaz, Carolina Cerrudo, Alejandro Godoy, Lorena Ferreira	17
DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES EN MARISMAS DE LA RESERVA NATURAL BAHÍA SAN BLAS	19
Julieta Galliarì, Carolina Tanjal, Francisco Cellone, Rosario Acosta, María del Pilar Álvarez Eleonora Carol	19
HIDROQUÍMICA DE HUMEDALES COSTEROS ASOCIADOS A LA RESERVA NATURAL BAHÍA SAN BLAS	20
Julieta Galliarì, Carolina Tanjal, Guido Borzi, Lucía Santucci, M. Pilar Álvarez, Eleonora Carol	20
AJUSTE DEL CAUDAL MÁXIMO ANUAL CON LA FUNCIÓN GENERAL DE VALORES EXTREMOS EN CONTEXTO NO-ESTACIONARIO	21
Carolina Lauro y Alberto I. J. Vich	21
IMPACTO DE LA SEQUÍA DEL AÑO 2020 EN EL RÉGIMEN HIDROLÓGICO LOCAL: UN ANÁLISIS HIDROGRAVIMÉTRICO	22
Jonatan Pendiuk y Luis Guarracino	22
DETECCIÓN DE HIELO SUBTERRÁNEO EN AMBIENTE PERIGLACIAL	23
Ana Belén Janavel, Cristian Villarroel y Marcelo González	23
ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES SOLUBLES EN EL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN LAS LAGUNAS DE MONTE Y LAS PERDICES, PCIA. DE BUENOS AIRES	25
Carolina Tanjal, Guido Borzi, Lucía Santucci, M.J. Galliarì, Eleonora Carol	25
APLICACIÓN DE TOMOGRAFÍAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO EN UN AMBIENTE DE CABECERA DE CUENCA HIDROGRÁFICA	27
Gregorini, C.A.; Fornés, M.; Gualde, M.S.; Ríos Hiriart, G.; Kuntz, S.; Arrouy, M.J.; Ares, M.G.	27
INFLUENCIA CLIMÁTICA SOBRE LA VARIABILIDAD HIDROQUÍMICA TEMPORAL DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN UN AMBIENTE LAGUNAR DEL OESTE BONAERENSE	28
Acosta, R.; Carol, E.; Álvarez, M.P.; Melendi, E.; Leal, P.	28
EVALUACIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN EL SISTEMA LAGUNAR EL HINOJO, PCIA. DE BUENOS AIRES	29
Tanjal, Carolina; Borzi, Guido; Santucci, Lucía; Cellone, Francisco; Carol, Eleonora	29
DISTRIBUCIÓN DE FORMAS NITROGENADAS INORGÁNICAS EN UN HUMEDAL RECEPTOR DE EFLUENTES RESIDUALES	30

Pasquale Pérez, María Paz; Carol, Eleonora y Santucci, Lucía	30
APLICACIÓN DE LA GRAVIMETRÍA SATELITAL AL MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS	31
Abelardo Romero, Andreas Richter y Thorben Axel Döhne.....	31
APLICACIÓN DE LA ALTIMETRÍA SATELITAL LÁSER AL ESTUDIO DE GRANDES LAGOS PATAGÓNICOS	33
F. Suad Corbetta, A. Richter, E. Marderwald, M.E. Gómez, L. Mendoza	33
VALORACIÓN Y RESULTADOS DEL AGUA DE SAÑOGASTA PARA CONSUMO DOMICILIARIO	35
Jaular, Miguel; García, Jorge; Isaia, Claudia; Sena, Diego; Frias, Santiago	35
ALFVÉNICITY OF THE SOLAR WIND NEAR EARTH.....	37
S. Spago, B.D. Dorsch y S. Dasso	37
FÁBRICA MAGNÉTICA DEL PALEOZOICO DE LAS ISLAS MALVINAS	39
Milanese, F.; Calviño, M.; Franceschinis, P.; Agostini, J.; Naselli, M.; Tomezzoli, R.; Rapalini, A.E.; Vilas, J.F.....	39
ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DATOS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL DE TUCUMÁN (26.8°S, 65.1°O) Y LOS DATOS DE REANÁLISIS DEL ERA5 Y NCEP/NCAR	40
Cristóbal I. Silvero, Franco D. Medina, Bruno S. Zossi, Gustavo A. Mansilla, Fernando Nollas, Ana G. Elias	40
INFLUENCIA DEL AUMENTO DE CO ₂ Y LA DINÁMICA GEOMAGNÉTICA SOBRE LAS TENDENCIAS A LARGO PLAZO DE LA CAPA IONOSFÉRICA F ₂	41
Trinidad Duran, Yamila Melendi Fernando S. Buezas, Ana G. Elias.....	41
COMPORTAMIENTO INTEGRADO DE LOS ÍNDICES IONOSFÉRICOS EN SUDAMÉRICA DURANTE LA TORMENTA GEOMAGNÉTICA DEL DÍA DE SAN PATRICIO.....	43
A. Urutti, A.M. Meza, L.P.O. Mendoza, G.A.S. Picanço	43
ESTUDIO DE LA ANOMALÍA MAGNETICA DEL ATLÁNTICO SUR CON DATOS SATELITALES DE PRECIPITACIÓN DE PARTÍCULAS.....	45
Guillermo D. Rodríguez, Ezequiel García y Leonardo Navarría.....	45
EFFECTOS DE LAS ONDAS DE CHOQUE DEL VIENTO SOLAR EN LOS REGISTROS DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO DE ESTACIONES DEL HEMISFERIO SUR.....	46
Sallago, P.A. y Montero, M.F.....	46
ESTUDIO DE PERTURBACIONES IONOSFÉRICAS PRODUCIDAS POR OSCILACIONES EN EL VIENTO SOLAR UTILIZANDO OBSERVACIONES GNSS ..	49
J.M. Castaño y A.M. Meza.....	49
VERIFICACIÓN DE PRONÓSTICOS DIARIOS DE TEMPERATURAS MÁXIMA, MÍNIMA Y PRECIPITACIÓN REALIZADOS POR EL LABORATORIO DE PRONÓSTICO METEOROLÓGICO PARA LA CIUDAD DE LA PLATA	50
Mauricio Bocanegra, Micaela Cabrera, Juan Augusto Díaz, Eliana Marcos, Lisandro Pinto, Serena Sánchez, Victoria Vahnovan, Alejandro Godoy y Horacio Sarochar ..	50
PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA RAYOS: UNA DÉCADA CONCIENTIZANDO SOBRE LAS TORMENTAS DESDE LA EXTENSIÓN UNIVERSITARIA	54
F.I. Solari, A. Cesanelli, S.S. Kseminski, M.F. Barle, C.I. Villagrán Asiares, J.A. Diaz	54

CAMBIO CLIMÁTICO: UN ABORDAJE SENCILLO DESDE UNA PERSPECTIVA COMPLEJA	56
Nadia Testani, Malena S. Lozada Montanari, Leandro B. Diaz, Nadia Itzel Castillo Pérez, Marianela Groppa, Belén Martorelli, Agustina Carranza.....	
ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DEL SISTEMA HIDROTÉRMAL PROFUNDO DE BAHÍA BLANCA.....	59
Oscar Marcos Zambrano, Emiliano Agustín Fernández, Noelia Cynthia Mamani Apaza, Sol Saubide, Tomás De Arteche, Agustina D'Amico, Hernán Navarro, Héctor Adolfo Ostera, Luciano Machain.....	
CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DE LAS UNIDADES NEÓGENAS-CUATERNARIAS EN EL SECTOR MEDIO DE LA CUENCA CLAROMECÓ	60
Ríos Hiriart, G.; Gualde, M.S.; Fornés, M.; Gregorini, C.A.; Kuntz, S.; Weinzettel, P.	
APLICACIÓN DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS PARA EL ESTUDIO DE SUELOS AGRÍCOLAS EN URUGUAY: UN ANÁLISIS ACTUALIZADO.....	61
J.A. Ramos, N. Bonomo, P. Martinelli, C. Garcia, A. Quincke, A. Berger, Á. Otero, A. Borrero, P. Gamazo y L. Bessone	
MECANISMO FOCAL A PARTIR DE INVERSIÓN DEL TENSOR MOMENTO COMPLETO DE FORMA DE ONDA COMPLETA DE EVENTOS VT EN EL VOLCÁN COPAHUE.....	62
Andrés D'Onofrio, Gabriela Badi y Simone Cesca.....	
ANÁLISIS DE LA RESPUESTA SISMOELÉCTRICA DE UN ACUÍFERO DURANTE LA INFILTRACIÓN DE UN CONTAMINANTE DENSO NO ACUOSO.....	64
Azul Senn, Fabio Zyserman y Santiago Solazzi	
CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO SÍSMICO REGISTRADO EN LA ESTACIÓN SISMOLÓGICA DE LA PLATA	65
María Laura Rosa	
INTEGRACIÓN DE DATOS AEROMAGNÉTICOS E IMÁGENES SATELITALES PARA CARACTERIZAR LOS CONTROLES ESTRUCTURALES DEL SISTEMA GEOTERMAL EN VALLE DEL CURA, SAN JUAN, ARGENTINA.....	66
Franco E. Mancini, Marcos A. Sánchez, Florencia Ahumada, Gabriela Alvarez, Antonella Sottile	
DESCARGAS ELÉCTRICAS EN ERUPCIONES ANDINAS UTILIZANDO LA WORLD WIDE LIGHTNING LOCATION NETWORK.....	69
Daiana Baissac, Gabriela Nicora, Gabriela Badi, Eldo Ávila	
ILUMINANDO ESTRUCTURAS SUBSUPERFICIALES EN GALÁPAGOS MEDIANTE INTERFEROMETRÍA SÍSMICA.....	71
Boero, E.; Casas, J.A.; Badi, G.A.; Draganov, D	
ATENUACIÓN INTRÍNSECA Y DE SCATTERING EN EL VOLCÁN COPAHUE: RESULTADOS PRELIMINARES	73
M.C. Novak Merquel, J. Prudencio y G.A. Badi	
INTERPRETACIÓN SÍSMICA DEL FRENTE DE DEFORMACIÓN EN EL SECTOR SUR DE LA FAJA PLEGADA Y CORRIDA DEL AGRIO, CUENCA NEUQUINA.....	75
A. Sticker, M. Turienzo, T. Duran, V. Alfano, F. Lebinson.....	
ASIMILACIÓN DE HUMEDAD DE SUELO EN LA REGIÓN CHACO-PAMPEANA USANDO DATOS SATELITALES DE SMAP Y SMOS	77
Obregón, Fabricio Matías; Pulido, Manuel y Lucini, María Magdalena	

MODELADO DEL POTENCIAL ESPONTÁNEO DURANTE ENSAYOS DE FRACTURACIÓN HIDRÁULICA.....	79
Luis Guarracino, Damien Jougnot, Nadine Hagg, Eva Schill	79
MIGRACIÓN KIRCHHOFF POR MÍNIMOS CUADRADOS: CONSIDERACIONES PARA EL PROCESO	81
Nicolás Tessone, Juan I. Sabbione y Mauricio D. Sacchi	81
RADIOGRAFÍA DE MUONES EN EL VOLCÁN COPAHUE: SIMULACIONES NUMÉRICAS DEL FLUJO DE MUONES A GRANDES ALTITUDES, INSTALACIÓN DEL DETECTOR Y DATOS PRELIMINARES	83
Matías Tramontini, Marina Rosas-Carbajal, Fabio I. Zyserman, Gabriela Badi, Sebastián García, Jacques Marteau	83
DECONVOLUCIÓN DE EULER 3D PARA IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS CORTICALES EN LAS CUENCAS DE CLAROMECÓ Y COLORADO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.....	85
S.E. Vázquez Lucero y C.B. Prezzi	85
ESTUDIO DE LA EMISIÓN ACÚSTICA PRODUCIDA EN LA FRACTURA DE ANDESITAS Y BASALTOS ANDINOS	87
A. Vesga-Ramírez, M.E. Zitto, D. Filipussi, E. Camilion, R. Piotrkowski, P. Zabala Medina, M.P Gómez	87
UN SERVICIO DIGITAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE MAGNETIZACIÓN EN ANOMALÍAS ESCALARES DE INTENSIDAD TOTAL.....	89
Ana Carolina Pedraza De Marchi y Julián L. Gómez	89
GENERACIÓN DE DATOS REALISTAS MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PROBABILÍSTICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS DE ROCA	90
Julián L. Gómez y Emilio Camilión	90
UNA HERRAMIENTA PARA ASISTIR EN LA INTERPRETACIÓN DE DATOS DE MÉTODOS POTENCIALES DE PROSPECCIÓN UTILIZANDO EL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PROBABILÍSTICO	92
Julián L. Gómez, Ana Carolina Pedraza De Marchi y Claudia L. Ravazzoli	92
APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO EN INVERSIÓN PROBABILÍSTICA 3D DE DATOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FUENTE CONTROLADA.....	94
Matias W. Elias, Marina Rosas-Carbajal y Fabio I. Zyserman	94
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE DATOS ELECTROMAGNÉTICOS A CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL MONTE SUBMARINO LUCKY STRIKE	96
Matias W. Elias, Timothy A. Minshull, Fabrice J. Fontaine, Marina Rosas-Carbajal y Fabio I. Zyserman	96
DENOISING LINEARLY POLARIZED 3C SEISMIC DATA	98
Danilo R. Velis and Julián L. Gómez	98
PROCESAMIENTO DE DATOS AEROMAGNÉTICOS PARA EL CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD DEL PUNTO DE CURIE Y FLUJO DE CALOR EN PRECORDILLERA CENTRAL, SAN JUAN, ARGENTINA.....	100
Gabriela Alvarez, Franco E. Mancini, Antonella Sotille, Marcos A. Sánchez, Rodolfo Christiansen, Myriam Patricia Martínez	100
ANÁLISIS MAGNETOTELÚRICO DE MEDIOS ANISÓTROPAS MEDIANTE EL ESTUDIO DEL TENSOR DE IMPEDANCIAS, EL TENSOR DE FASE Y LOS VECTORES DE TIPPER	102
Lihué Gaffoglio, Liliana Guevara y Fabio Zyserman	102

ESTUDIOS CON GPR Y EMI EN EL SITIO HISTÓRICO VUELTA DE OBLIGADO .	104
Néstor Bnomo, María Victoria Bongiovanni y Mariano Ramos	104
REPRESENTACIÓN DE CONVERSIONES SISMOELÉCTRICAS MEDIANTE LA SUPERPOSICIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS DIPOLARES	105
F. Bucher, L. Monachesi, G. Castromán, F. Zyserman	105
CÁLCULO DE LA RELACIÓN ESPECTRAL H/V EN LA ISLA DE TIERRA DEL FUEGO	107
Flores, Guadalupe y Rosa, María Laura	107
SENSIBILIDAD DE ONDAS RAYLEIGH A CAMBIOS DE SATURACIÓN DE FLUIDOS EN SISTEMAS HIDROTERMALES VOLCÁNICOS	109
G. Castromán, M. Rosas-Carbajal, N. Barbosa, M. Heap, C. Caudron, A. Burtin y F. Zyserman	109
AMBIENT SEISMIC NOISE AND TIDAL-FORCED CHANGES IN GROUNDWATER LEVELS IN THE COASTAL PLAIN OF THE RÍO DE LA PLATA, ARGENTINA.	111
Luciano Galone, Francesco Panzera, Emanuele Colica, Enrique Fucks, Eleonora Carol, Francisco Cellone, Luís Rivero, Matthew R. Agius and Sebastiano D'Amico	111
VARIABILITY OF SURFACE DEPOSITS AND THEIR IMPACT ON GROUND MOTION: AN ANALYSIS IN NORTHEAST BUENOS AIRES, ARGENTINA	114
Luciano Galone, Emanuele Colica, Enrique Fucks, Eleonora Carol, Francisco Cellone ³ and Sebastiano D'Amico	114
IMPORTANTE ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL ARCO DE LA PLACA DE SCOTIA. UN CASO DE ESTUDIO	116
Mora, Mariana C.; Canero, M. Florencia; Arecco, M. Alejandra; Larocca, Patricia A.; Oreiro, Fernando A.; Fiore, Mónica E.	116
FUNCIONES DEL RECEPTOR SOBRE UN PERFIL EN EL BORDE ESTE DE LA CUENCA PANTANAL	118
Melina Lunansky, María Laura Rosa y Martin Schimmel	118
EVOLUCIÓN DE PARÁMETROS SÍSMICOS DURANTE EL PROCESO ERUPTIVO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO PLANCHÓN-PETEROA EN 2018	119
Verónica Laura Martínez, José Augusto Casas, Gabriela Alejandra Badi, Sebastián Esteban García, Jesús M. Ibáñez	119
MODELADO DEL BASAMENTO DE UNA CUENCA PROFUNDA OFFSHORE. CUENCA ARGENTINA	121
Arecco, M. Alejandra ; Larocca, Patricia A.; Mora, Mariana C.; Canero, M. Florencia	121
CONFIGURACIÓN TECTONO-ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO TURBIO, TIERRA DEL FUEGO. ARGENTINA	123
Prezzi, Claudia; Onorato, M. Romina; Vazquez Lucero, Sebastián; Orgeira, María Julia; Ríos, Natalia; Perucca, Laura; Coronato, Andrea; Gorza, Candela; López, Ramiro ⁴	123
CALIBRACIÓN DE UN MODELO DE FÍSICA DE ROCAS ANISÓTROPO PARA SHALES DE LA FORMACIÓN PALERMO AIKE MEDIANTE DATOS DE POZO Y RECORTES DE PERFORACIÓN	124
Ravazzoli, Claudia L.; Panizza, Guido y Camilión Emilio	124
ESTUDIO GEOFÍSICO DE UN SECTOR DE LA CUENCA INFERIOR DEL RÍO URUGUAY. RESULTADOS PRELIMINARES	126

Graneros, M.; Ramos, J.; Golbach, J.R.; Menta, A.; Giménez, M.; Reyes, M., Borrero, A.; Gamazo, P.....	126
ASIMILACIÓN DE HUMEDAD DE SUELO EN LA REGIÓN CHACO-PAMPEANA USANDO DATOS SATELITALES DE SMAP Y SMOS	128
Obregón, Fabricio Matías; Pulido, Manuel; Lucini, María Magdalena	128
ESTUDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA ROTACIÓN TERRESTRE	130
Alejandro Navarro, Vanesa Rivero Ana M. Pacheco, Ricardo C. Podesta Johana Quinteros & Hernán Alvis Rojas	130
EVOLUCIÓN DE LAS CO-LOCALIZACIONES EN EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO FÉLIX AGUILAR.	131
Quinteros, J., Podestá, R.; Pacheco, A.M; Alvis Rojas, H.; Navarro, A.....	131
DETERMINACIÓN DE EOPS A PARTIR DE INFORMACIÓN SLR A SATÉLITES LAGEOS Y ETALON.	133
R. Galván, M del R. Etchegoyen, F.E. Toledo, M. Carbonetti, M.F. Häfner, M. Gende	133
INTEGRACIÓN DE RECEPTORES GNSS DE BAJO COSTO PARA APLICACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS	134
Luciano P.O. Mendoza, Andreas Richter, Eric Marderwald	134
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEOFÍSICOS Y ORBITALES A PARTIR DE OBSERVACIONES LÁSER A SATÉLITES (SLR).....	136
Nicolás Rezzano y Luciano P.O. Mendoza.....	136
MODELO DE GEOIDE LOCAL PARA EL GRAN SAN MIGUEL TUCUMÁN BASADO EN DATOS GPS Y DE GRAVEDAD.....	138
Dulci, Ariana; Golbach, J. Rodolfo y Durand, J. Marcelo	138
CARACTERIZACIÓN GRAVIMÉTRICA Y MAGNETOMÉTRICA DEL SISTEMA DE VENTANIA, BUENOS AIRES, ARGENTINA.....	140
Lexow, Maximiliano; Bahía, Marcos E.; Scivetti, Nicolás; Benedini, Leonardo.....	140
VALIDACIÓN DE VARIACIONES DE GRAVEDAD OBSERVADAS CON GRACE-FO A PARTIR DE OBSERVACIONES DEL GRAVÍMETRO SUPERCONDUCTOR SG038 INSTALADO EN EL OBSERVATORIO ARGENTINO-ALEMÁN DE GEODESIA (AGGO)	142
Pedro M. Granovsky, Ezequiel D. Antokoletz, Claudia N. Tocho	142
ANÁLISIS GEODÉSICO DE LA CALDERA CERRO BLANCO, CATAMARCA.....	143
Pereira, Ailin; Alcácer, Juan Manuel; Miranda, Silvia; Viramonte, José Germán; Pereira, Ayelén; Pacino, María Cristina	143
PRESENTACIÓN LIBRO: “EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS: SISTEMAS DE COORDENADAS”	144
Gabriel Álvarez.....	144
UN MODELO DE REDISTRIBUCIÓN DE MASA OCEÁNICA COMO HERRAMIENTA PARA LA PROYECCIÓN DEL NIVEL DEL MAR.....	149
A. Richter, F. Suad Corbetta, A. Romero, A. Juárez, E.R. Marderwald.....	149
EFFECTOS DE LOS CALENTAMIENTOS ESTRATOSFÉRICOS SÚBITOS (SSW) EN LAS VARIACIONES A LA ROTACIÓN TERRESTRE	151
Fernández, Laura I.	151
MARCOS DE REFERENCIA GEODÉSICOS DE SOLUCIONES CON RESTRICCIONES EN LA COMPENSACIÓN DE UNA RED LIBRE DE TRILATERACION 2D.....	153

José Luis Vacaflor	153
COMPARACIÓN DE MÉTODOS FFT Y GRILLADO DE ANOMALÍAS PARA MODELADO DE CUASIGEOIDE EN UNA REGIÓN DE ARGENTINA	156
Agustín R. Gómez, Claudia N. Tocho, Ezequiel D. Antokoletz, Hernán J. Guagni.	156
RELEVAMIENTO DE GRANDES ESTRUCTURAS CON LIDAR.....	158
S. Amalfi, C. Infante, D. Del Cogliano, J. Duro, D. Sandez, D. Gómez, L. Moya, F. Bernasconi, B. Alaniz	158
DEFLEXIÓN DE LA VERTICAL EN LA REGIÓN DEL RADIOTELESCOPIO CART. INFORME DE AVANCE.....	160
R.C. Podestá, A.M Pacheco, H. Alvis Rojas, J.E. Quinteros, A. Navarro, J. L. Navarro, V.N. Rivero, D.S. Calvo, A.R. García y E.A. Juan	160
ADVANCES IN THE DETERMINATION OF GEODETIC COORDINATES FOR NON- GEODETIC TELESCOPES WITHIN THE EVN BASED ON K BAND DATA	161
Gómez, Maria Eugenia; Charlot, Patrick; Campbell, Robert; Keimpema, Aard Kettenis, Mark.....	161
AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE ORIENTACIÓN TERRESTRE A PARTIR DEL ANÁLISIS SEMI-AUTOMATIZADO DE SESIONES VLBI GEODÉSICO.....	162
Gomez, Maria Eugenia y Fernández, Laura I.	162
MODELADO BIDIMENSIONAL DE LA CORTEZA EN SECTORES DE SANTIAGO DEL ESTERO.....	164
Claudia Infante, María Alejandra Arecco y Claudia N. Tocho	164
DETERMINACIÓN DE LA DEFORMACIÓN POR EFECTO DE CARGA OCEÁNICA MEDIANTE OBSERVACIONES GNSS	166
A. Juárez, A.J. Richter, A. Romero, E. Marderwald, L. Mendoza.....	166
SLR en AGGO: DESARROLLO Y MEJORAMIENTO	168
M.N. Mardegan, F.E. Toledo, R. Galván, M.F. Häfner y M. Gende	168
SLR EN AGGO: DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS PRELIMINARES	171
F.E. Toledo, M.N. Mardegan, R. Galván, M.F. Häfner y M. Gende.....	171
ACTIVITIES IN ABSOLUTE GRAVIMETRY AT THE ARGENTINEAN-GERMAN GEODETIC OBSERVATORY (AGGO).....	173
A. Pasquaré, E. Brachmann, E.D. Antokoletz, A. Lothhammer, H. Wziontek, M.F. Häfner y M. Gende	173
ANÁLISIS DE LOS 25 AÑOS DE EVOLUCIÓN DEL MODELO IAU-IUGG PARA LA NUTACIÓN DE LA TIERRA: PERSPECTIVAS FUTURAS	175
Marta Folgueira-López y Laura I. Fernández.....	175
VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE PRODUCTOS DE SALINIDAD SUPERFICIAL SATELITAL EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÁNTICO SUDOCCIDENTAL	177
Basañes, S.; Ruiz-Etcheverry L. y Luz Clara M.	177
HIDRODINÁMICA EN UNA PLANICIE DE MAREA DURANTE UNA ONDA DE TORMENTA POSITIVA (ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA, ARGENTINA).....	179
Camila Stempels Bautista, Gerardo M.E. Perill, Diana G. Cuadrado y Mauricio M. Perillo	179

CLOUDINESS VARIABILITY AND LONG-TERM DECREASE OVER NORTHEASTERN ARGENTINA: INSIGHTS FROM SURFACE OBSERVATIONS AND SATELLITE-DERIVED DATA	181
Nadia Testani, Federico Robledo, Leandro Díaz	181
ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN MODELO SATELITAL DE RADIACIÓN SOLAR EN LA ESTACIÓN DE VILLA MARTELLI DE LA RED SAVER-NET.....	183
Anabela Rocío Lusi, Pablo Facundo Orte, Rodrigo Alonso-Suárez, Elian Wolfram	183
ANÁLISIS DE ÍNDICE DE CONFORT TÉRMICO UNIVERSAL UTCI EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES EN CONDICIONES DE ALTO ESTRÉS TÉRMICO.....	185
Esteban Andrés Zuccaro, Mariana Barrucand, Agustina López Ramirez.....	185
CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO vs. AEROSOLES ¿UNA ATMÓSFERA EN CONSTANTE INTERACCIÓN ELÉCTRICA?.....	188
Yasmin R. Velazquez, M. Gabriela Nicora, Vito S. Galligani, Elian A. Wolfram, Raúl L. D'Elia.....	188
ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RELACIÓN ENTRE LOS RENDIMIENTOS DE SOJA Y LOS ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN CONSIDERANDO DATOS OBSERVADOS, REANÁLISIS E INFORMACIÓN SATELITAL	190
Barberis J.G. y Barrucand M.	190
IMPACTO DEL MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL DESARROLLO DE SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO ATUEL	192
J. Caragunis, J. Rivera, C. Gulizia y O. Penalba	192
INTERACCIÓN SUELO-ATMÓSFERA EN SUDAMÉRICA: CONTRIBUCIÓN DE LAS COMPONENTES DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	196
Daira A. Rosales, Romina C. Ruscica y Anna A. Sörensson	196
INFLUENCIA DE LOS FORZANTES ATMOSFÉRICOS EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MODELADA	197
Daira A. Rosales, Romina C. Ruscica y Anna A. Sörensson	197
AVANCES EN LA GENERACIÓN DE SERIES TEMPORALES HOMOGÉNEAS DE ZTD E IWV, DERIVADOS DE DATOS GNSS EN SUDAMÉRICA, PARA ESTUDIOS DE ASIMILACIÓN EN NWP	198
G.P. Anasimele, L.P.O. Mendoza, M.E. Dillon, Y. García Skabar.....	198
IMPACTOS DEL DIPOLO DE OCÉANO ÍNDICO EN SUDAMÉRICA Y SU ACCIÓN COMBINADA CON EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR SOBRE EL CLIMA DE SUDAMÉRICA DURANTE LA PRIMAVERA.....	200
Luciano G. Andrian, Marisol Osman, Carolina S. Ver.....	200
ANÁLISIS DE LOS GRADIENTES TROPOSFÉRICOS DETERMINADOS A PARTIR DE OBSERVACIONES DE GNSS DURANTE EL DESARROLLO DE UN CICLÓN EN EL RÍO DE LA PLATA.....	202
Pablo L. Antico, Victoria Graffigna, Mauricio Gende, Michael Häfner	202
TEMPERATURA DEL AIRE EN SUPERFICIE Y HUMEDAD RELATIVA MEDIDAS EN EL OBSERVATORIO ARGENTINO-ALEMÁN DE GEODESIA (AGGO).....	203
Pablo L. Antico, Michael Häfner, Mauricio Gende	203
ROL DE LA PRECIPITACIÓN Y LA EVAPOTRANSPIRACIÓN SOBRE LOS CAMBIOS DE LA ARIDEZ EN ARGENTINA.....	204
Blanco, Pedro Samuel y Doyle, Moira Evelina.....	204
CAMBIO EN LAS TEMPERATURAS MEDIAS ESTACIONALES DEL NORTE DE MENDOZA EN 1983-1984.....	205
Cavagnaro, Martín; Araneo, Diego; González Antivilo, Francisco.....	205

ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA VARIABILIDAD EN BAJA FRECUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL Y ESTACIONAL EN LA PLATA OBSERVATORIO	207
Andrés Cesanelli y Lorenzo Ricetti	207
CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO COMO INDICADOR DE ESTRÉS TÉRMICO EN EL CENTRO Y NORTE DE ARGENTINA	208
Candela S. Glatstein, Rocio Balmaceda-Huarte, Maria L. Bettolli	208
VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE EVENTOS COMPUESTOS CÁLIDOS Y SECOS EN EL SUR DE SUDAMÉRICA	209
Agustina López Ramirez, Mariana Barrucand, Soledad Collazo	209
DESEMPEÑO DE LAS SIMULACIONES CLIMÁTICAS DEL CONJUNTO CMIP6 PARA LA REPRESENTACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL CENTRO-OESTE DE ARGENTINA	210
Georgina Marianetti, Juan A. Rivera, Maria Laura Bettolli	210
EVALUACIÓN DEL PRODUCTO MOD17A2H PARA REPRESENTAR LA PRODUCCIÓN PRIMARIA BRUTA EN LA REGIÓN PAMPEANA.....	213
Merino, R.A. y Gassmann, M.I.	213
CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTERANUAL Y TENDENCIAS EN EL CENTRO DE ARGENTINA.....	214
Dalia V. Panza, Leandro B. Díaz, Carolina Vera	214
EFFECTO DE EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR SOBRE EL VÓRTICE ESTRATOSFÉRICO POLAR DEL HEMISFERIO SUR.....	216
Nahuel Gómez, Marisol Osman y Carolina Vera	216
RELACIÓN ENTRE VÓRTICE ESTRATOSFÉRICO POLAR Y LAS ASIMETRÍAS ZONALES DE LA CIRCULACIÓN TROPOSFÉRICA EXTRATROPICAL DEL HEMISFERIO SUR.....	218
Nahuel Gómez, Marisol Osman y Carolina Vera.....	218
INTERCOMPARACIÓN DE PARAMETRIZACIONES DEL MODELO WRF Y SU IMPACTO EN LA PREDICCIÓN DE PRECIPITACIONES INTENSAS: UN CASO DE ESTUDIO EN LA PLATA	221
L.E. Zapata y G.J. Berri.....	221
CARACTERIZACIÓN DE PERÍODOS HÚMEDOS Y SECOS Y SUS FORZANTES ASOCIADOS EN EL SUR DE SUDAMÉRICA	222
M.E. Pérez de Mendiola, J. Blázquez, S.A. Solman	222
PATRONES DE VARIABILIDAD DEL CICLO HIDROLÓGICO DEL RÍO CHUBUT ..	224
Federico Gómez y Diego Araneo	224
CARACTERIZACIÓN DE OLAS DE CALOR MEDIANTE ÍNDICES DE TEMPERATURA MÁXIMA Y SU RELACIÓN CON SEQUÍA AGRONÓMICA CARACTERIZADA POR SPEI	226
Belén A. Martorelli, Gabriela Posse , María E. Beget, María L. Bettolli	226
DISTRIBUCIÓN DE DESCARGAS SUPER ENERGÉTICAS SOBRE LOS ANDES CENTRALES, ESTUDIO PRELIMINAR.....	228
María Florencia Barle, María Gabriela Nicora y Eldo E. Ávila.....	228
HABILIDAD DE LOS MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE ESCALA PARA REPRESENTAR DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN Y EL IMPACTO EN LOS CAUDALES DEL RÍO URUGUAY.....	230
Moira E. Doyle, Gonzalo M. Diaz y Laura M. Chavez	230

EVALUACIÓN DE LA CAUSALIDAD DIFERENCIAL ENTRE SERIES CLIMÁTICAS MEDIANTE DESCOMPOSICIÓN EMPÍRICA EN MODOS	232
Juan Pablo Muszkats, Miguel Eduardo Zitto y Rosa Piotrkowski	232
ASIMILACIÓN DE DATOS PROTOTIPO DE RADAR: SENSIBILIDAD DEL FILTRO DE MAPEO DE PARTÍCULAS A LA DENSIDAD PRIOR.....	233
Juan Martin Guerrieri y Manuel Pulido.....	233
ENSO Y SAM COMO FORZANTES DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL DE LA INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN TUCUMÁN (ARGENTINA)	235
Franco D. Medina, Bruno S. Zossi y Ana G. Elias.....	235
CAMBIOS TEMPORALES EN EL PULSO DE DERRETIMIENTO NIVAL EN PRIMAVERA EN LA REGIÓN DE CUYO	237
Juan Rivera y Carolina Lauro	237
SISTEMA GNSS DE MONITOREO ZTD E IWV A TIEMPO CASI REAL EN SUDAMERICA: IMPLEMENTACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y MEJORAS FUTURAS.....	238
Luciano P.O. Mendoza, Juan Manuel Aragón Paz, Laura I. Fernández, Guillermina Anasimele	238
ESTUDIO SOBRE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN EL NORTE ARGENTINO DURANTE LA ÉPOCA DE VERANO	240
Paula Oliveri, Sabrina Ayala, Marianela Groppa, Melanie Meis.....	240
EXPLORACIÓN DE MÉTODOS DE ASIMILACIÓN DE DATOS PARA EL MODELO DE LORENZ DE N VARIABLES UTILIZANDO EL LOCAL ENSEMBLE TRANSFORM KALMAN FILTER.....	241
Gacitúa-Gutiérrez J.L. y Ruiz J.J.	241
RELACIÓN ENTRE LA CORRIENTE EN CHORRO DE CAPAS BAJAS SUDAMERICANA, EL ENOS Y LA PRECIPITACIÓN EN EL SUDESTE DE SUDAMÉRICA.....	243
Santino Adduca, Santiago I. Hurtado, Pablo G. Zaninelli.....	243
ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL ESPERADA EN AÑOS EL NIÑO	245
Vanesa C. Pántano y Olga C. Panalba.....	245
ANÁLISIS DE EVENTOS DE OLAS DE CALOR MARINAS EN MAR DEL PLATA Y SU VARIABILIDAD TEMPORAL.....	246
Maira Luz Clara, Reinaldo Agustín Maenza y Bárbara Prario	246
SIMULACIÓN DE LOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN SUDAMÉRICA.....	248
María Florencia Iacovone, Vanesa C. Pántano y Olga C. Panalba	248
INCENDIOS GENERADOS POR RAYOS EN LA ZONA CENTRAL DE ARGENTINA	249
Lucía Pini, Daiana M. Baissac, M. Gabriela Nicora.....	249
UNA DÉCADA DE GEORAYOS WEB Y APP: EVOLUCIONANDO LA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS EN ARGENTINA.....	250
M. Gabriela Nicora, Daiana Baissac, Constanza Villagrán Asiares, M. Florencia Barle, Yasmin Velazquez, Lucia Pini, Lucas Bali, Raúl D`Elia	250
ESTUDIO DE OLAS DE CALOR EN LA CIUDAD DE LA PLATA EN EL PERÍODO 1988 – 2023	251
Rubén H. Sarochar.....	251

ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN PARAJE KILKA Y CAMPO DE VERANADA. DEGRADACIÓN DE SUELOS E INCIDENCIA SOBRE ACTIVIDADES REGIONALES	252
Agustina Silva, María Eugenia Coniglio, María Llera, Jorge Guillermo, Edgardo Millen ⁶	252
SISTEMAS FRONTALES COMO FORZANTES DE LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA: CARACTERIZACIÓN SOBRE EL SUR DE SUDAMÉRICA EN INVIERNO Y PRIMAVERA	253
F.I. Solari, J. Blázquez y M.G. Nicora	253
TEMPESTADES DE POLVO EN LA PROVINCIA DE MENDOZA: CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS	256
Miatello, Agustina Laura y Rivera, Juan Antonio	256
EXPLORANDO EL POTENCIAL DE LOS LIGHTNING JUMPS PARA INFERIR EL RIESGO DE EVENTOS METEOROLÓGICOS SEVEROS	257
Constanza I. Villagrán Asiares, M. Gabriela Nicora, Paola Salio, Hernán Bechis, Vito Galligani, Avila, Eldo E., Meza, Amalia	257
CONTRIBUCIONES DESDE LA GEODESIA AL ESTUDIO DE TORMENTAS SEVERAS.....	259
Mackern, María Virginia , Rosell, Patricia Alejandra, Mateo, María Laura, Camisay, María Fernanda.....	259
DEM2SKY: UNA HERRAMIENTA PARA LA SELECCIÓN DE SITIOS PARA ESTACIONES GNSS.....	260
Marderwald, E.R.; Richter, A.; Mendoza, L.P.O.; Gómez M.E.; Romero, A. Suad Corbetta F.; Juárez A.; Paez Jimenez, S.P.	260
SENSORAMIENTO REMOTO APLICADO AL RECONOCIMIENTO DE DEPÓSITOS EVAPORÍTICOS DEL OESTE DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.	262
Acosta, R.; Leal, P.; Carol, E.; Alvarez, M.P.; Vigiani, L.; Kürten, G.	262
APLICACIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES PARA ANÁLISIS HIDRO-GEOMORFOLÓGICO EN AMBIENTES DE CRESTAS DE PLAYA EN BAHÍA SAMBOROMBÓN, PROVINCIA DE BUENOS AIRES	263
Leal, M.P.; Acosta, R.; Ali Santoro, V.; Perdomo; S., Carol, E.	263
MAPEO AUTOMATIZADO DE LA LÍNEA DE NIEVE DE LOS GLACIARES VIEDMA, UPSALA Y PERITO MORENO Y SU CORRESPONDENCIA CON LA LÍNEA DE EQUILIBRIO ALTITUDINAL, UTILIZANDO LA PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE.....	264
Ignacio R. Ortiz Diaz y María Gabriela Lenzano	264
GEOMÁTICA APLICADA A LA IDENTIFICACIÓN DE LOS MARCOS DE REFERENCIA DE LOS POZOS DE EXPLORACIÓN HISTÓRICOS.....	266
Gabriel Álvarez.....	266
PRECISIÓN DE ALTIMETRÍA SATELITAL Y USO DE HIPSOMETRÍA PARA MODELAR CAMBIOS DE ESPESOR DE HIELO EN GLACIARES DE ARGENTINA.....	268
P. Vacafior, M.G. Lenzano, E. Lannutti, S. Moragues.....	268

MODELADO DE LA MAREA INDUCIDA POR EFECTOS MECÁNICOS EN ACUÍFEROS COSTEROS HETEROGÉNEOS

Ignacio Censi¹, Luis Guarracino^{1,2} y Julián Cuello¹

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

nacho_censi@hotmail.com

La estimación de los parámetros hidráulicos de los acuíferos se suele realizar mediante la técnica clásica de ensayos de bombeo. Estos ensayos consisten en la extracción de agua de un pozo mediante el uso de una bomba y la consiguiente medición de los descensos del nivel piezométrico en un pozo de monitoreo cercano. La conductividad hidráulica del acuífero se estima empleando fórmulas que vinculan el caudal de agua extraído en el pozo de bombeo con los descensos del nivel piezométrico observados en el pozo de monitoreo. Una de las desventajas de esta técnica es el enorme volumen de agua que debe ser extraído, lo que limita severamente su aplicación en acuíferos contaminados o afectados por la intrusión salina.

Una alternativa a los ensayos de bombeo en zonas costeras es la utilización de la señal natural de la marea oceánica o de río que se induce en los acuíferos tanto libres como confinados. Las señales de marea del océano (o eventualmente de un río) se suelen observar con amplitudes atenuadas y con cierto desfase temporal en los pozos de monitoreo cercanos a la costa. A partir del análisis de las amplitudes y fases de las señales registradas tanto en el océano como en un pozo de monitoreo es posible inferir las propiedades hidráulicas del acuífero mediante soluciones analíticas. Esta técnica posee varias ventajas en relación con los ensayos de bombeo: 1) no se extrae agua del pozo por lo que se puede emplear en acuíferos contaminados o afectados por la intrusión salina, 2) los parámetros hidráulicos obtenidos tienen una mayor representación espacial, 3) a partir del análisis de los distintos períodos de la marea se puede obtener información sobre las heterogeneidades del acuífero. La mayor desventaja de esta técnica es que solo puede ser utilizada en acuíferos costeros afectados por la marea.

Para modelar la marea inducida en acuíferos homogéneos que se extienden por debajo del océano se suele utilizar una expresión analítica derivada por van der Kamp (1972). Este modelo considera el caso particular de la marea inducida por efectos puramente mecánicos. Las variaciones de la marea oceánica generan cargas y tracciones sobre el acuífero subyacente que deforman elásticamente la matriz sólida desplazando el agua contenida en el espacio poral. Este fenómeno induce una señal de marea que se propaga tierra adentro en el acuífero confinado y que puede ser detectada en pozos cercanos a la costa. La marea inducida por efectos mecánicos ha sido observada en el acuífero Puelche en la Provincia de Buenos Aires. Este acuífero se encuentra confinado y se extienden por debajo del Río de la Plata hasta alcanzar la costa oriental de Uruguay (Cuello et al., 2022).

En el presente trabajo se presenta un modelado analítico de la marea mecánica inducida por efectos mecánicos bajo las mismas hipótesis generales propuestas por van der Kamp (1972) pero considerando un acuífero heterogéneo. La heterogeneidad consiste en asumir valores de conductividad hidráulica y almacenamiento específico diferentes para el sector del acuífero que se encuentra por debajo del océano. En la Figura 1 se muestra un esquema simplificado del sistema acuífero considerado.

Para modelar el flujo de agua se utilizan las ecuaciones clásicas de flujo en un medio unidimensional pero considerando un término fuente-sumidero que describe la compresión y tracción del medio en la región del acuífero que se extiende por debajo del océano. La ecuación de flujo junto con las condiciones de borde se expresan en

variables complejas y el problema de contorno resultante se resuelve mediante el método de separación de variables.

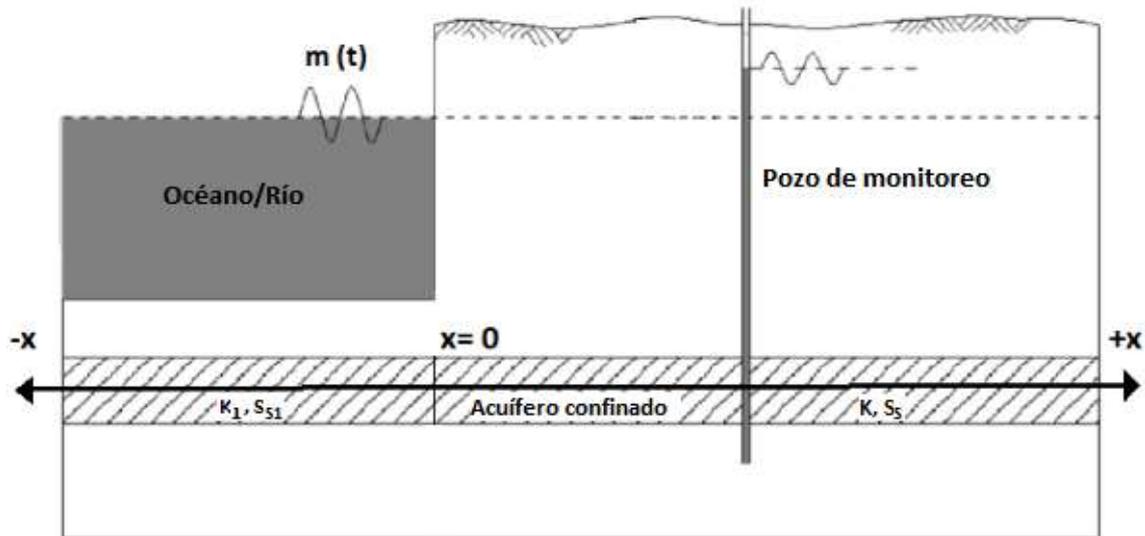


Figura 1: Esquema del sistema acuífero. K y K_1 : conductividades hidráulicas; S_s y S_{s1} : almacenamientos específicos.

Las expresiones analíticas que describen el flujo de agua en el acuífero heterogéneo son cerradas y relativamente sencillas. Cuando los valores de los parámetros hidráulicos tienden a los mismos valores en todo el acuífero ($K_1=K$ y $S_{s1}=S_s$) se obtiene la solución clásica de van del Kamp del caso homogéneo.

A partir de un análisis paramétrico del modelo obtenido, se observa que cuando la conductividad hidráulica y/o el almacenamiento específico por debajo del océano incrementan su valor (es decir $K_1>K$ y/o $S_{s1}>S_s$), la marea inducida en el sector costero aumenta su amplitud. La situación contraria ocurre cuando los valores de la conductividad hidráulica y/o el almacenamiento específico por debajo del océano disminuyen ($K_1<K$ y/o $S_{s1}<S_s$). El hecho tal vez más llamativo es que la heterogeneidad no produce efecto alguno sobre el desfase temporal cuando se lo compara con el caso homogéneo.

Finalmente se destaca que la solución propuesta permite analizar de manera indirecta las propiedades hidráulicas de los acuíferos que se encuentran por debajo de los océanos o ríos, a los cuales resulta difícil acceder de manera directa. El paso siguiente será utilizar la nueva solución analítica para analizar las propiedades del acuífero Puelche en el sector costero de la Provincia de Buenos Aires.

Referencias

- van der Kamp, G., 1972. Tidal fluctuations in a confined aquifer extending under the sea. In: International Geological Congress (Vol. 24, No. 11, pp. 101-106). Montreal: Quebec.
- Cuello, J., Guarracino, L., Alcaraz, M., Carrera, J., Vives, L., 2022. Interacción mecánica entre el Río de La Plata y el sistema de acuíferos costeros en el Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, Boletín Geológico y Minero de España, 133 (1): 227-243.

INTERACCIÓN MECÁNICA ENTRE ACUÍFEROS COSTEROS Y EL RÍO DE LA PLATA

Julián E. Cuello¹ y Luis Guarracino^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata.
Paseo del Bosque s/n, La Plata 1900, Provincia de Bs. As., Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
Av. Rivadavia, 1917. C1066AAJ Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

julianecuello@gmail.com

Las soluciones analíticas brindan herramientas valiosas para el estudio de la interacción entre el agua superficial y el agua subterránea. En este trabajo, se aplica una solución analítica innovadora para el fenómeno de marea inducida en un sistema acuífero compuesto por dos unidades confinadas superpuestas. La singularidad de este modelo conceptual radica en la consideración del efecto mecánico de las variaciones piezométricas en el acuífero superior sobre el inferior, lo que se denomina acoplamiento mecánico. Esta novedosa solución se aplica a un conjunto de datos piezométricos recopilados en los acuíferos Puelche y Paraná, en el noreste de la Provincia de Buenos Aires, específicamente en la localidad de Avellaneda. Los resultados revelan un menor margen de error en la estimación de la difusividad hidráulica cuando se tiene en cuenta el acoplamiento mecánico en comparación con la clásica solución de interacción mecánica de van der Kamp, que no considera este fenómeno. Este estudio no solo contribuye a una comprensión más profunda de la interacción entre los acuíferos superiores e inferiores en regiones costeras, sino que también demuestra la utilidad de las soluciones analíticas en la evaluación de los parámetros hidráulicos subterráneos, lo que es fundamental para la gestión y conservación de estos recursos hídricos vitales.

PUESTA EN VALOR DE INFORMACIÓN HIDROCLIMÁTICA PARA LA TOMA DE DECISIÓN DEL SECTOR HIDROENERGÉTICO A PARTIR DE UN MODELO DE SUELO: CORRECCIÓN CON REGRESIONES MÚLTIPLES LINEALES

Gonzalo Díaz^{1,2}, Carolina Cerrudo¹, Alejandro Godoy^{1,3}, Lorena Ferreira¹

1. Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.
2. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA.
3. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG-UNLP).

gdiaz@smn.gob.ar

El presente trabajo muestra la puesta en valor de información hidroclimática proveniente de entidades externas al Servicio Meteorológico Nacional, en este caso la Central Hidroeléctrica Entidad Binacional Yacyretá, con el objetivo de proveer un servicio de predicción de evaporación. Con este fin, se analizó la información de evaporación de la Central Hidroeléctrica para 6 puntos de interés y se utilizó el modelo de suelo VIC para el diagnóstico de la condición de evaporación entre el año 2015-2022. Las salidas del modelo VIC fueron corregidas mediante regresiones múltiples lineales para obtener una representación más confiable de la evaporación por parte del modelo. Los resultados obtenidos mostraron una mejora de la Raíz del Error Cuadrático Medio de 8.79 mm a 5.03 mm y del Coeficiente de Correlación de Pearson de 0.21 a 0.81 cuando se lleva a cabo una corrección del modelo en el punto de interés de Encarnación.

Introducción

La misión del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina es la de “brindar información y pronósticos meteorológicos, perspectivas climáticas y alertas en su área de incumbencia, basados en el monitoreo continuo de la atmósfera y en el conocimiento científico, con el objeto de proteger a la población, contribuir a la defensa nacional y favorecer el desarrollo sustentable”. Expertos en el área de meteorología e hidrología de la Dirección de Servicios Sectoriales (DSS) del SMN se vinculan con usuarios de los distintos sectores productivos del país, tales como el sector agropecuario, los recursos hídricos, el transporte, energía, salud, etc. Uno de estos usuarios es el del sector vinculado con el área técnica de la Central Hidroeléctrica Entidad Binacional Yacyretá (EBY, construida por Argentina y Paraguay). El objetivo de este trabajo es mostrar el proceso que se está llevando a cabo en el SMN para posibilitar una futura implementación de un producto o servicio operativo de predicción de evaporación para la EBY. Dicha demanda por parte del usuario es uno de los resultados que se obtienen como consecuencia del diálogo permanente y la coproducción del servicio entre ambas instituciones, tal como recomienda la Organización Meteorológica Mundial para garantizar la mejora continua en la prestación de servicios (OMM N° 1129).

Datos y metodología

A partir de la interacción en reuniones mensuales periódicas entre el SMN y EBY, surgió la necesidad por parte de EBY, de contar con un servicio de predicción para la variable hidrometeorológica de evaporación. EBY cuenta con 6 estaciones meteorológicas que registran información de forma diaria y son puntos de interés para ellos. En base a este requerimiento, la DSS llevó a cabo un análisis de factibilidad a partir de la evaluación de un modelo de suelo denominado Variable Infiltration Capacity (VIC) producido en la Universidad de Washington (Liang et al, 1994) en los 6 puntos de interés identificados.

Inicialmente, se obtuvieron los valores registrados de evaporación de los 6 puntos de interés de EBY: Pedro Juan Caballero, Salto del Guaira, Coronel Oviedo, Pilar, Capitán Meza y Encarnación. En un primer análisis se detectó que estos valores debían ser corregidos en base a la precipitación bajo la recomendación de la Organización

Meteorológica Mundial (OMM No. 168). Tras generar las series corregidas de evaporación, se forzó el modelo VIC para el período 2015-2022 en los 6 puntos de interés. Dicho modelo utiliza como forzante para su ejecución variables meteorológicas de entrada de precipitación diaria, temperatura máxima diaria y temperatura mínima diaria.

Por último, con el fin de generar simulaciones más confiables de evaporación a partir del modelo VIC, se realizaron correcciones a los errores sistemáticos del modelo. Estas correcciones se obtuvieron aplicando relaciones múltiples lineales entre la observación de evaporación y distintas variables de salida del modelo. Es decir, considerando como variable predictando a la observación de evaporación y como variables predictoras a distintas variables de entrada y salida del modelo (precipitación, evaporación, escurrimiento superficial y subsuperficial, humedad de suelo y temperatura en la capa superior, transpiración de las plantas, temperatura superficial y temperatura del aire).

Resultados y conclusiones

Al corregir el modelo mediante relaciones múltiples lineales, se obtienen resultados de mayor calidad contrastando contra las observaciones, que en el caso de utilizar datos directamente obtenidos del modelo VIC. La Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE, por sus siglas en inglés) muestra una mejora de 8.79 mm a 5.03 mm y el Coeficiente de Correlación de Pearson (CC) evidencia una mejora de 0.21 a 0.81. La Figura 1 muestra la evolución temporal de evaporación en el período 2015-2022 para la observación, el modelo VIC y la corrección del modelo VIC en la estación Encarnación. En la misma se observa que la serie corregida del modelo representa mucho mejor los picos de evaporación observada, a diferencia del modelo VIC no corregido.

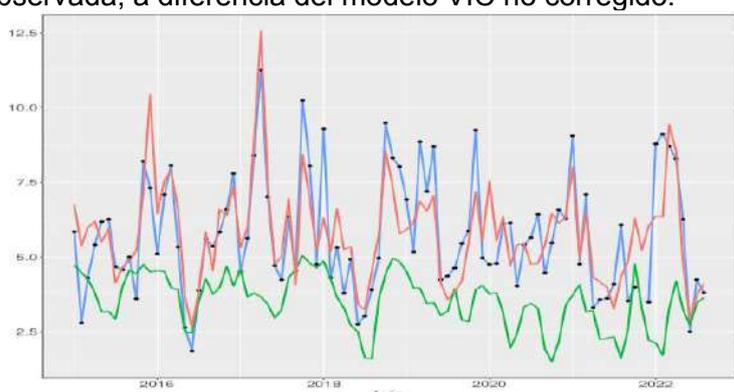


Figura 1: Evolución temporal de la evaporación para el punto de interés en Encarnación. Azul: observación. Verde: modelo VIC. Rojo: el modelo VIC corregido con regresiones lineales múltiples.

Referencias

- Liang X., Lettenmaier D. P., Wood E. F. and Burges S. J. (1994). *A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models*. J. Geophys. Res., Vol. 99 (D7), 14415–14428.
- Organización Meteorológica Mundial N°168. Fifth Edition. (1994). *Guide to Hydrological Practices: Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and Other Applications*. Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial N°1129. (2014) *La estrategia de prestación de servicios de la OMM y su plan de aplicación*.

DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES EN MARISMAS DE LA RESERVA NATURAL BAHÍA SAN BLAS

Julieta Galliari¹, Carolina Tanjal¹, Francisco Cellone², Rosario Acosta¹, María del Pilar Álvarez³, Eleonora Carol¹

1. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina.
2. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina.
3. Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (CONICET), Puerto Madryn, Argentina.

jgalliari@cig.museo.unlp.edu.ar

Las marismas constituyen uno de los principales humedales costeros cuyo funcionamiento hidrológico está íntimamente ligado a los flujos mareales. Uno de los principales servicios ecosistémicos de estos humedales es la regulación del contenido de macro y micronutrientes. La Reserva Natural Bahía San Blas es un área protegida que comprende ambientes de planicies intermareales asociados a ambientes de marismas producto de la evolución geomorfológica del área durante el Cuaternario. La hidrología del área está condicionada tanto por los aportes desde flujos mareales como por las variables climáticas asociadas a la evapotranspiración. El objetivo del trabajo fue caracterizar la distribución de nutrientes en las planicies intermareales asociadas a ambientes de marismas. Se diseñó una red de monitoreo que comprende puntos de muestreos de agua superficial y subterránea somera, ubicados en los distintos sectores del humedal (planicie intermareal y zonas adyacentes a esta) y agua de mar. Durante el muestreo se determinó en campo el pH y conductividad eléctrica (CE) del agua con un equipo portátil. En las muestras extraídas se determinó el contenido de fósforo total (Pt), fósforo reactivo soluble (Ps), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+). Los resultados expuestos evidencian que el humedal costero constituye un ambiente intermareal con marismas asociadas donde los aportes de N y P derivarían no solo de fuentes antrópicas sino también de fuentes naturales como la atmosférica, y la degradación de la MO propia del ambiente y en el caso de la marisma y planicie fangosa también del flujo mareal y descarga de agua subterránea. Los resultados obtenidos constituyen una base de datos de importancia para la gestión de estas áreas de humedales costeros que alojan reservas naturales.

HIDROQUÍMICA DE HUMEDALES COSTEROS ASOCIADOS A LA RESERVA NATURAL BAHÍA SAN BLAS

Julieta Galliari¹, Carolina Tanjal¹, Guido Borzi¹, Lucia Santucci¹, M. Pilar Álvarez², Eleonora Carol¹

1. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina.
2. Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (CONICET), Puerto Madryn, Argentina.

jgalliari@cig.museo.unlp.edu.ar

Los humedales son bienes que prestan servicios ambientales y los ecosistemas más productivos de la Tierra. La Reserva Natural Bahía San Blas localizada en el sureste de la Provincia de Buenos Aires es un área protegida de clima semiárido con fuerte evaporación que comprende humedales con ambientes de planicies intermareales asociados a canales de marea, donde la interacción entre el agua subterránea y los flujos intermareales condicionan la hidroquímica del humedal. El objetivo del trabajo fue caracterizar químicamente el agua superficial y subterránea asociada al humedal. Durante febrero de 2023 se realizó un análisis topográfico junto a relevamientos que comprendió una red de monitoreo de agua superficial y subterránea. En campo se midió el pH y conductividad eléctrica del agua (CE, indicadora de salinidad) con un equipo portátil y se colectaron muestras para analizar iones mayoritarios en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones Geológicas. Los resultados obtenidos evidencian que el agua es de tipo clorurada sódica. Mientras que, la hidroquímica del humedal está condicionada por la fuerte evapotranspiración del área, la descarga de agua subterránea desde las geformas positivas, así como también por la influencia del flujo mareal, lo que conlleva a cambios en la salinidad y el contenido iónico del agua superficial y subterránea. Comprender el funcionamiento de los humedales brinda herramientas para la gestión de estos ecosistemas hidrodinámicamente muy activos.

AJUSTE DEL CAUDAL MÁXIMO ANUAL CON LA FUNCIÓN GENERAL DE VALORES EXTREMOS EN CONTEXTO NO-ESTACIONARIO.

Carolina Lauro¹ y Alberto I. J. Vich^{1,2}

1. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CCT-Mendoza, CONICET, Argentina.
2. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

clauro@mendoza-conicet.gob.ar

La variabilidad climática y el cambio climático desafían los supuestos de estacionariedad, dando lugar al desarrollo de nuevos métodos para la estimación de los parámetros de las funciones de distribución. El objetivo es identificar la presencia de no-estacionariedad en una serie temporal de caudal máximo anual regional y modelar los extremos hidrológicos en un contexto no estacionario. Para ello se emplearon diversas técnicas estadísticas de detección de tendencia y saltos abruptos. Se ajustó la función general de valores extremos mediante el método de máxima verosimilitud considerando la anomalía de temperatura superficial del mar en la región 3.4 del océano Pacífico ecuatorial como co-variable. Se identificó una tendencia significativa y saltos en los años 1971 y 2007. El modelo no estacionario presentó un mejor ajuste de los datos observados y cuantiles estimados representan la variabilidad interanual de la serie. Estos resultados aportan información para la planificación de los recursos hídricos en un contexto de variabilidad climática.

IMPACTO DE LA SEQUÍA DEL AÑO 2020 EN EL RÉGIMEN HIDROLÓGICO LOCAL: UN ANÁLISIS HIDROGRAVIMÉTRICO

Jonatan Pendiuk^{1,2,3} y Luis Guarracino^{1,2,3}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP.
2. CONICET.
3. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.

jpendiuk@fcaglp.unlp.edu.ar

En los últimos años aumentó la frecuencia de los eventos climáticos extremos provocando cambios en el régimen hidrológico como en las tasas de precipitación, evapotranspiración y recarga de acuíferos. El monitoreo de estos eventos resulta fundamental para una gestión eficaz del recurso hídrico y mitigar su impacto. La hidrogravimetría presenta una oportunidad única para tal fin ya que proporciona valores de las variaciones del almacenamiento de agua de manera integral. En el presente trabajo se analiza el impacto en las componentes de flujo de agua de la ecuación de balance provocado por la sequía que afectó a la Provincia de Buenos Aires en el año 2020. Para tal fin, se utilizarán datos hidrometeorológicos y residuos de un gravímetro superconductor instalado en el Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia, Parque Pereyra Iraola, Provincia de Buenos Aires, en el periodo comprendido desde enero 2020 a diciembre del mismo año. A partir de este análisis se observó una notable reducción en los registros de precipitación acumulada anual y la profundidad del nivel freático descendió 1.3 m de forma continua en el periodo analizado. Además, las tasas de evapotranspiración se sobrestiman utilizando la ecuación clásica de balance hidrológica para un ambiente de llanura. Por lo tanto, se propone introducir un nuevo término a la ecuación de balance que tenga en cuenta la pérdida de agua por flujo regional. A partir de este nuevo enfoque, se estimaron valores de evapotranspiración en 782 mm y la caída en la reserva agua de 281.5 mm estimadas a partir de los datos del gravímetro superconductor.

DETECCIÓN DE HIELO SUBTERRÁNEO EN AMBIENTE PERIGLACIAL

Ana Belén Janavel¹, Cristian Villarroel² y Marcelo González³

1. Departamento de Geofísica, Física y Astronomía, FCEFyN - UNSJ, San Juan, Argentina.
2. CIGEOBIO-CONICET, San Juan, FCEN-UNCUYO, Mendoza, Argentina.
3. Instituto Geofísico-Sismológico Volponi (IGSV), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan.

Belenjanavel16@gmail.com

El propósito fundamental de este estudio consistió en determinar la presencia de la capa de permafrost en el glaciar de escombros El Paso, con el objetivo de evaluar su viabilidad como reserva hídrica. Dada la notable sensibilidad de la resistividad eléctrica a la transición de materiales no congelados a congelados, se empleó el método de Tomografía Eléctrica Resistiva (ERT). Asimismo, se llevó a cabo un análisis detallado de la influencia de valores elevados de resistencia de contacto en la imagen del subsuelo, un aspecto de relevancia significativa en entornos crióticos donde reducir la resistencia de contacto puede no ser siempre factible.

El glaciar de escombros El Paso está centrado en los 30°13' de latitud sur y los 69°48' de longitud oeste, a una altura media de 4600 msnm y pertenece a la cuenca de Agua Negra, Andes Desérticos. Este glaciar de escombros se localiza en el extremo noroeste de la Provincia de San Juan, República Argentina.

En el sector central del glaciar de escombros, se llevaron a cabo cuatro perfiles. Cada perfil abarcó una extensión máxima de 145 metros en la superficie, con la disposición de 30 electrodos y un espaciado constante de 5 metros entre ellos. Las mediciones se realizaron utilizando tres configuraciones distintas: Wenner Alfa, Wenner-Schlumberger y Dipolo-Dipolo.

Con el propósito de analizar la influencia de valores elevados de resistencia de contacto en la imagen del subsuelo, se incluyen mediciones repetidas en donde se manipularon algunos de los 30 electrodos en los perfiles 3 y 4 con el objetivo de incrementar su resistencia de contacto.

Los resultados obtenidos han revelado un modelo de dos capas. La capa superficial, conocida como la capa activa, tiene un grosor variable de 3 a 5 metros y está compuesta por material detrítico con composición andesítica a dacítica del grupo Choyoi. Los valores de resistividad en esta capa oscilan entre 0.8 y 12 k Ω m. A una profundidad aproximada de 4 metros, se encuentra la segunda capa, correspondiente al permafrost de montaña con un espesor máximo observado de 20 metros. Las áreas con presencia de permafrost de montaña exhiben valores de resistividad que varían entre 12 k Ω m y 60 k Ω m, lo que sugiere la coexistencia de hielo y detritos en esta capa. Adicionalmente, se detectó la presencia de permafrost de montaña en un glaciar de escombros adosado al glaciar de escombros El Paso y cuyo material fuente proviene de la ladera sur. El mismo se encuentra a una profundidad de 4 metros con valores de resistividad que varían de 12 a 24 k Ω m.

Al analizar las imágenes de perfiles repetidos, se evidencia que la elevada resistencia de contacto en las lecturas de resistividad genera una alteración considerable en las mediciones, aumentando el error y reduciendo la precisión de los resultados obtenidos. La resistencia de contacto, sumada a la resistencia intrínseca del material, puede dar lugar a lecturas aparentemente más altas de la resistividad. Es crucial destacar que este fenómeno afecta la interpretación de los resultados, particularmente en la proximidad de la posición del electrodo con resistencia de contacto elevada, evidenciado por el aumento en valores de resistividad en el subsuelo y aumentando el tamaño de las anomalías próximas. Con estos primeros ensayos se intenta determinar en forma

preliminar la influencia de la resistencia de contacto en el modelo obtenido del subsuelo en ambientes crióticos.

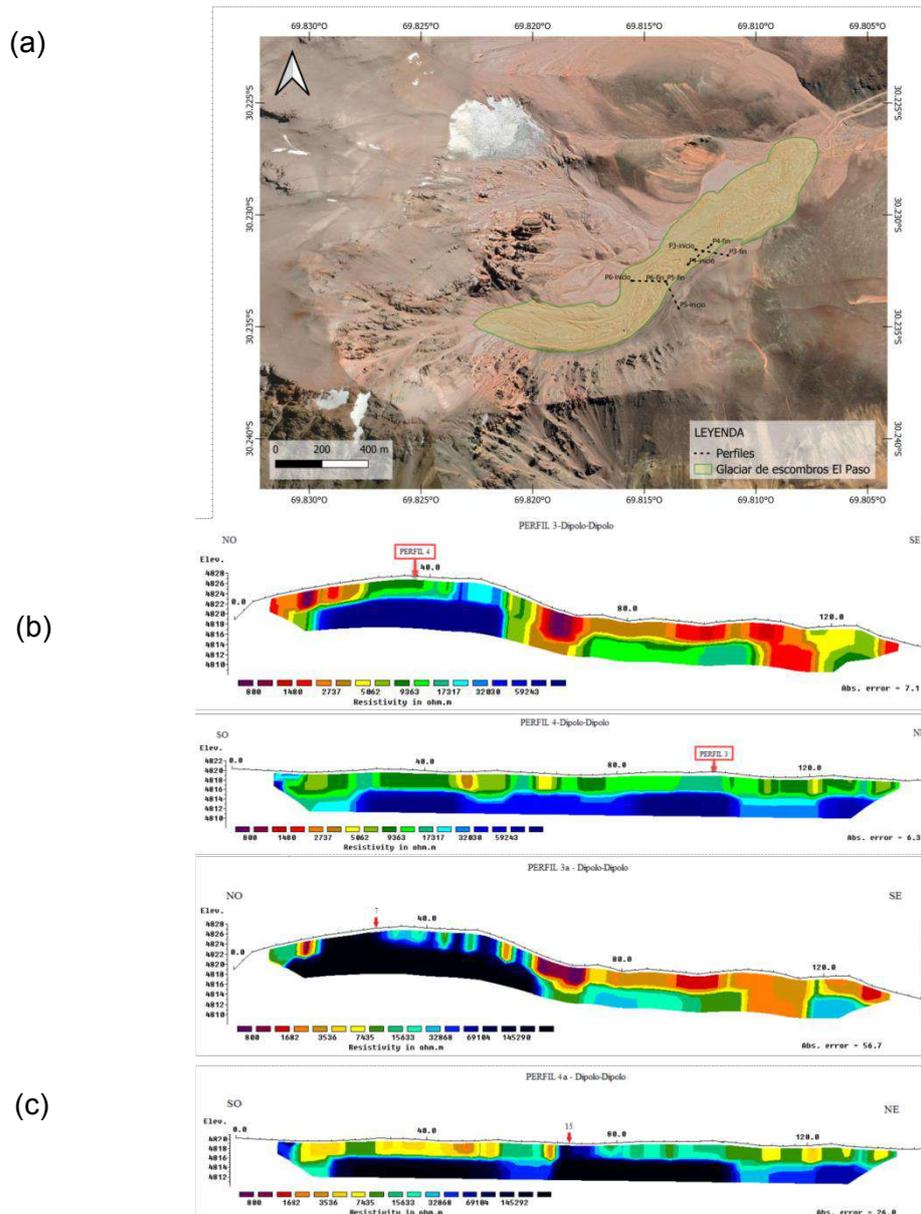


Figura 1: (a) Esquema de adquisición de Tomografía Eléctrica Resistiva en la zona de estudio. El polígono de color verde delimita el glaciar de escombros El Paso y la traza de los perfiles realizados se representa mediante una línea discontinua negra. (b) Perfiles eléctricos de resistividad 3 y 4, obtenidos mediante la configuración electrónica Dipolo-Dipolo. (c) Perfiles eléctricos de resistividad 3a y 4a, obtenidos mediante la configuración electrónica Dipolo-Dipolo aumentando la resistividad de contacto en el electrodo 7 y 15, respectivamente.

Referencias

Hauck, C. Y Kneisel, C. 2008 Applied geophysics in periglacial environments. Cambridge: Cambridge University Press.
 Malizia, D., Limarino, C. O., Sosa-Gómez, J., Kokot, R., Nullo F. E. Y Gutiérrez, P.R. 1997. Hoja Geológica 3169-2, Paso del Agua Negra (provincia de San Juan). En P. N. 1:100.000. Buenos Aires: SEGEMAR.

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES SOLUBLES EN EL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN LAS LAGUNAS DE MONTE Y LAS PERDICES, PCIA. DE BUENOS AIRES

Carolina Tanjal¹, Guido Borzi¹, Lucía Santucci¹, M.J. Galliari¹, Eleonora Carol¹

1. Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-UNLP), Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

ctanj@ig.museo.unlp.edu.ar

Las lagunas pampeanas conforman ecosistemas cuya biodiversidad es de relevancia ambiental y socioeconómica. Las mismas se caracterizan por ser polimícticas, con aguas térmicamente homogéneas, saturada en oxígeno y con un alto contenido de materia orgánica y nutrientes, consideras naturalmente como eutróficas. No obstante, esta condición puede ser modificada, e incluso agravada, por las actividades humanas. Las lagunas pampeanas de Monte y Las Perdices se localizan en las cercanías de la localidad de San Miguel del Monte, en el NE de la provincia de Buenos Aires. Estas corresponden a los 2 primeros eslabones del sistema de las Encadenadas de Monte, comunicadas entre sí por medio de una compuerta por rebalse. El objetivo del presente trabajo es analizar la distribución de los nutrientes solubles (fosfato, nitrato, amonio y nitrito) en el agua superficial y subterránea de dichas lagunas.

Para ello, mediante la observación de imágenes satelitales y relevamientos de campo, se generó una red de monitoreo tanto de agua subterránea como superficial. La toma de muestras de agua superficial corresponde a los cuerpos lagunares, a los arroyos que drenan hacia ellos y un efluente de la planta de tratamiento cloacal. Las muestras de agua subterránea, por su parte, comprenden pozos de abastecimiento domiciliarios (6-8 m de profundidad) y freátímetros construidos con barreno manual a 1 m de profundidad aproximadamente, los cuales fueron muestreados mediante el uso de un bailer. *In situ* se midió pH y conductividad eléctrica (CE) del agua y luego, las muestras fueron tomadas y conservadas para el análisis de nutrientes según métodos estandarizados. Los datos presentados en este trabajo corresponden a un muestreo realizado en agosto de 2023.

Los resultados obtenidos indican que el agua subterránea en los alrededores de las lagunas del Monte y Las Perdices presenta valores de pH neutros a ligeramente alcalinos con valores de CE que varían entre 1572 y 19200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cuanto al agua superficial, ambas lagunas poseen valores de pH superiores a 9 (a excepción de una muestra cuyo pH es de 6,47) no obstante, difieren en relación a la CE ya que en la laguna de Monte se determinaron valores medios de 1917 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que en Las Perdices fueron de 4580 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Con respecto a los nutrientes, si se comparan las concentraciones de las especies de nitrógeno soluble y el fosfato, se puede apreciar que el nitrato es la especie dominante tanto en el agua superficial como subterránea, principalmente en la laguna Las Perdices. Solo en una muestra de agua superficial, aquella correspondiente al efluente, los contenidos de fosfato son considerablemente mayores que en el resto de las muestras presentando, a su vez, los menores contenidos de nitrato. El nitrito y el amonio, por su parte, presentan las concentraciones más bajas en el agua subterránea, especialmente en los pozos de abastecimiento, no obstante, se observan contenidos altos en el agua superficial en el sector S-SE de la laguna de Monte y hacia el N-NE de Las Perdices.

Como se mencionó anteriormente, el nitrato es la especie dominante de nitrógeno el cual derivaría de la nitrificación del amonio en condiciones oxidantes. Este proceso resultante de la acción de microorganismos consta de 2 pasos, primero el amonio se convierte en nitrito y luego en nitrato. Podría suceder que el proceso no se complete, lo que explicaría la presencia de amonio y nitrito en sectores determinados de las lagunas. El fosfato, por otro lado, suele estar inmovilizado en los suelos y su removilización

debería de las condiciones redox del medio, no obstante, el aporte más significativo proviene del efluente de la planta de tratamiento cloacal, el cual es vertido en la laguna Las Perdices. La información presentada contribuye al conocimiento de la distribución de los nutrientes solubles en el agua superficial y subterránea en las lagunas pampeanas estudiadas, ya que los mismos están asociados al desarrollo de los procesos eutróficos que afectan a la calidad del agua tanto ecológica como para uso recreativo.

APLICACIÓN DE TOMOGRAFÍAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO EN UN AMBIENTE DE CABECERA DE CUENCA HIDROGRÁFICA

Gregorini, C.A.^{1,2}; Fornés, M.^{1,2}; Gualde, M.S.^{1,2}; Ríos Hiriart, G.^{1,3}; Kuntz, S.^{1,2}; Arrouy, M.J.^{1,2}; Ares, M.G.^{1,2,4}

1. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
2. Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff".
3. Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).
4. Facultad de Ingeniería, UNCPBA.

cgregorini@ihlla.org.ar

La tomografía de resistividad eléctrica (TRE) es una técnica geofísica multielectrónica de prospección que permite determinar variabilidades litológicas, estructurales e identificar la presencia de agua en subsuelo. El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis geológico preliminar del subsuelo en un ambiente de cabecera de una cuenca hidrográfica, caracterizando rasgos morfológicos, profundidad y geometría del basamento, espesor de la secuencia sedimentaria y la distribución del acuífero. Se realizaron tres tomografías (TRE1, TRE2 y TRE3) en el sector medio/bajo de una microcuenca, implementando el mayor espaciamiento interelectrónico en dos de ellas. Se identificaron, de base a techo, tres zonas caracterizadas por diferentes niveles de resistividad. La primera zona comprende valores de resistividad entre 188 y 500 Ω .m. La segunda zona valores entre 188 y 60 Ω .m, mientras que la tercera zona muestra valores menores a 60 Ω .m. El análisis de tomografías de resistividad eléctrica permitió identificar el basamento a una profundidad entre 10 y 20 m. Se detectó un espesor significativo de alteración del basamento ("Gruss") que varía entre 5 y 20 m y una secuencia sedimentaria cenozoica de hasta 6 m de espesor. Por último, se identificó una formación acuífera con continuidad variable de 5 m de espesor, en promedio. Esta metodología, permitió establecer la irregularidad del techo del basamento e inferir, de manera aproximada, la posición de las principales fracturas. Estas características del subsuelo se asocian a la presencia de manantiales en la región.

INFLUENCIA CLIMÁTICA SOBRE LA VARIABILIDAD HIDROQUÍMICA TEMPORAL DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN UN AMBIENTE LAGUNAR DEL OESTE BONAERENSE

Acosta, R.^{1,2}; Carol, E.^{1,2}; Álvarez, M.P.³; Melendi, E.^{1,2}; Leal, P.^{1,2}

1 Facultad de Ciencias Naturales y Museo, FCNyM – UNLP.

2 Centro de Investigaciones Geológicas, CIG – CONICET – UNLP.

3 Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales IPEEC CCT – CONICET CENPAT.

racosta@cig.museo.unlp.edu.ar

Las lagunas someras bonaerenses se alojan en bajos cuyo origen se debe a procesos eólicos, fluviales y/o tectónicos, que actúan en conjunto o por separado. Particularmente, el oeste de la provincia de Buenos Aires constituye una planicie poligenética. Hacia el norte de esta unidad geomorfológica, hay sedimentos loessicos cubiertos por mantos y médanos arenosos, conformando un relieve en general ondulado. En esta región las lagunas tienen extensiones variables y son principalmente de carácter salino a hipersalino. En ellos el funcionamiento hidrológico está íntimamente relacionado con las condiciones climáticas y con la descarga de agua subterránea. El objetivo del trabajo es analizar la influencia climática sobre la variabilidad hidroquímica temporal del agua superficial y subterránea en un ambiente lagunar del oeste bonaerense. Para ello se confeccionaron balances hídricos seriados diarios para los años 2022 y 2023, con el fin de evaluar la situación hídrica durante los días previos a los relevamientos de campo. Además, se tomaron muestras de agua superficial de la laguna y subterránea freática en puntos adyacentes a la misma, en febrero 2022 y septiembre 2023. *In situ* se midieron la CE, el pH y la profundidad del nivel freático. En laboratorio se determinó el contenido iónico mayoritario, y luego se analizaron los datos químicos mediante diagramas de Stiff. El análisis climático revela que en febrero la mayor abundancia de precipitaciones genera excedentes hídricos, mientras que para septiembre estos son nulos. Esto se refleja en una menor extensión de la laguna y mayor CE y concentración iónica para el mes de septiembre con respecto al mes de febrero, pero manteniendo las facies químicas Na-Cl. Los resultados muestran la influencia climática sobre la variabilidad hidroquímica temporal del agua superficial y subterránea del ambiente lagunar estudiado. Estos resultados pueden ser extrapolados a ambientes lagunares similares dentro de la unidad geomorfológica, dando un carácter regional a las interpretaciones realizadas.

EVALUACIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN EL SISTEMA LAGUNAR EL HINOJO, PCIA. DE BUENOS AIRES

Tanjal, Carolina¹; Borzi, Guido¹; Santucci, Lucía¹; Cellone, Francisco²; Carol, Eleonora¹

1. Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-UNLP), Facultad de Ciencias Naturales y Museo.
2. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (CONICET-UNLP), Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

ctanjal@cig.museo.unlp.edu.ar

Las lagunas pampeanas constituyen ambientes muy comunes en la provincia de Buenos Aires, encontrándose distribuidas sobre todo su territorio (Grosman, 2008). Dada su escasa profundidad se trata de lagunas polimícticas, donde el emplazamiento se da en antiguas cubetas de deflación originadas por la acción eólica en periodos de clima árido durante el Cuaternario (Tricart, 1973; Zárate y Tripaldi, 2012). Bajo las condiciones húmedas actuales, el nivel freático se encuentra próximo a la superficie siendo interceptado por el lecho de las cubetas de deflación, ocasionando la formación de los cuerpos de agua.

Estos cuerpos lagunares reciben el aporte de las precipitaciones, la descarga de agua subterránea somera y afluentes naturales, por lo que el tiempo de permanencia del agua y la salinidad son altamente variables. Asimismo, la geomorfología y las condiciones fisicoquímicas y biológicas propias de cada laguna condicionan fuertemente el estado de las mismas, pudiendo ser agravado por la influencia de las actividades humanas.

El sistema lagunar El Hinojo se localiza 34 km al oeste de la localidad de Dolores, en el centro-este de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1) y es un ejemplo de la diversa cantidad de lagunas pampeanas en el área. Este sistema se compone de las lagunas El Hinojo, del Medio y El Doradillo, siendo la primera la única que presenta agua de manera permanente. El objetivo de este trabajo es evaluar la química del agua superficial y subterránea en dicho sistema lagunar mediante el análisis multivariado de los datos. Las técnicas de análisis multivariado, tales como el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de conglomerados (AC), han sido ampliamente utilizadas en estudios hidroquímicos y ambientales para reducir la complejidad de conjuntos de datos a gran escala (Menció y Mas-Pla, 2008).

Mediante la observación de imágenes satelitales y relevamientos de campo, se generó una red de monitoreo tanto de agua superficial como subterránea (Fig. 1a). La toma de muestras de agua superficial se realizó directamente del cuerpo lagunar, mientras que en el caso del agua subterránea se realizaron freáticos con barreno manual hasta 2,5 m de profundidad. *In situ* se midió pH y conductividad eléctrica (CE) del agua y luego, se tomaron muestras para el análisis de elementos mayoritarios y nutrientes solubles según métodos estandarizados (APHA, 1998) en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG, CONICET-UNLP). Los datos presentados en este trabajo corresponden a un muestreo realizado en octubre de 2023. Bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-), calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) fueron determinados por titulación. Sodio (Na^+) y potasio (K^+) por fotometría de llama, mientras que sulfato (SO_4^{-2}), nitrato (NO_3^-) y fósforo soluble (PO_4^{-3}) fueron medidos por espectrofotometría UV-Visible. Por otro lado, para el análisis multivariado se utilizó el paquete estadístico SPSS (versión 15.0.1, 2006, SPSS INC.). El ACP permitió reducir la dimensionalidad e identificar asociaciones entre las variables hidroquímicas ya que se utilizaron todos los parámetros medidos. El AC, por su parte, permitió clasificar los objetos del sistema en categorías o grupos basados en su cercanía o similitud. Para ello, se utilizó el método de Ward y los componentes principales obtenidos en el ACP.

DISTRIBUCIÓN DE FORMAS NITROGENADAS INORGÁNICAS EN UN HUMEDAL RECEPTOR DE EFLUENTES RESIDUALES

Pasquale Pérez, María Paz^{1,2}; Carol, Eleonora^{1,2} y Santucci, Lucía^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata.
2. Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), UNLP-CONICET.

mppasqualep@cig.museo.unlp.edu.ar

Los humedales constituyen ambientes de relevancia por los numerosos servicios ecosistémicos que proveen, tales como la depuración de aguas y retención y eliminación de nutrientes. En la planicie costera de la Bahía Samborombón se desarrollan numerosos humedales que dependen de diversos factores para su funcionamiento hidrológico. El objetivo de este trabajo es analizar la influencia del aporte antrópico en las relaciones de los compuestos inorgánicos nitrogenados de un humedal afectado por una planta depuradora de efluentes cloacales. Para esto se generó una red de monitoreo con puntos de muestreo de agua superficial en distintas zonas del humedal, la cual fue relevada en noviembre de 2022 determinándose en las muestras extraídas las concentraciones de nitrato, nitrito y amonio. Los resultados obtenidos muestran que, si bien el nitrato es el compuesto inorgánico nitrogenado más abundante, el agua proveniente de la planta depuradora de efluentes cloacales, junto con parte de la zona sur del humedal que recibe los vertidos de la misma, contienen mayor proporción de amonio. Sin embargo, se observa que en la dirección del flujo la concentración de amonio va disminuyendo, aumentando la concentración relativa de nitrato y nitrito hasta que el primero pasa a ser el más abundante como en el resto del área. Se concluye que el humedal presenta la capacidad de generar transformaciones de oxidación demostrando la función depuradora del mismo.

APLICACIÓN DE LA GRAVIMETRÍA SATELITAL AL MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS

Abelardo Romero^{1,2}, Andreas Richter^{1,2} y Thorben Axel Döhne³

1. Laboratorio MAGGIA, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
3. Technische Universität Dresden, Institut für Planetare Geodäsie.

romeroabe@fcaglp.unlp.edu.ar

Actualmente los datos satelitales de gravedad pueden brindar información regular sobre variaciones periódicas de masas terrestres, pero especialmente sobre las variaciones acumuladas en el tiempo. Dentro de los fenómenos detectables, por las cantidades significativas de masa que representan, se encuentran dos grandes variaciones: el reacondicionamiento de masa en interior de la Tierra y variaciones de masa superficiales, debidas principalmente al llamado ciclo del agua en sus estados sólido-líquido. Por un lado, ambos fenómenos afectan las observaciones geodésicas y geofísicas dedicadas al estudio de otros procesos, los cuales requieren correcciones para su interpretación precisa. Por otro lado, en un contexto de cambio climático, el seguimiento del ciclo del agua y los sistemas geofísicos relacionados, incluyendo las inundaciones, sequías, elevación del nivel del mar y variaciones en las masas de hielo, pueden servir de indicadores de su impacto.

La misión Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE; Tapley et al. 2004) proveyó entre 2002 y 2017 datos observacionales del campo gravitatorio terrestre y sus cambios temporales con una precisión y resolución sin precedentes. Desde mayo 2018 la misión Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-On (GRACE-FO) está continuando este registro de manera consistente. En general, los productos derivados de datos de sensores satelitales se clasifican en niveles de 0 (datos crudos) a 4 (resultados del modelado y análisis de observaciones múltiples). GRACE(FO) provee, como producto de nivel 2, soluciones mensuales del campo gravitatorio, expresadas en coeficientes de armónicos esféricos (AE).

Las soluciones de nivel 2 se utilizan para deducir información cuantitativa y series temporales de variaciones de masa superficiales asociadas a un determinado proceso, medio y/o región. Estos análisis buscan, por un lado, aislar la contribución del proceso estudiado mediante correcciones por efectos de procesos simultáneamente efectivos y, por lo tanto, aumentar la resolución espacial al de las fuentes de las señales gravimétricas observadas a través de la incorporación de información complementaria e independiente. No existe un procedimiento estándar para la deducción de variaciones de masa superficiales a partir de datos de nivel 2. Los análisis publicados se clasifican en dos principales métodos (Groh et al. 2019): la integración regional y la inversión mediante concentraciones de masa (mascon). El método de integración regional, por lo general, se realiza en el dominio espectral (AE) y se ofrece principalmente para estudios sobre escalas continentales a globales. Los mascons se implementan en el dominio espacial, permitiendo su aplicación sobre escalas más cortas (regionales) con una resolución espacial ajustable a la información independiente disponible.

Richter et al. (2019), desarrollaron un método para cuantificar cambios de masa de hielo en los Campos de Hielo Patagónicos (CHP) durante los 15 años de la misión GRACE. La metodología general aplicada en este análisis consiste en aplicar el principio de mascon usando masas puntuales. A partir de los conjuntos mensuales de la serie temporal extendida de coeficientes de AE, se generan sobre una grilla regional pseudo-observables en forma de vectores tridimensionales del cambio de gravedad en altitud orbital (~500 km). A estos últimos, se aplican correcciones de efectos del ajuste glacio-isostático, de variaciones de masa en el océano, del hielo Antártico, del almacenamiento

de agua continental, y de los otros glaciares en Sudamérica, con el fin de separarlos sobre las observaciones GRACE de los propios de la señal de cambio de masa de los CHP.

En el presente trabajo, se mostrarán resultados preliminares de la aplicación del método de Richter et al. (2019) optimizado, con el uso de las series temporales extendidas de GRACE y GRACE-FO, y correcciones actualizadas de los efectos mencionados. Se prestará especial atención al cambio de masa de los CHP, no solo por su valor como recurso hídrico, sino también por su importancia para la validación de la consistencia del método con otras técnicas. Además, este enfoque permitirá también analizar su factibilidad de aplicación en otras regiones del globo y procesos de variaciones de masa superficiales distintos.

Referencias

- Tapley, B.D., Bettadpur, S., Watkins, M., Reigber, C. (2004). The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results. *Geophys. Res. Lett.* 31: L09607.
- Groh, A., Horwath, M., Horvath, A., Meister, R., Sørensen, L. S., Barletta, V. R., Forsberg, R., Wouters, B., Ditmar, P., Ran, J., Klees, R., Su, X., Shang, K., Guo, J., Shum, C.K., Schrama, E., Shepherd, A. (2019). Evaluating GRACE Mass Change Time Series for the Antarctic and Greenland Ice Sheet-Methods and Results. *Geosciences* 9.
- Richter, A., Groh, A., Horwath, M., Ivins, E., Marderwald, E., Hormaechea, J.L., Perdomo, R., Dietrich, R. (2019). The Rapid and Steady Mass Loss of the Patagonian Icefields throughout the GRACE Era: 2002- 2017. *Remote Sens.* 11(8):909.

APLICACIÓN DE LA ALTIMETRÍA SATELITAL LÁSER AL ESTUDIO DE GRANDES LAGOS PATAGÓNICOS

F. Suad Corbetta^{1,2}, A. Richter^{1,2}, E. Marderwald^{1,3}, M.E. Gómez^{1,2}, L. Mendoza^{1,2}

1. Laboratorio MAGGIA, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.
2. CONICET.
3. Estación Astronómica Río Grande.

federicosc@fcaglp.unlp.edu.ar

Los grandes lagos de la Patagonia austral (lagos Argentino, Buenos Aires, Pueyrredón, San Martín y Viedma) representan una importante reserva de agua dulce, factor que los vuelve de interés geopolítico y con una prioridad en aumento. Las condiciones de los mismos repercuten directamente sobre la población asentada en las cercanías de los lagos, las cuales aprovechan el recurso hídrico para diversas actividades.

Trabajos previos muestran que estos lagos sufren variaciones temporales de su nivel sobre rangos que pueden exceder 2 metros (Richter et al., 2016). Estas variaciones están dominadas por un ciclo anual de volumen de agua, superpuesto por variaciones espacio-temporales generadas por seiches y otros procesos hidrodinámicos. Además, la topografía del nivel medio de los lagos, que se ajusta al campo gravitatorio y fuerzas atmosféricas persistentes, implica variaciones en la altura elipsoidal de la superficie promedio sobre el lago, pudiendo estas exceder 0.5 metros (Gómez et al. 2017). Esta topografía media es importante a tener en cuenta cuando se comparan y combinan observaciones de nivel registradas en distintos puntos del lago.

La infraestructura de monitoreo hidrológico operada por el Sistema Nacional de Información Hídrica (Argentina) y la Dirección General de Agua (Chile) cuenta con al menos un limnógrafo en cada uno de los lagos mencionados que proporcionan, por lo general, registros con resolución diaria. Esta resolución temporal no es suficiente para cuantificar procesos hidrodinámicos y, por lo tanto, separar transportes de agua de variaciones de volumen dentro de los lagos. Además, estos registros limnográficos están afectados por valores defectuosos (Richter et al., 2016) y dan los niveles referidos a un cero arbitrario. Por otro lado, datos de altimetría satelital radar, por lo general, no aportan información de gran utilidad debido a la extensión de su huella.

En el presente trabajo se evalúa el potencial de la altimetría láser para complementar este hueco en el monitoreo del nivel de agua en los grandes lagos patagónicos. Utilizando las observaciones provistas por el satélite ICESat-2, se describe la metodología implementada en el procesamiento, y se determinan valores de interés para el estudio hidrodinámico de los lagos.

Las observaciones de ICESat-2 son de acceso libre a través del National Snow and Ice Data Center (NSIDC) de los Estados Unidos. En particular, para el estudio de los lagos patagónicos se utilizó el producto ATL13, que provee valores de altura elipsoidal sobre lagos, ríos y otras aguas continentales, así como bahías y mares desde la costa hasta 7 km mar adentro. De este producto se identificaron los parámetros de altura, latitud y longitud para cada observación, así como identificadores internos del procesamiento que disciernen el cuerpo de agua que se está observando.

Este conjunto de datos altimétricos provee una gran cantidad de observaciones de la altura instantánea del espejo de agua, agrupadas en espacio y tiempo en perfiles continuos que atraviesan la superficie del lago durante el sobrevuelo del satélite. El procesamiento de este conjunto involucra un filtrado automatizado y una inspección visual para descartar valores inválidos. Estos valores inválidos se pueden deber a observaciones afectadas por nubes bajas, observaciones sobre tierra (por deficiencias de la máscara de cuerpos de agua del producto ATL13, en particular, en épocas de nivel

bajo del lago) o sobre témpanos (lagos Argentino, Viedma y San Martín/O'Higgins). Este conjunto de datos depurado se discretiza en elementos de superficie (bins). Utilizando los datos de limnógrafos, así como un modelo de reanálisis meteorológico, se cuantifican las contribuciones de variaciones de volumen y de movimientos de agua a la variación temporal local del nivel lacustre observable. Del promedio de las observaciones altimétricas corregidas en cada bin se extrae la topografía del nivel medio del lago.

La combinación de las observaciones de ICESat-2 con las provenientes de limnógrafos en las costas de los lagos permite, mediante un ajuste estadístico, estimar la altura elipsoidal del origen de cada uno de los instrumentos. Estos resultados proveen una referencia consistente para la implementación de las observaciones provenientes de los limnógrafos en estudios asociados.

Por otro lado, mediante el mismo procesamiento se analizó la correlación entre las observaciones provenientes de las dos fuentes, observando una menor correlación para ciertos limnógrafos. De esta manera, se lograron identificar los limnógrafos con observaciones de peor calidad, advirtiendo la implementación de sus datos.

Referencias

- Gómez, M.E., Perdomo, R., Del Cogliano, D. (2017). Validation of recent geopotential models in Tierra del Fuego. *Acta Geophys.* 65:931-943. doi:10.1007/s11600-017-0085 y.
- Richter, A., Marderwald, E., Hormaechea, J.L., Mendoza, L., Perdomo, R., Connon, G., Scheinert, M., Horwath, M., Dietrich, R. (2016). Lake-level variations and tides in Lago Argentino, Patagonia: insights from pressure tide gauge records. *J. Limnol.* 75(1):62-77.

VALORACIÓN Y RESULTADOS DEL AGUA DE SAÑOGASTA PARA CONSUMO DOMICILIARIO

Jaular, Miguel^{1,2}; García, Jorge⁴; Isaia, Claudia¹; Sena, Diego¹; Frias, Santiago³

1. Universidad Nacional de Chilecito (UNdeC).
2. Secretaría del Agua.
3. Estudiante UNdeC.
4. Universidad Nacional de La Rioja. (Unlar).

migueljaular@hotmail.com

Introducción

En el Departamento Chilecito provincia de La Rioja, el control del agua potable que consume la población debe ser exhaustivo. La localidad de Sañogasta, no escapa a dicha consideración ya que la población se localiza en una región con características hidrogeológicas particulares para la captación del recurso hídrico.

Los emprendimientos agrícolas en la región de Sañogasta representan un impulso económico y laboral importante, no obstante, el uso de agroquímicos y pesticidas puede contaminar e incidir negativamente en el agua del subsuelo comprometiendo la calidad óptima del recurso hídrico (Jaular M.A. 2016). Dicha actividad se tendrá en cuenta, en correlato con el muestreo y sus resultados.

Asimismo, la falta de saneamiento ambiental (cloacas) sumado a las características hidrogeológicas de la región, donde se detecta el nivel piezométrico muy próximo a la superficie (Miguel, R. E. y González Ribot, J. V. 2016), promueve una interacción cuyos resultados a corto y/o mediano plazo puede incidir en la calidad del recurso subterráneo y por ende comprometer la salud de los consumidores de agua domiciliaria.

Las determinaciones químicas del agua sin cloración representan la calidad del agua en las inmediaciones de cada perforación de suministro.

La cloración no debe faltar debiendo automatizar su suministro, para el resguardo de los consumidores. La frecuencia de las determinaciones bacteriológicas debe realizarse con la periodicidad necesaria (Jaular, M.A. 2019).



Figura 1: Planta de tratamiento de Agua potable. Sañogasta

Resultados

El consumo de agua domiciliar de la Localidad de Sañogasta se deduce del agua superficial que ingresa a Planta de tratamiento (Fig.1), más el aporte de 6 (seis) perforaciones ubicadas estratégicamente en la localidad. Los análisis microbiológicos de Planta y perforaciones fueron efectuados siguiendo los protocolos de toma de muestras, y remitidos a UNDeC (Universidad Nacional de Chilecito) para su determinación. Las tomas de muestras a boca de pozo se efectuaron con “agua cruda”, es decir sin cloración previa.

El agua canalizada que ingresa a planta es tratada por los respectivos filtros y la cloración, que debe ser controlada exhaustivamente funcionando correctamente en la semana del 17 al 24/09/2023. Los resultados del recurso fueron óptimos antes de ingresar a cisterna para su distribución.

Para el mismo periodo, los resultados de las diferentes determinaciones califican a las muestras como apta para consumo humano y/o animal.

Para la “perforación Independiente” de Barrio Chucuma, teniendo en cuenta que en sus alrededores prevalecen los emprendimientos agrícolas que pueden con sus actividades interferir los resultados del agua, se solicitó determinaciones químicas adicionales de potasio, cloruros, nitritos y nitratos, amoníacos y fósforo. Los resultados fueron óptimos, salvo el potasio 2,5 mg/L y cloruros con valor de 32,33 mg/L donde el valor de referencia según CAA (Código alimentario argentino) figura “no posee”.

Conclusiones

En general, el agua que consume la población de Sañogasta es óptima para consumo humano para el periodo mencionado. No obstante, se deberán tomar las precauciones necesarias de cloración, para asegurar su potabilidad.

Se estima conveniente, controles periódicos de aptitud del agua de las diferentes perforaciones que suministran caudal a la red.

Se sugiere a las autoridades pertinentes, el saneamiento ambiental correspondiente (cloacas) a la brevedad posible (Schulz C.J. y García R.F. 2014), atendiendo que el nivel piezométrico está próximo a la superficie, pudiendo incidir negativamente en los resultados de la aptitud del agua en un futuro cercano.

Referencias

- Jaular, M.A. 2016. Caracterización y contaminación del agua para consumo humano en el Dpto. Chilecito-La Rioja. IX Congreso Argentino de Hidrogeología- Catamarca. Argentina
- Jaular, M.A. 2019. Water Pollution Hazards for Human Consumption in the City of Chilecito. (Mese 20190908-2). ISSN 2333-2581. Brooklyn. New York. USA.
- Miguel, R. E.; González Ribot, J. V. 2016. “Evolución hidrodinámica e hidroquímica del sistema acuífero explotado en las colonias agrícolas de Tilimuqui Malligasta y Anguinan”, Departamento Chilecito, La Rioja.
- Schulz C.J. y García R.F. 2014. Geohidrología Ambiental. El Agua Subterránea. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina.
- Vuksinic, E. & Miguel, R. E. (2018). Gestión de efluentes agroindustriales en el Oeste de la Provincia de La Rioja, Argentina.

ALFVÉNICITY OF THE SOLAR WIND NEAR EARTH

S. Spago¹, B.D. Dorsch^{2,3} y S. Dasso^{1,4}

1. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, grupo LAMP, Buenos Aires, Argentina.
2. Royal Observatory of Belgium.
3. KU Leuven, Leuven, Bélgica.
4. CONICET, Universidad de Buenos Aires, Instituto de Astronomía y Física del Espacio, grupo LAMP, Buenos Aires, Argentina.

spagosofia@gmail.com

It is well known that in the presence of intense interplanetary disturbances, such as Interplanetary Coronal Mass Ejections (ICMEs) or Stream Interaction Regions (SIRs), the interaction between the solar wind and the terrestrial magnetosphere generates significant perturbations to the geo-space, in particular can trigger severe geomagnetic storms and substorms. However, notable geomagnetic variations have also been observed in the absence of such transient structures. Previous studies have shown that certain increases in the levels of MHD waves and/or turbulence in the solar wind may have a crucial role in the coupling of the solar wind with the magnetosphere at high latitudes [e.g., D'Amicis et al., 2009]. Moreover, it has been suggested that the relationship between the interplanetary medium and the magnetosphere is controlled under certain conditions by the level of solar wind fluctuations [Borovsky & Funsten, 2003].

Our main objective is to characterize the Alfvénicity level for different interplanetary conditions/regimes: Parkerian solar wind, ICME and SIR. Therefore, we performed a statistical study of solar wind fluctuations near the Earth's environment, in particular at 1 AU. In Figure 1, we can see the histograms of σ_{cz} for the three data set. The three histograms are quite similar and tend to a double gaussian.

In this work, we use data from two instruments on board the ACE satellite: SWEPAM and MAG, during the period of time between 03/1998 - 12/2009. Furthermore, we make use of the ICME events catalog of Richardson & Cane and the SIR events catalog of Jian.

For the purpose of studying turbulent properties of the solar wind, we split the full data set into 6-hours intervals of data. The analyzed time cadence is of 64 s. We focused on the z-direction component, in GSE (Geocentric Solar Ecliptic) system, of the fluctuations due to the fact that the polarization of Alfvén waves is such that it is perpendicular to the mean field, which in the case of SIRs and Parkerian solar wind is typically on the ecliptic plane, i.e. in the (x,y) plane in the GSE system.

We use a simplified MHD system of equations based on the “Elsasser field” from which the normalized cross helicity σ_c is derived. Cross helicity is commonly used to define the level of Alfvénicity, since high Alfvénicity indicates the presence of unidirectional Alfvén waves and is also a measure of the correlation between the velocity field and magnetic field fluctuations. Thus, in the presence of pure Alfvén waves $\sigma_c = \pm 1$, depending on whether the direction of propagation is parallel or antiparallel, respectively, to the average magnetic field. On the other hand, the presence of $\sigma_c \sim 0$, is a proxy of the presence of developed turbulence, which is indicative of a balance between Alfvénic fluctuations that propagate parallel and antiparallel to the background magnetic field.

We apply a gap criterion in which we keep only those 6-hour intervals that have more than 80% of the data. Afterwards we define the Parkerian solar wind criterion based on certain conditions for the angles φ (angle between the total magnetic field direction and the ecliptic plane) and α (angle between the projection of the total magnetic field in the

ecliptic plane and the Sun-Earth radial direction) [Master thesis B. D. Dorsch, 2021], for those intervals without transient events (i.e., no ICMEs or SIRs).

To take into account the local polarization of the Alfvén waves, we perform a decomposition of the velocity field and magnetic field fluctuations, according to whether they are parallel and perpendicular to the background magnetic field. Previously, those intervals in which the average value of the total magnetic field in the first half of the interval formed a certain angle with respect to the value in the second half have been discarded. In this way, we were able to define a normalized cross helicity parallel and perpendicular to the background magnetic field. The latter is the one of interest for our study since Alfvén waves are fluctuations perpendicular to the mean field.

Finally, for the Parkerian solar wind subset and for the SIR events and to take into account the change of sector of the perturbations background, we calculate the angle between the mean magnetic field and the radial one for each 6-hour interval. Thus, we can split intervals where the mean interplanetary magnetic field is outgoing or incoming with respect to the Sun. From this result, we can split each interval and define the two sectors for folding the mean field and determine if the Alfvénic fluctuations are sunward or antisunward.

The results of this study will help to better understand the geomagnetic fluctuations near polar regions, and will provide elements to develop operational products in Space Weather in Antarctic regions, due to the expected coupling between solar wind fluctuations of these characteristics with the geomagnetic field in high latitudes.

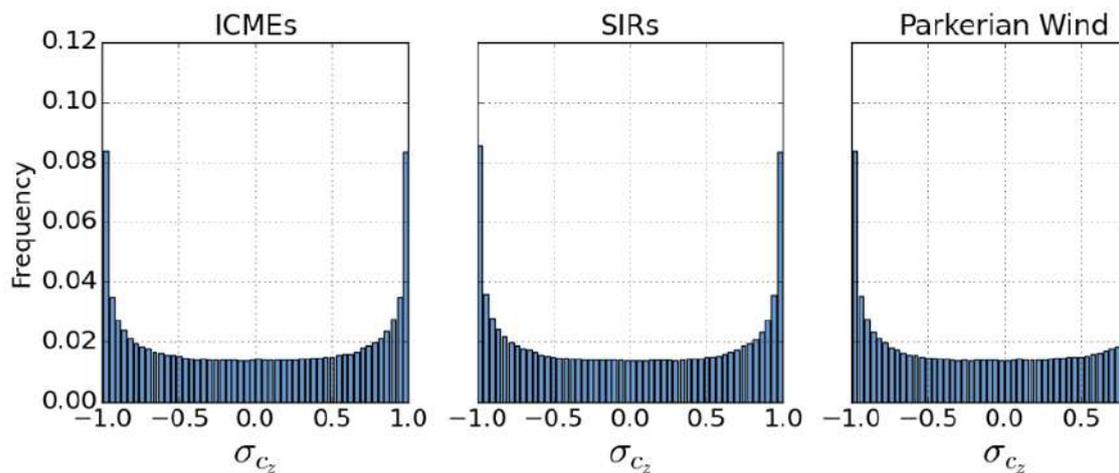


Figure 1: Histograms of σ_{cz} for the three datasets.

References

- Borovsky & Funsten, 2003: MHD turbulence in the Earth's plasma sheet: Dynamics, dissipation, and driving. *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, No. A7, 1284, doi:10.1029/2002JA009625.
- D'Amicis, Bruno & Bavassano, 2009: Alfvénic turbulence in high speed solar wind streams as a driver for auroral activity. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 71 (10-11), 1014–1022, doi:10.1016/j.jastp.2008.05.002.
- Dorsch B., 2021: Forzado interplanetario en el entorno terrestre y su influencia sobre Meteorología del Espacio: Desde la investigación hacia lo operativo. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera, DCAO, FCEN, UBA.

FÁBRICA MAGNÉTICA DEL PALEOZOICO DE LAS ISLAS MALVINAS

Milanese, F.¹; Calviño, M.²; Franceschinis, P.³; Agostini, J.³; Naselli, M.³; Tomezzoli, R.³; Rapalini, A.E.^{2,3}; Vilas, J.F.^{2,3}

1. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
2. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas.
3. Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires.

fnmilanese@conicet.gov.ar

En el presente trabajo dan a conocer resultados de Anisotropía de Susceptibilidad Magnética (ASM) del Paleozoico de las Islas Malvinas. El trabajo de campo y colección de las muestras se realizó en noviembre de 1981, en la localidad de Caleta Shag ubicada en la costa este de la Isla Gran Malvina. El estudio abarca una sucesión de ~4,000 m de espesor, cuyas unidades sedimentarias de ambiente marino proveen un registro continuo desde el Silúrico al Pérmico. De un total de 160 muestras, se descartaron del análisis (n=45) las muestras diamagnéticas ($k < 0$) o que presentaron susceptibilidad negativa en alguna de las direcciones del tensor de ASM. Las muestras restantes presentan un valor de susceptibilidad media de $40,5E-6$ SI (n=115), con valores mínimos de $\sim 20E-6$ y máximos de $\sim 2E-4$ SI. Las fábricas magnéticas son en su mayoría obladas. Una vez realizada la corrección por estructura, los ejes de mínima susceptibilidad (k_{min}) se agrupan en una dirección subvertical, lo que sugiere una fábrica predominantemente depositacional.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DATOS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL DE TUCUMÁN (26.8°S, 65.1°O) Y LOS DATOS DE REANÁLISIS DEL ERA5 Y NCEP/NCAR

Cristóbal I. Silvero^{1,2}, Franco D. Medina^{1,2}, Bruno S. Zossi^{1,2}, Gustavo A. Mansilla^{1,2},
Fernando Nollas³, Ana G. Elias^{1,2}

1. INFNOA (CONICET-UNT), 4000 Tucumán, ARGENTINA
<https://infinoa.conicet.gov.ar/>.
2. Laboratorio de Ionosfera, Atmosfera Neutra y Magnetosfera - LIANM (FACET, UNT),
Av. Independencia 1800, 4000 Tucumán, Argentina
<https://www.facet.unt.edu.ar/labatmosfera/>
3. Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Argentina.

cristobalivansilvero@gmail.com

Las bases de datos de reanálisis ofrecen una buena alternativa para evaluar distintos parámetros meteorológicos, entre los que se encuentra la radiación solar en superficie, en áreas y períodos de tiempo sin mediciones directas. Su accesibilidad, cobertura global y períodos de tiempo continuos relativamente largos las vuelve una muy buena opción para estudiar el recurso solar en distintas regiones, lo cual es fundamental para evaluar la viabilidad del aprovechamiento de la energía solar y dimensionar la tecnología necesaria. En este trabajo, siguiendo el análisis de Nollas et al. (2022), se realiza un análisis comparativo entre los datos de radiación solar global medidos en superficie en Tucumán (26.8°S, 65.1°O) y los de dos bases de datos de reanálisis: ERA5 (ECMWF Re-Analysis version 5) y NCEP/NCAR. Los datos medidos con una frecuencia de minutos fueron obtenidos de la red solarimétrica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina, correspondientes a los años 2017 y 2018. Entre los numerosos estadísticos usados para realizar comparaciones elegimos los tres usados en el trabajo de Nollas: desvío medio relativo (MBD), desvío cuadrático medio relativo (RMSD) y diferencia absoluta media relativa (MAD), a los que agregamos el coeficiente de correlación de Pearson (r) y la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE). La comparación con los datos del ERA5 se realizó en escala de tiempo horaria y diaria, mientras que en el caso del NCEP/NCAR solamente se consideró la escala diaria.

Palabras clave: Radiación solar, Reanálisis, ERA 5, NCEP/NCAR, NOA

Referencias:

- Nollas, F., E. Luccini, P. Orte, M.M. Skansi, G. Carbajal, E. Wolfram, M.M. Poggi, J. Lell (2022), Comparación entre datos de radiación solar de tres bases de datos de reanálisis y mediciones en superficie en Argentina, Libro de resúmenes extendidos del XIV CONGREGMET 2022. http://cenamet.org.ar/congremet/wp-content/uploads/2023/02/LibroActas_compressed.pdf.

INFLUENCIA DEL AUMENTO DE CO₂ Y LA DINÁMICA GEOMAGNÉTICA SOBRE LAS TENDENCIAS A LARGO PLAZO DE LA CAPA IONOSFÉRICA F₂

Trinidad Duran^{1,2}, Yamila Melendi^{1,2,3}, Fernando S. Buezas^{1,2}, Ana G. Elias^{4,5}

1. Departamento de Física, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.
2. Instituto de Física del Sur (CONICET-UNS), Bahía Blanca, Argentina.
3. Tucumán Space Weather Center (TSWC).
4. Laboratorio de Ionosfera, Atmosfera Neutra y Magnetosfera (LIANM), Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET), Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Argentina.
5. INFNOA, CONICET-UNT, Argentina.

tduran@ifisur-conicet.gov.ar; trinidad.duran.94@gmail.com

Desde 1989, se han llevado a cabo investigaciones sobre las tendencias a largo plazo en la ionosfera, con un énfasis particular en los parámetros de la región F₂ debido a su importancia en la investigación del clima espacial y la propagación de señales de radio. La precisión y la atribución de estas tendencias, especialmente para la frecuencia crítica foF₂, han sido motivo de controversia debido a problemas metodológicos y la identificación de fuentes, como el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, forzantes naturales o una combinación de estos factores.

Estos estudios han captado la atención desde una investigación pionera que planteó la idea de que el aumento sostenido de la concentración de gases de efecto invernadero, derivado de la actividad antropogénica, podría conducir a un enfriamiento global en la atmósfera superior, a diferencia del calentamiento global observado en la troposfera (Roble y Dickinson 1989; Rishbeth 1990). Desde entonces, los cambios a largo plazo en la ionosfera han emergido como un tema relevante en la investigación del cambio global, con numerosos resultados ya publicados, como se evidencia en diversos estudios (Lastovicka et al. 2012, 2017, 2021a).

En este trabajo, se analizan las tendencias a largo plazo en foF₂ basándose en datos de ionosondas de latitudes medias actualizados hasta 2022, complementados con una interpretación teórica sencilla. Se evalúa la variación estacional y diurna de los valores de tendencia al considerar cada uno de los 12 meses y las 24 horas por separado mediante múltiples métodos. El patrón estacional-diurno se compara con el deducido teóricamente, considerando dos impulsores principales de tendencias: el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero y la variación secular del campo geomagnético.

Específicamente, se tomaron medianas mensuales de foF₂ para cada una de las 24 horas diarias durante el periodo de enero de 1960 a diciembre de 2022, lo que abarca un total de 288 series temporales de 63 años. Dado que las tendencias en foF₂ que se intentan detectar son extremadamente débiles, se filtraron todas las demás variaciones regulares o conocidas en foF₂. Al analizar cada mes y hora por separado, evitamos las componentes fuertes estacionales y diurnas de la variación de foF₂. Asumimos entonces que solo nos queda la variabilidad vinculada a la actividad solar y geomagnética, los impulsores de tendencias a largo plazo que estamos buscando, y un ruido aleatorio propio de cualquier serie temporal real.

El efecto de la actividad solar y geomagnética de cada una de estas series de datos se filtró de manera habitual mediante la estimación de los residuos, ΔfoF_2 , de la regresión lineal entre foF₂ y un proxy de actividad solar combinado con el índice geomagnético Ap:

$$\Delta foF_2 = foF_{2_{exp}} - (A X + B Ap + C) \quad (1)$$

donde $foF2_{exp}$ corresponde al valor experimental de foF2, X representa al proxy solar (MgII en este caso), y A, B y C son los parámetros de mínimos cuadrados de la regresión lineal. Todo el período de datos se incluye en el cálculo de los parámetros. Este método es razonable, no solo debido a la asociación directa entre la densidad de electrones y la actividad solar, sino también por el alto coeficiente de correlación lineal entre foF2 y los proxies de actividad solar, que generalmente es superior a 0.9.

Finalmente, la tendencia lineal de foF2, α , se estima mediante:

$$\Delta foF2 = \alpha t + \beta \quad (2)$$

donde α en [MHz/año] y β en [MHz] son los parámetros de mínimos cuadrados de la regresión lineal entre $\Delta foF2$ y el tiempo t.

Los resultados revelan predominantemente tendencias negativas, con las disminuciones más pronunciadas ocurriendo alrededor del equinoccio, mientras que las tendencias más bajas o ligeramente positivas se observan durante los meses de diciembre a febrero o de junio a agosto, correspondiendo con el hemisferio invernal. El patrón diurno general resalta valores negativos durante el mediodía y valores más bajos durante la noche.

Este estudio de las tendencias ionosféricas y de sus forzantes contribuye a la comprensión global del cambio climático, un fenómeno que afecta cada capa de la atmósfera terrestre. Al analizar y caracterizar estos patrones, profundizamos nuestro conocimiento de los procesos y dinámicas fundamentales de la ionosfera, mejorando así nuestra capacidad para interpretar cambios en las condiciones del clima espacial.

Referencias

- Lastovicka J, Solomon S, Qian L (2012) Trends in the Neutral and Ionized Upper Atmosphere. *Space Sci Rev* 168: 113–145. <https://doi.org/10.1007/s11214-011-9799-3>
- Lastovicka J (2017) A review of recent progress in trends in the upper atmosphere. *J Atmos Solar-Terr Phys* 163: 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2017.03.009>
- Lastovicka J (2021a) Long-Term Trends in the Upper Atmosphere. In: Wang W, Zhang Y, Paxton LJ (eds) *Upper Atmosphere Dynamics and Energetics*, American Geophysical Union, Washington DC, pp 325–344.
- Rishbeth H (1990) A greenhouse effect in the ionosphere? *Planet Space Sci* 38: 945–948. [https://doi.org/10.1016/0032-0633\(90\)90061-T](https://doi.org/10.1016/0032-0633(90)90061-T)
- Roble RG, Dickinson RE (1989) How will changes in carbon dioxide and methane modify the mean structure of the mesosphere and thermosphere? *Geophys Res Lett* 16: 1441-1444. <https://doi.org/10.1029/GL016i012p01441>

COMPORTAMIENTO INTEGRADO DE LOS ÍNDICES IONOSFÉRICOS EN SUDAMÉRICA DURANTE LA TORMENTA GEOMAGNÉTICA DEL DÍA DE SAN PATRICIO

A. Urutti¹, A.M. Meza^{1,2}, L.P.O. Mendoza^{1,2}, G.A.S. Picanço³

1. Laboratorio de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina.
3. National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, Brazil.

anaurutti@gmail.com

La definición e implementación de índices ionosféricos, que sintetizan el estado de la ionosfera, facilitan enormemente la cuantificación del impacto de la meteorología espacial en la alta atmósfera.

Las irregularidades ionosféricas más intensas se observan durante las tormentas geomagnéticas. En este trabajo estudiamos el comportamiento de los tres índices ionosféricos: ROTI (Rate of TEC Index), DIX (Disturbance Ionosphere Index) y W (Weather Index), en Sudamérica y la Península Antártica, antes y durante la tormenta geomagnética del Día de San Patricio de 2015, considerada la más intensa del Ciclo Solar 24.

El contenido total de electrones (TEC) de la ionosfera se utiliza para monitorear las tormentas geomagnéticas, las perturbaciones ionosféricas y otros fenómenos que evidencian la interacción entre la atmósfera terrestre y la meteorología espacial. El ROTI da la dispersión de la tasa de cambio del TEC, el DIX mide el gradiente espacial y la variación temporal del TEC y el índice W permite estudiar las fases de la tormenta ionosférica.

El cálculo de los índices ionosféricos se basó en observaciones multi-GNSS: GPS, GLONASS y Galileo, y multifrecuencia. Todas las mediciones GNSS representan una mezcla de la variabilidad espacial y temporal de la ionosfera, cuya estructura varía en función de la actividad solar y del campo magnético terrestre. Concluimos que la perturbación ionosférica asociada a la tormenta del Día de San Patricio tiene una fuerte dependencia con la hora local y la latitud geomagnética.

Centrándonos en el estudio integrado de la alta atmósfera en la región de América del Sur, estudiaremos en un futuro próximo, el comportamiento de los índices durante otros eventos como eclipses solares, llamaradas e incluso otras tormentas geomagnéticas, con el fin de identificar qué índice es más adecuado para estudiar cada fenómeno en función de la sensibilidad de cada índice y ayudar en la comprensión de los fenómenos anómalos que ocurren en estas latitudes.

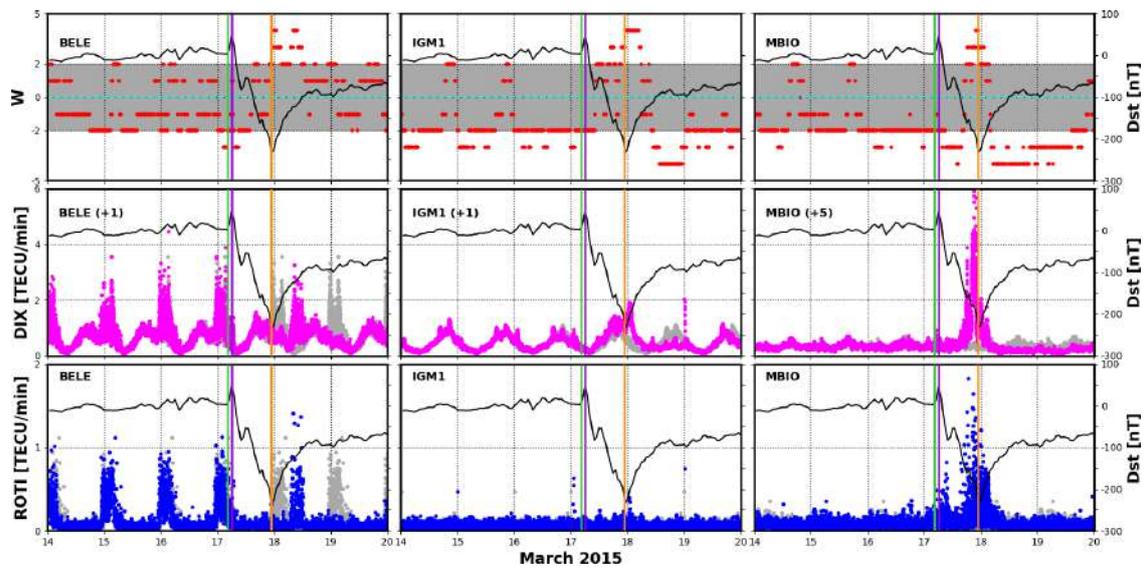


Figura 1: Los gráficos de la primera columna muestran los valores de los índices para latitudes bajas. La segunda columna muestra los valores en latitudes medias y la tercera los resultados en latitudes altas. En cada columna, el gráfico superior corresponde al índice W, el segundo al índice DIX y el último al índice ROTI. Además, en todos los gráficos los valores del índice Dst se representan con una curva negra y se marcan las fases de la tormenta geomagnética (el inicio repentino de la tormenta con una línea vertical verde, la fase principal con una línea vertical violeta y la fase de recuperación con una línea vertical naranja). Los valores asociados a un comportamiento tranquilo se representan en gris.

Referencias:

- Mendoza, L. P. O., Meza, A. M., & Aragón Paz, J. M. (2019a). A multi-gnss, multifrequency, and near-real-time ionospheric tec monitoring system for south america. *Space Weather*, 17 (5), 654–661.
- Mendoza, L. P. O., Meza, A. M., & Paz, J. M. A. (2019b). Near-real-time vtec maps: new contribution for latin america space weather. *Advances in Space Research*, 65 (9), 2235–2246.
- Meza, A., Van Zele, M. A., & Rovira, M. (2009). Solar flare effect on the geomagnetic field and ionosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 71 (12), 1322–1332.

ESTUDIO DE LA ANOMALÍA MAGNETICA DEL ATLÁNTICO SUR CON DATOS SATELITALES DE PRECIPITACIÓN DE PARTÍCULAS

Guillermo D. Rodríguez^{1,2}, Ezequiel García^{1,2} y Leonardo Navarría^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.
2. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.

grodriguez@fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar

La Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS) (SAA, South Atlantic Anomaly) es una zona en la cual existe una significativa disminución de la intensidad del campo geomagnético, y este fenómeno tiende a intensificarse con el paso del tiempo. Se observa en el modelo matemático del campo geomagnético, una disminución en la predominancia de la componente bipolar del mismo y un incremento en la de su componente cuadrípolar.

Estas alteraciones provocan, que, en la región bajo estudio, los cinturones de radiación de Van Allen se acerquen a la Tierra produciendo un incremento en la precipitación de partículas en comparación a otras zonas no polares.

En tanto que esta región se define como una anomalía del campo geomagnético, y se representa usualmente con curvas de nivel en nanoTeslas, uno de los fenómenos que más interesan respecto de la misma, es la precipitación de partículas que ingresan en la región por sus efectos sobre los satélites y tripulación de operaciones aéreas.

Existen por otro lado desde hace varias décadas, satélites que poseen instrumental para determinar el flujo de partículas precipitantes con diferentes energías.

El presente trabajo se enfoca en el estudio de estas precipitaciones para las trayectorias de estos satélites sobre la AMAS, analizando la distribución de flujo de partículas con distintas energías detectados por satélites LEO (Low Earth Orbit), buscando establecer la distribución geográfica de la región anómala y otras características. Se emplea para esta investigación los datos adquiridos por detectores MEPED (Medium Energy Proton and Electron Detector) montados en los satélites del sistema POES (Polar Operational Environmental Satellites, NOAAs de 4th y 5th generación) y en satélites del sistema EUMETSAT (Europe Meteorological Satellites) Polar System.

EFFECTOS DE LAS ONDAS DE CHOQUE DEL VIENTO SOLAR EN LOS REGISTROS DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO DE ESTACIONES DEL HEMISFERIO SUR

Sallago, P.A. y Montero, M.F.

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - UNLP

pato@fcaglp.unlp.edu.ar

El desarrollo tecnológico electrónico de la sociedad actual evoluciona permanentemente, ésta es susceptible de experimentar daños como efecto de la actividad solar, por este motivo se ha tornado importante profundizar en la comprensión del comportamiento del clima espacial. Tanto los flares, las eyecciones de masa coronal (CMEs, por su sigla en inglés) como los streamers pueden desencadenar el desarrollo de fenómenos que afectan al entorno magnético de la Tierra. Los frentes de choque son precursores de los arribos de las CMEs y de las regiones rotantes (CIR, por su sigla en inglés); su interacción con el viento solar puede provocar variaciones significativas en el campo geomagnético.

En un trabajo anterior (Berezin et al, 2023 <http://www.astronomiaargentina.org.ar/b64/2023BAAA...64...11B.pdf>) se mostró que, entre otros tipos de perturbaciones, los frentes de ondas de choque de CMEs no geoeffectivas y las discontinuidades de Alfvén son posibles fuentes de subtormentas aisladas, bajo ciertas condiciones.

En este trabajo se busca mejorar la comprensión de estas interacciones, tanto la onda de choque como la evolución de la respuesta de los sistemas de corrientes. Para ello, en tres casos particulares, identificando el tipo de perturbación de origen con los parámetros del viento solar, se rastrea la “firma” de alguna de estas perturbaciones en los registros geomagnéticos de estaciones terrestres del hemisferio sur.

Algunas de las estaciones fueron elegidas de la Red Brasileña EMBrace (<https://www2.inpe.br/climaespacial/portal/embracedataabout/>), éstas son Tucumán TCM y Río Grande RGA. Otras fueron elegidas de la Red Intermagnet: Vassouras VSS, Pilar PIL y Port Stanley PST. Estos últimos datos fueron descargados desde el sitio del British Geological Survey (<https://img-data.bgs.ac.uk/GINV1/GINForms2>).

Además, para caracterizar el estado del viento solar, los parámetros físicos del mismo y algunos índices de actividad (como el SML, similar al índice auroral AL) se obtuvieron tanto de la red SupermaG (<https://supermag.jhuapl.edu/>), como de OMNiWeb (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/>). Los índices geomagnéticos Kp, AE y PCS, que fueron utilizados en este análisis, provienen de la página de ISGI (https://isgi.unistra.fr/data_download.php).

Se seleccionaron tres eventos acontecidos durante 2018. Primero, se analizó la firma de una onda de choque (slow forward) detectada el 21 de enero de 2018, que fuera reconocida como fuente de una subtormenta auroral aislada (Berezin et al, 2023). Luego, se estudiaron eventos clasificados por el servicio del observatorio del Ebro como “impulso repentino seguido de tormenta geomagnética” (SSC) e “impulso repentino” (SI) (<https://www.obsebre.es/es/variaciones/rapidadas>). Los mismos se corresponden con sucesos del día 20 de abril 0:21 hs TU y 22 de mayo de 2018 12:18hs TU, respectivamente. El catálogo de impulsos que elaboran en el observatorio del Ebro se basa en los registros de estaciones geomagnéticas. En el caso de los impulsos que se seleccionaron para este trabajo, las estaciones que contribuyeron fueron: Honolulu HON, San Juan SJG, Nbour MBO, Alibag ABG y Kanoya KNY.

Además, debe destacarse que existe un conjunto de catálogos de subtormentas en el sitio de SupermaG que es elaborado por distintos investigadores con criterios complementarios (Newell and Gjerloev, 2011; Forsyth et al., 2015, y Ohtani and Gjerloev, 2020. De dichos catálogos se obtuvieron tres subtormentas que inician a las

6:20, 9:28 y 11:05hs TU, durante el desarrollo de la tormenta geomagnética del 20 de abril (G2 – tormenta moderada). Mientras que, para el día del SI, 22 de mayo, se obtuvo una subtormenta a las 6:58 hs TU, evento no relacionado con el impulso repentino que se espera observar aproximadamente a las 12:18 hs TU.

Como se mencionó anteriormente, los eventos se estudian en el orden cronológico, identificando el tipo de perturbación de origen con los parámetros del viento solar, siguiendo el comportamiento en los registros de las estaciones. Es importante remarcar que los datos de las estaciones TCM y RGA deben compararse entre sí por pertenecer a la misma red. Los registros de HON se utilizan como marcadores de identificación en superficie, mientras que para identificar la actividad geomagnética polar sur se utiliza el índice PCS (elaborado a partir de los datos de la estación geomagnética antártica Vostok VOS). Por último, comparando con los índices SML y PCS se ensayan posibles comportamientos de los sistemas de corriente magnetosféricos e ionosféricos. Se concluye que, en los tres casos, aunque de manera diferente, pueden inferirse el acoplamiento de los sistemas de corrientes.

Caso 1 - Slow Forward (21/01/2018): Según los catálogos, el tiempo de inicio es a las 8:30hs.TU. Este es un día internacionalmente quieto. Durante el evento VSS, PIL y PST se encuentran más próximas a la zona diurna, mientras que TCM y RGA se encuentran más cercanas a la zona crepuscular. Las estaciones antárticas se encuentran siempre en la zona iluminada por ser el mes de enero. La diferencia entre el tiempo de observación en la BSN (frente de choque estacionario de la Tierra) y en las estaciones es del orden de los 54 minutos. Mediante el estudio de los índices AE-SML y PCS-AL se infiere para el primero, una fuerte vinculación entre las corrientes ionosféricas en forma global y la corriente al oeste, mientras que para el segundo se infiere un fuerte vínculo entre el comportamiento geomagnético en la región antártica con la corriente al oeste “vista” en el hemisferio norte.

Caso 2 - SSC y tormenta geomagnética tipo G2 (20/04/2018): El catálogo del Ebro marca el SSC a las 0:21hs TU. Los datos del viento solar pueden apreciarse mejor a partir de los registros de los satélites DSCOVR y WIND (ubicados en L1 y desplazados hasta la BSN). Por los datos del primero puede detectarse que se trata de una onda de choque fast forward, seguida por la nube de plasma. Durante este intervalo (SSC) las estaciones se encuentran en la zona crepuscular y nocturna, bajo la influencia del sistema de corrientes de la cola de la magnetósfera. El análisis de los datos confirma la influencia de dicho sistema de corrientes. La diferencia de tiempo entre las observaciones en la BSN y en las estaciones es del orden de los 32 minutos.

Caso 3 - Impulso repentino SI (22/05/2018): Según el catálogo del Ebro, el SI tiene lugar a las 12:18hs TU. Se trata del paso de una onda de choque (fast forward), su forma puede observarse a partir de los datos registrados en DSCOVR y el tiempo en la BSN más adecuado se observa en los datos de WIND. Aunque no está declarado como día internacionalmente quieto, todos los intervalos trihorarios presentan valores de Kp menores que Kp = 3. Durante la SI las estaciones se encuentran ubicadas en la zona de la mañana. La diferencia de tiempo entre las observaciones en la BSN y en las estaciones es del orden de los 56 minutos. A pesar de encontrarse en la zona diurna, se propone un posible enlace del sistema de corrientes de ambos hemisferios vía la influencia del sistema de corrientes de la cola de la magnetósfera.

Los resultados del presente estudio muestran que dos de los eventos están asociados a ondas de choque en días geomagnéticamente tranquilos. En el primer caso se trata de una slow forward causante de subtormentas, con efectos perturbativos que pudieron rastrearse en los registros de las estaciones del hemisferio sur. En el otro caso (SI) pudo observarse que se trata de una fast forward. Por otra parte, para el SSC puede verse que se trata de una onda de choque fast forward seguida por la nube de plasma de la CME. En todos los casos las perturbaciones medidas en las estaciones en tierra muestran evidencia del acoplamiento del sistema de corriente de la cola de la magnetósfera, mediante la correlación alta con el índice PCS. Este trabajo se realizó en el marco del proyecto acreditado 11G/165.

Referencias

- Berezin, H., M. F. Montero, P. A. Sallago, C. M. Giordano, 2023, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía, 64, 2023 BAAA...64...11B.pdf (astronomiaargentina.org.ar).
- Forsyth C., I. J. Rae, J. C. Coxon, M. P. Freeman, C. M. Jackman, J. W. Gjerloev, A. N. Fazakerley, 2015, J. Geophys. Res. Space Phys., 120, 10592-10606, doi:10.1002/2015JA021343.
- Ohtani S., Gjerloev J.W., 2020, J. Geophys. Res. Space Phys., 125, e2020JA027902, doi:10.1029/2020JA027902.
- Newell P. T., Gjerloev J. W., 2011, J. Geophys. Res. Space Phys., 116, A12232, doi:10.1029/2011JA016936.

ESTUDIO DE PERTURBACIONES IONOSFÉRICAS PRODUCIDAS POR OSCILACIONES EN EL VIENTO SOLAR UTILIZANDO OBSERVACIONES GNSS

J.M. Castaño^{1,2} y A.M. Meza^{1,2}

1. Laboratorio de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
Paseo del Bosque s/n, B1900FWA, La Plata, Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

jmcastano@fcaglp.unlp.edu.ar

La actividad solar tiene una gran variabilidad, y las condiciones del campo magnético interplanetario y el viento solar están sujetos a dicha influencia, por lo que los cambios producidos en estos medios influyen de manera determinante en el estado y comportamiento electrodinámico de la atmósfera terrestre. El viento solar, la magnetosfera y la ionosfera terrestres forman un sistema dinámico con un continuo intercambio de energía a través de diversos mecanismos físicos. Las variaciones del campo magnético interplanetario (IMF) y las presiones dinámicas del viento solar (PSW) pueden cambiar el campo eléctrico magnetosférico y afectar la ionosfera de latitudes medias y bajas a través del proceso de penetración. Huang et al. (2002) estudiaron las perturbaciones ionosféricas cuasi periódicas utilizando observaciones del radar de Millstone Hill y asociaron estas perturbaciones con campos eléctricos magnetosféricos penetrantes.

En nuestro trabajo, estudiamos un evento transitorio y oscilatorio en el campo magnético interplanetario (IMF) utilizando contenido total de electrones vertical (VTEC) obtenido a partir de observaciones GNSS y densidad electrónica del radar Millstone Hill para caracterizar las perturbaciones ionosféricas. La cobertura global de las observaciones GNSS nos permite calcular el VTEC en estaciones geodésicas permanentes distribuidas con diferentes latitudes geomagnéticas y horas locales. Por lo tanto, podemos analizar la penetración de campos eléctricos magnetosféricos en diferentes condiciones ionosféricas.

Nuestros resultados preliminares muestran variaciones casi periódicas similares en las perturbaciones ionosféricas calculadas con VTEC y las obtenidas con la densidad electrónica en radar de Millstone Hill. A diferentes alturas de la ionosfera se registra distintos tiempos de respuesta ionosférica a las variaciones de IMF. Implementamos herramientas numéricas como la transformada Wavelet y la Coherencia Wavelet para estudiar la oscilación de los parámetros estudiados y la relación causa-efecto entre ellos.

Concluimos que la relación entre la ionosfera y el IMF es mayor en latitudes medias-altas y en horas locales cercanas al mediodía.

VERIFICACIÓN DE PRONÓSTICOS DIARIOS DE TEMPERATURAS MÁXIMA, MÍNIMA Y PRECIPITACIÓN REALIZADOS POR EL LABORATORIO DE PRONÓSTICO METEOROLÓGICO PARA LA CIUDAD DE LA PLATA

Mauricio Bocanegra¹, Micaela Cabrera¹, Juan Augusto Díaz¹, Eliana Marcos¹, Lisandro Pinto¹, Serena Sánchez¹, Victoria Vahnovan¹, Alejandro Godoy¹ y Horacio Sarochar¹

Independientemente del orden, todos los autores aportaron al trabajo de la misma manera.

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG) - Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

Contacto del Grupo de Pronóstico: e-mail (grupopronolp@gmail.com), Instagram (@prono_unlp), Facebook (pronounlp) y Twitter (@prono_unlp)

En el presente trabajo se realizó una verificación primaria de los pronósticos de temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones diarias, elaborados en el Laboratorio de Pronóstico Meteorológico (LPM) de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) para la ciudad de La Plata y zonas aledañas. La verificación es un paso fundamental en el proceso de pronóstico pues permite comprobar la calidad de los mismos y, eventualmente, aplicar cambios en las metodologías de análisis. El período de tiempo en el que se verificó fue del 1 de octubre de 2020 al 31 de diciembre de 2023 y esta extensión inicialmente corta se debió a que el propio LPM comenzó a difundir sus pronósticos en un tiempo relativamente reciente. Para la verificación de los pronósticos de temperaturas máximas y mínimas se aplicaron estadísticos típicos como el error relativo (ER) y el error cuadrático medio (ECM). Para el caso de las precipitaciones se calculó el Coeficiente de Asociación (CA). En todos los casos se verificaron los pronósticos a 24 (día +1), 48 (día +2) y 72 horas (día +3). En esta primera exploración, en la verificación de temperaturas se observó un buen desempeño en los tres días, especialmente en el día +1, con un aumento de los desvíos “Regulares” y “Malos” para los días +2 y +3. Para el caso de las precipitaciones los valores de CA fueron superiores a 0,8 para los tres días de pronóstico, lo que indicaría una alta calidad de los mismos.

Introducción

En agosto del 2018 se creó el Laboratorio de Pronóstico Meteorológico (LPM) de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), integrado por estudiantes avanzados de la Licenciatura en Meteorología y Ciencias de la Atmósfera y Técnicos en Meteorología de dicha unidad académica, bajo la dirección de los docentes Alejandro Aníbal Godoy (Doctor en Ciencias de la Atmósfera) y Horacio Sarochar (Licenciado en Ciencias de la Atmósfera). El objetivo del grupo es realizar pronósticos meteorológicos diarios para la ciudad de La Plata y alrededores. Los mismos se elaboran de lunes a viernes, abarcando cuatro días, contando el día “cero” en el que se elabora el pronóstico y cubriendo así toda la semana. Los pronósticos son publicados en la página web de la FCAG (https://www.fcaglp.unlp.edu.ar/pronostico_la_plata) y redes sociales como Instagram, Facebook y Twitter. Además, se colabora con radio UNLP y radio 221, enviando el pronóstico del día cero y día más uno en formato audio.

Teniendo en cuenta que la extensión es uno de los tres pilares fundamentales de la UNLP (Estatuto UNLP), el grupo de pronóstico surge en el marco de un proyecto de extensión dentro de la FCAG, con el objetivo de fomentar la divulgación de la carrera y ofrecer a la comunidad un sistema de información meteorológica complementario al que ofrece el Servicio Meteorológico Nacional, más enfocado a la región, sus necesidades y potenciales requerimientos.

El grupo tiene dos propósitos fundamentales. Por un lado, se busca lograr pronósticos de temperaturas más precisos para la ciudad y alrededores, teniendo en cuenta que se trata de una región específica. Por el otro, tiene un fuerte rol en la parte de divulgación, ya que mantiene contacto con diversos medios de comunicación en presencia de situaciones sinópticas relevantes, colabora con la difusión de alertas oficiales del SMN, participa en eventos de la FCAG como la “Semana de la Tierra”, “La noche de las ciencias” y realiza charlas de distintas temáticas.

Un proceso indispensable en la predicción del tiempo es la verificación de los pronósticos con el propósito de determinar la calidad de los mismos. Esto permite discernir entre los procedimientos de pronóstico más apropiados y determinar las mejoras en la metodología de trabajo. En este trabajo se presenta la verificación de la precipitación, de las temperaturas máxima y mínima diarias pronosticadas por el grupo a uno, dos y tres días, comparándolas con los valores observados en la estación La Plata Observatorio de la FCAG - UNLP para el periodo 01/10/2020 al 31/12/2023.

Datos y metodología

Para realizar la verificación se definen las series de pronóstico a día +1, +2 y +3 tomando el pronóstico de temperatura máxima, mínima y la probabilidad de precipitación. Además, se utilizan los datos de temperatura máxima, mínima y precipitación acumulada en 24 horas registrados en la estación meteorológica automática (EMA) marca Davis de la estación La Plata Observatorio de la FCAG-UNLP.

Para verificar las temperaturas, en primer lugar, se calculó el error relativo (ER) para cada serie a partir de la diferencia entre el valor pronosticado y observado. A partir del error relativo se definieron las categorías: Bueno, Regular y Malo tomando el valor absoluto de ER y los límites de 2°C, 4°C y 6°C. Para cada serie de ER se realizó un gráfico de dispersión que permite detectar rápidamente los periodos donde se subestima o sobreestima la temperatura pronosticada.

Para complementar la verificación de los pronósticos de temperatura se divide el año en las estaciones verano extendido (septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo) e invierno extendido (resto del año) y se calcula para cada una el error cuadrático medio (ECM) de las series +1, +2 y +3 (Wilks, D. S. (2011)).

Para el caso de precipitación, al ser una variable dicotómica, estudiamos la ocurrencia o no ocurrencia del evento. Para esto, se calculó el Coeficiente de Asociación (CA), el cual puede tomar valores extremos entre -1 y 1. Se considera “desacierto total” cuando se obtiene un valor de -1, “acierto total” cuando el valor de a es igual a 1 y no existe relación entre el pronóstico y lo observado cuando el valor obtenido es 0.

Para el cálculo del CA, se realizó una tabla de contingencia (Tabla 1), considerando los casos de acierto “Si pronosticado y si observado” (A1) y “No pronosticado y no observado” (A2); el caso de falsa alarma “Si pronosticado y no observado” (FA); y el caso sorpresa “No pronosticado y si observado” (S).

	SI pronosticado	NO pronosticado
SI observado	Acierto 1 (A1)	Sorpresa (S)
NO observado	Falsa alarma (FA)	Acierto 2 (A2)

Tabla 1: Tabla de contingencia.

El valor del CA se obtiene de la fórmula $CA = [(A1 \times A2) - (FA \times S)] / [(A1 \times A2) + (FA \times S)]$ (Brooks, C. E. P., & Carruthers, N. (1953)).

Resultados

En general, en la verificación de temperatura se observó un buen desempeño en los tres días. La serie de día +1 obtiene pocos desvíos calificados como “Malos” y la

tendencia polinómica de grado 3 oscila alrededor de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Cuando se analiza la serie de día +2 y +3 se identifica un aumento en la cantidad de los pronósticos “Regulares” y “Malos”, siendo coherente con la incertidumbre de los modelos a mayor plazo. Es importante destacar que los errores en el pronóstico se van corrigiendo y no se observa una propagación lineal de los mismos entre las series. En la Figura 1, podemos observar las series día +1, +2, +3 de error de temperatura mínima.

Continuando con el análisis se calcularon los valores de ECM que se muestran en la Tabla 2. Se obtuvo un máximo igual a $2,3^{\circ}\text{C}$ para la serie de temperatura máxima a un día en la estación de verano y el mínimo valor obtenido es $1,57^{\circ}\text{C}$ para la serie de temperatura mínima a un día, también en la estación cálida. Como es esperado, se observa un mejor desempeño en el día +1 para las series de temperatura máxima y mínima durante el invierno. Por otro lado, la estación de verano requiere un mayor análisis debido a que la serie de temperatura máxima a +1 obtuvo un valor de ECM mayor que el día +3, siendo el día +2 el de mejor desempeño.

Los valores del CA para la verificación de precipitación que se observan en la Tabla 3, dieron buenos resultados, siendo 0,83 para días +1 y +3, y 0,87 para día +2. Es decir, los tres días mostraron valores que se acercan a lo considerado acierto total según el coeficiente, resaltando que para el día +2 nuevamente se obtienen mejores resultados respecto de los pronósticos a días +1 y +3.

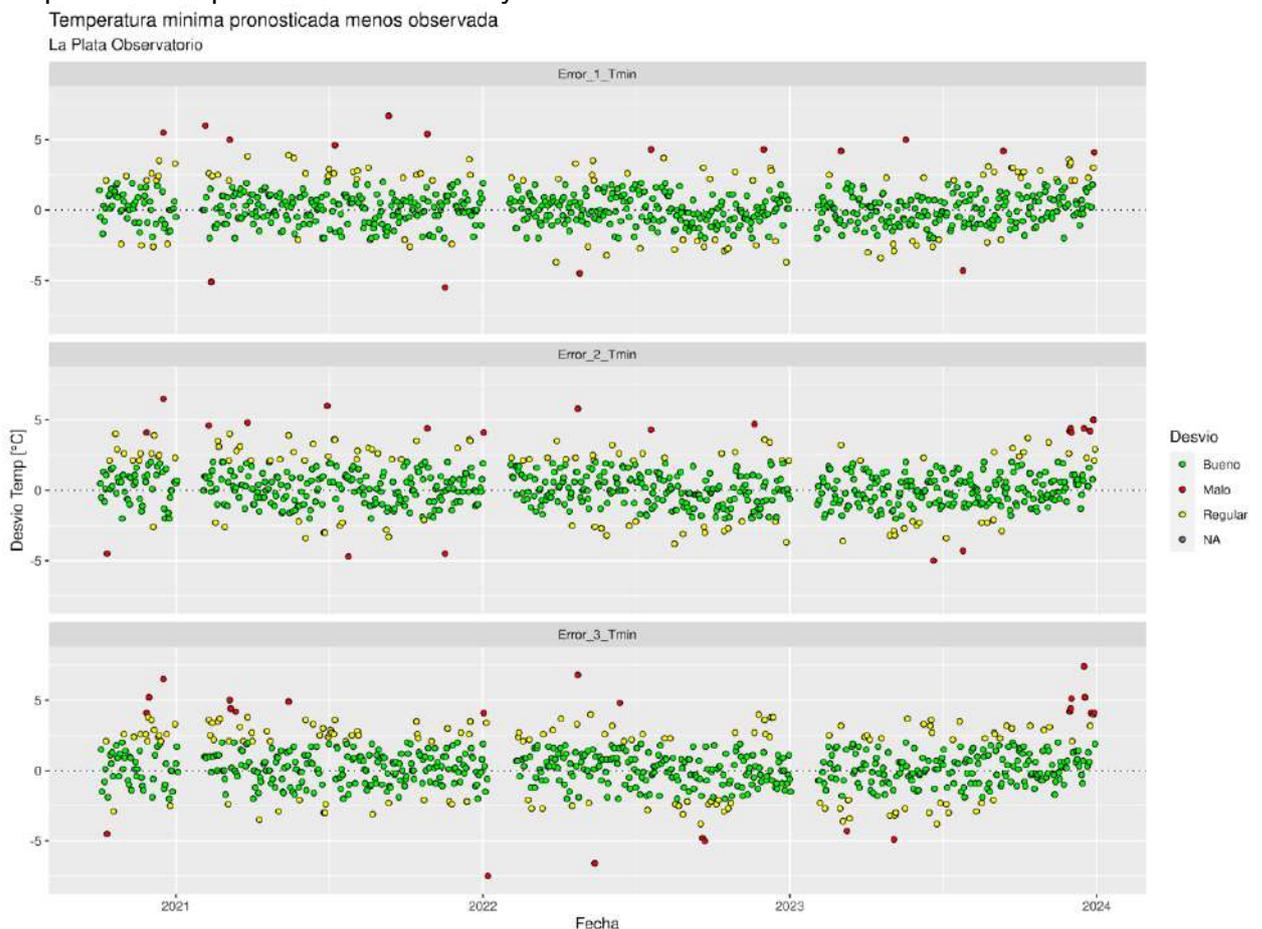


Figura 1: Serie de dispersión Error de Temperatura Mínima para día +1(arriba), día +2 (centro) y día +3 (abajo) calificados en “Bueno” (verde), “Regular” (amarillo) y “Malo” (rojo).

	Error cuadrático medio (ECM)					
Temporada	Tmin (+1)	Tmin (+2)	Tmin (+3)	Tmax (+1)	Tmax (+2)	Tmax (+3)
Cálida	1,57	1,72	1,83	2,30	1,83	2,13
Fría	1,58	1,64	1,77	1,92	1,95	2,08

Tabla 2: Valores de ECM por temporada para pronósticos de temperaturas máximas y mínimas de los días +1, +2 y +3.

Pronóstico	Dia +1	Dia +2	Dia +3
CA	0,83	0,87	0,83

Tabla 3: Valores de CA para pronósticos de precipitación de los días +1, +2 y +3.

Referencias

- Brooks, C. E. P., & Carruthers, N. (1953). Handbook of statistical methods in meteorology. Handbook of statistical methods in meteorology.
- Estatuto UNLP, 1ra edición 2009. Publicación Institucional de la Universidad Nacional de La Plata. https://unlp.edu.ar/institucional/unlp/gobierno/estatuto_unlp-4287-9287/
- Wilks, D. S. (2011). Statistical methods in the atmospheric sciences (Vol. 100). Academic press.

PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA RAYOS: UNA DÉCADA CONCIENTIZANDO SOBRE LAS TORMENTAS DESDE LA EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

F.I. Solari,^{1,2} A. Cesanelli¹, S.S. Kseminski^{1,3}, M.F. Barle^{1,2,4}, C.I. Villagrán Asiares^{1,2,4},
J.A. Diaz^{1,3}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), UNLP.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
3. Servicio Meteorológico Nacional (SMN Argentina).
4. Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF).

prevencionrayos@fcaglp.unlp.edu.ar
Instagram, X (Twitter), Facebook: @PrevencionRayos

Prevención y Protección contra Rayos es un proyecto de extensión desarrollado por miembros la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), integrado en su mayor parte por estudiantes y docentes de las tres carreras de esta unidad académica (meteorología, geofísica y astronomía), dentro del cual se realizan diversas propuestas de divulgación desde 2015. Nuestro objetivo principal es realizar actividades de difusión y concientización tendientes a que la población tome decisiones adecuadas para mitigar los riesgos durante la actividad eléctrica de las tormentas.

El disparador inicial del proyecto (hacia fines de 2014) fueron algunas de las secuelas de la inundación ocurrida en La Plata en abril de 2013, como las que se pusieron de manifiesto en los comentarios de preocupación por las amenazas meteorológicas, compartidos por los niños asistentes a los Talleres de Vacaciones de Invierno de la FCAG. Como respuesta a esta realidad nos propusimos desarrollar actividades que ayuden a difundir sobre eventos meteorológicos severos. Luego de pocos encuentros con diversos grupos observamos que existe una gran desinformación sobre las tormentas en general, y las descargas eléctricas en particular. Además, existen numerosas creencias muy arraigadas en gran parte de la población sobre cómo actuar ante la ocurrencia de estos fenómenos que, en muchos casos, resultan erróneas y, por ende, peligrosas.

Los esfuerzos de prevención ante tormentas realizados por distintos organismos a nivel nacional y local (ej. Municipalidad de La Plata, Cruz Roja Argentina, etc.) suelen orientarse, casi con exclusividad, a otro tipo de fenómenos, como vientos intensos y precipitaciones abundantes, desconociendo no solo la peligrosidad de las descargas eléctricas sino también su ocurrencia durante tormentas que no generan otros fenómenos de alto impacto. Es importante destacar que las muertes por rayos constituyen la segunda causa de muerte por fenómenos naturales en el país, superada únicamente por muertes asociadas a condiciones de bajas temperaturas (Dra. M. G. Nicora, comunicación personal). Frente a esta clara área de vacancia surgió la idea de enfocar el trabajo del proyecto hacia la temática de los rayos.

Durante los primeros años del proyecto desarrollamos actividades en colegios, brindando charlas y talleres adaptados específicamente a las características de cada grupo destinatario. Estas actividades se realizaron, en su mayor parte, en instituciones educativas de la región (La Plata, Quilmes, Ensenada, Batio) aunque también las desarrollamos en provincias particularmente vulnerables, concretando un viaje a Misiones en 2017 y otro a Córdoba en 2018 (este último también enmarcado dentro de las acciones de divulgación y concientización del Proyecto Relámpago-Cacti).

A raíz de las restricciones impuestas por el aislamiento social producto de la pandemia de COVID-19, en 2020 y 2021 se repensó el proyecto, orientándose más hacia el uso de redes sociales (@PrevencionRayos) como herramienta de difusión y concientización. Desde ese momento se ha logrado aumentar en más de 2000 el número de seguidores

de Instagram, que es nuestra red principal.

En estas plataformas publicamos, en diversos formatos, contenido original que aborda, de manera sencilla, fenómenos relacionados con las tormentas y la actividad eléctrica. También realizamos encuestas y actividades interactivas que, por un lado, nos permiten reforzar nuestro vínculo con la comunidad y, por el otro, nos permiten compartir información certera, a la vez que exploramos el nivel de conocimiento en la temática por parte del público destinatario. Contribuimos en la difusión de pronósticos, alertas y avisos a muy corto plazo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) y pronósticos para La Plata elaborados por el Grupo de Pronóstico de la FCAG, remarcando la importancia de consultar fuentes oficiales. Además, mantenemos siempre disponible la información sobre acciones seguras a tomar antes (prevención) y durante (protección) una tormenta.

Un hecho destacable en estos últimos años fue la interacción con organismos públicos, lo que ayuda a extender el alcance del proyecto. En particular, en 2022 y 2023 trabajamos en conjunto con la Dirección Provincial de Riesgos y Emergencias de la Provincia de Buenos Aires para la actualización del protocolo de “bandera de rayos” que se utiliza en la costa atlántica. En línea con esta actividad, también hemos comenzado a explorar cómo podría trasladarse a la UNLP la posibilidad de establecer criterios para la toma de decisiones frente a pronóstico y presencia de tormentas. En 2023 hemos tenido los primeros acercamientos y capacitaciones con referentes de espacios destinados a actividades al aire libre de los gremios docente y no docente de la UNLP (ADULP y ATULP, respectivamente).

En 2023 también comenzamos con el desarrollo de contenido audiovisual para una visita temática sobre rayos, a ser guiada por integrantes del Área de Visitas de la FCAG. Actualmente, la visita tiene avanzado un guion y se proyecta continuar con la construcción de recursos audiovisuales de la misma, además de la elaboración de material complementario para los docentes de las escuelas visitantes, que les permita continuar trabajando la temática dentro del aula. Una vez implementada, esta actividad convertirá a los guías del Planetario UNLP en multiplicadores de los contenidos del proyecto, alcanzando especialmente a las instituciones educativas que visiten nuestra Facultad. Destacamos que, al día de hoy, no existe una visita del Planetario UNLP que esté vinculada con la meteorología.

Como otra línea de trabajo del grupo extensionista se creó también el curso de divulgación *¡Atención! Rayos en el cielo*, que ya fue dictado en la FCAG en dos oportunidades (2022 y 2023). Dentro de este curso, el cual es gratuito y abierto a la comunidad, abordamos, a lo largo de seis encuentros -dentro de los cuales se incluye un taller a modo de cierre-, qué son las tormentas y la actividad eléctrica, sus procesos físicos y herramientas de monitoreo, y las medidas de prevención y protección.

Aunque desde que apostamos por el trabajo en redes sociales nos hemos enfocado menos en dar charlas, continuamos realizando esta actividad en diversos ámbitos que lo requieran, como colegios, cátedras dentro de la Facultad, y otros grupos particulares. Como apoyo a las charlas también entregamos folletería -realizada por el proyecto- a modo de difusión y recordatorio de las acciones seguras. También, a medida que surgen las oportunidades, difundimos el proyecto y los conceptos más importantes a través de eventos dedicados a la extensión y las ciencias, congresos, entrevistas para diversos medios (incluyendo TV UNLP y TV Pública Argentina) y charlas de divulgación en el Planetario UNLP.

A lo largo de todos estos años hemos aprendido mucho sobre el tema de tormentas eléctricas, al punto que varios de los integrantes nos encontramos trabajando en la temática, tanto en ámbitos profesionales (como el SMN) como en investigación en el marco de tesis doctorales. Como grupo de trabajo comprometido con la extensión universitaria, continuaremos ampliando el espectro de destinatarios del proyecto, popularizando los conocimientos y acciones seguras que pueden tomarse frente a la presencia de rayos, y generando conciencia sobre las decisiones que se tomen en el momento y las consecuencias que de estas puedan surgir.

CAMBIO CLIMÁTICO: UN ABORDAJE SENCILLO DESDE UNA PERSPECTIVA COMPLEJA

Nadia Testani^{1,2,3}, Malena S. Lozada Montanari^{1,2,3}, Leandro B. Diaz^{1,2,3}, Nadia Itzel Castillo Pérez^{4,5}, Marianela Groppa^{1,2}, Belén Martorelli^{1,2,6}, Agustina Carranza¹

1. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Buenos Aires, Argentina.
2. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.
3. CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina.
4. Centro de Ciencias de la Tierra (CCT), Universidad Veracruzana (UV). Xalapa, México.
5. Maestría en Ciencias de la Tierra- Hidrometeorología, Universidad Veracruzana (UV). Xalapa, México.
6. INTA- Instituto de Tecnología Agropecuaria.

nadia.testani@cima.fcen.uba.ar

Este trabajo muestra la experiencia de un taller sobre cambio climático tanto virtual como presencial titulado "¿Por qué el Planeta está al Horno?", diseñado para estudiantes y docentes de escuelas secundarias, y adaptado a diversos eventos. A partir de esta experiencia, se ha creado una página web dirigida al público juvenil y a docentes de escuelas secundarias, ofreciendo herramientas para comprender los conceptos científicos del cambio climático, explorar distintos escenarios futuros y comprender posibles políticas de mitigación y adaptación. Esta iniciativa no solo promueve la divulgación científica y la educación ambiental, sino que también se alinea con la reciente Ley para la Implementación de la Educación Ambiental Integral en la República Argentina.

1) Introducción

En las últimas décadas, el cambio climático ha dejado de ser un tema debatido exclusivamente en círculos científicos reducidos para convertirse en un problema de gran relevancia social, abarcando aspectos políticos, económicos, culturales y éticos, entre otros, y se ha posicionado como un tema central en la agenda de políticas públicas (Nieto Galán, 2011; Fleming & Jacovick, 2011). Este cambio se atribuye, en parte, a la popularización del tema a través de diversos medios de comunicación, tanto tradicionales como no convencionales, que permiten su rápida reproducción y difusión, como las redes sociales.

Frecuentemente, la ciencia es presentada en los medios como una empresa heroica, apolítica e intrínsecamente racional, lo cual tiende a legitimar los intereses de los científicos profesionales u otros grupos de poder, desde una posición dominante en términos de conocimiento (Nieto Galán, 2011). Por tanto, el desafío para los científicos radica en acercar conceptos científicos y técnicos de complejidad en torno al cambio climático sin simplificar demasiado la complejidad y la naturaleza sistémica del problema, reconociendo nuestro papel como un eslabón más en la sociedad.

Dada la importancia que el cambio climático tiene en la sociedad actual y la necesidad de difundir información basada en evidencia científica, este trabajo presenta la experiencia de desarrollo de una herramienta de difusión y educación sobre esta temática.

2) Taller ¿Por qué el planeta está al horno?

En junio de 2021, en el marco de la “Semana de las Ciencias de la Tierra 2021” de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA), actividad destinada principalmente a estudiantes y docentes de escuelas secundarias, se realizó por primera vez el Taller ¿Por qué el Planeta está al Horno? en modalidad virtual debido a las restricciones sanitarias vigentes en ese momento en el marco de la pandemia del COVID-19 (Figura 1). Este taller se propuso como un espacio de aprendizaje y reflexión sobre el cambio climático, y contó con la participación de alrededor de 300 personas.

El taller incluyó, en primer lugar, la presentación de algunos de los principales conocimientos científicos sobre el tema, como los conceptos físicos de equilibrio radiativo y efecto invernadero, que permiten comprender por qué en las últimas décadas, debido al accionar humano, la temperatura media global ha estado aumentando. En segundo lugar, se trabajó sobre posibles escenarios futuros de cambio climático mediante un modelo climático simplificado web (<https://c-roads.climateinteractive.org/scenario.html>) que permite “proyectar” cómo evolucionaría la temperatura media planetaria y algunos de los impactos asociados a ese aumento, en función de acciones de mitigación (reducción de emisiones de gases de efecto invernadero) globales. Por último, se trabajó con un mapa interactivo (<https://www.carbonmap.org/>) que permite ver las desigualdades asociadas al cambio climático y, en particular, a los impactos estudiados con el modelo simplificado.

El taller se repitió en el marco de la “Semana de las Ciencias de la Tierra 2022” (FCEN-UBA), en este caso, en modalidad presencial (Figura 2), donde participaron alrededor de 60 personas. Luego se adaptó y dictó en la “Semana de la Enseñanza de las Ciencias 2022” (FCEN-UBA), donde participaron 30 docentes de escuelas de CABA y Buenos Aires, a quienes se les compartió el taller para que lo puedan reproducir en sus aulas.

El taller fue compartido también a escuelas secundarias, en la 47a Feria Internacional del Libro de Buenos Aires, en la Semana de Ciencias de la Tierra 2023 (FCEN-UBA), Semana de la Enseñanza de las Ciencias 2023 (FCEN-UBA) y La Noche de los Museos 2023 (FCEN-UBA).

3) Página Web

A partir de la experiencia de los talleres, se proporcionó una base para el desarrollo de una página web llamada “¿Por qué el Planeta está al Horno?”, que apunta al público juvenil (edad de escolarización secundaria) y para docentes de escuelas secundarias. En la misma, se proporciona una experiencia de taller-web que sea replicable en el aula por parte del público objetivo y de fácil acceso desde un celular, tablet y/o laptop, con guías disponibles para que la experiencia se nutra desde una visión científico-técnica. En la web se propone trabajar con la herramienta C-ROADS, que permite visualizar los impactos a largo plazo según las estrategias climáticas llevadas a cabo en distintos grupos regionales y así comprender el impacto de los compromisos de reducción de emisiones que los países han propuesto en Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Asimismo, se aportan herramientas para el entendimiento de las bases físicas del cambio climático, las políticas de mitigación, las desigualdades asociadas y las acciones individuales y colectivas que se podrían tomar en pos de la adaptación y mitigación al cambio climático.

Link a página web: <https://porqueelplanetaestaalhorno.weebly.com/>



Figura 1: ¿Por qué el Planeta está al Horno? **Izq:** Taller virtual, Junio 2021. **Der:** Taller presencial, Junio 2022.

4) Reflexiones

La implementación de herramientas de popularización tiene como objetivo principal colaborar en una construcción de puentes de conocimiento y/o saberes en los cuales los usuarios, la sociedad, el público puedan participar de manera activa y que sea de fácil acceso. El desarrollo de herramientas de popularización de la ciencia es fundamental en el marco de la problemática socio-ambiental que atraviesa la sociedad global con respecto al cambio climático. Asimismo, es un aporte en el marco de la recientemente aprobada Ley 27621: Ley para la Implementación de la Educación Ambiental Integral en la República Argentina.

Referencias

- CEPAL.2021: Observatorio del Principio 10 en América Latina y el Caribe. [https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/ley-la-implementacion-la-educacion-ambiental-integral-ley-no-27621#:~:text=Espa%C3%B1ol-,Ley%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20la%20educaci%C3%B3n%20ambiental%20integral%20\(Ley,Nacional%20y%20otros%20cuerpos%20legales.](https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/ley-la-implementacion-la-educacion-ambiental-integral-ley-no-27621#:~:text=Espa%C3%B1ol-,Ley%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20la%20educaci%C3%B3n%20ambiental%20integral%20(Ley,Nacional%20y%20otros%20cuerpos%20legales.)
- Fleming, James Rodger, y Janković, Vladimir. 2011: Introduction: Revisiting Klima, *Osiris*, 26(1) 1-16. <https://doi.org/10.1086/661262>
- NIETO GALÁN, Agustí. 2011: Los públicos de la ciencia. Expertos y profanos a través de la historia. Madrid: Fundación Jorge Juan-Marcial Pons Historia, 2011.». *Dynamis: Acta Hispanica ad Medicinae Scientiarumque Historiam Illustrandam*, [en línea], 2012, Vol. 32, Núm. 2, p. 501-5 <https://c-roads.climateinteractive.org/>

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DEL SISTEMA HIDROTÉRMAL PROFUNDO DE BAHÍA BLANCA

Oscar Marcos Zambrano^{1,2}, Emiliano Agustín Fernández, Noelia Cynthia Mamani Apaza¹, Sol Saubidet¹, Tomás De Arteche¹, Agustina D'Amico¹, Hernán Navarro¹, Héctor Adolfo Oстера^{1,3}, Luciano Machain⁴

1. Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FECEN), Departamento de Ciencias Geológicas, Argentina.
2. Instituto Antártico Argentino (IAA), Argentina.
3. DTP Laboratorios S.R.L., Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
4. Universidad Nacional de Rosario (UNR), Facultad de Ciencias Económicas y Estadística (FCECON), Rosario, Argentina.

omzambrano1966@gmail.com; osz@mrecic.gov.ar

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el potencial de producción del Sistema Hidrotermal Profundo (SHP) en el área metropolitana de Bahía Blanca propiamente dicha, mediante la estimación de las reservas de energía térmica.

Para ello se implementó el método volumétrico de estimación de reservas *USGS* "calor *in situ*", en combinación con el método de simulación Monte Carlo. Se determinaron el calor almacenado en el reservorio, el calor recuperable, la potencia térmica neta y la capacidad de generación de energía eléctrica (potencia eléctrica), en función del tiempo de vida de utilización del recurso, considerando variaciones en los factores de recuperación y de conversión.

Las funciones de densidad de probabilidad de los parámetros intervinientes en el cómputo de las reservas, como el área y espesor del recurso, la temperatura del fluido hidrotermal en reservorio y la porosidad de la roca contenedora, entre otras, fueron ajustadas conforme a la información de los valores de medición correspondientes obtenidos en estudios previos hidrogeológicos y petrofísicos.

Las reservas fueron estimadas con niveles de confianza: alto (probabilidad $p > 0.9$), intermedio (probabilidad $p > 0.5$) y bajo (probabilidad $p > 0.1$), en base a las distribuciones de frecuencia relativa obtenidas de las simulaciones numéricas. De este modo, para el área de Bahía Blanca, pudo estimarse un potencial productivo de 25 MW de potencia eléctrica (240 MW de potencia térmica neta) con $p > 0.9$, 80 MW de potencia eléctrica (745 MW de potencia térmica neta) con $p > 0.5$, y 190 MW de potencia eléctrica (1670 MW de potencia térmica neta) con $p > 0.1$, durante un lapso establecido de 10 años de empleo ininterrumpido del recurso, sin restablecimiento del calor *in situ*. Asimismo, el potencial productivo fue caracterizado para diferentes períodos de tiempo de utilización del recurso.

A partir del análisis de los resultados, se concluye que el Sistema Hidrotermal Profundo en el área de Bahía Blanca representa un recurso hidrotermal de significativo potencial energético, y por lo tanto con posibilidad de poder ser empleado como fuente alternativa de abastecimiento de energía térmica y/o eléctrica a la región de Bahía Blanca.

Palabras clave: Sistema Hidrotermal Profundo; Bahía Blanca; Potencial geotérmico; Estimación de reservas; Método volumétrico *USGS* "calor *in situ*"; Simulación Monte Carlo.

CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA DE LAS UNIDADES NEÓGENAS-CUATERNARIAS EN EL SECTOR MEDIO DE LA CUENCA CLAROMECÓ

Ríos Hiriart, G.^{1,2}; Gualde, M.S.^{1,3}; Fornés, M.^{1,3}; Gregorini, C.A.^{1,3}; Kuntz, S.^{1,3}; Weinzettel, P.^{1,4,5}

1. Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff".
2. Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
4. Comisión de Investigaciones Científicas (CIC),
5. Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires (UNCPBA).

gretarios@ihlla.org.ar

Los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), mediante lecturas unidireccionales de la resistividad eléctrica del subsuelo, permiten identificar unidades litológicas, profundidad del nivel freático y de la roca de base, entre otras aplicaciones. El objetivo del presente trabajo ha sido identificar y caracterizar la geometría y morfología de las formaciones geológicas de subsuelo que conforman el relleno sedimentario de edad Neógeno y Cuaternario en el sector medio de la cuenca del arroyo Claromecó, provincia de Buenos Aires. Para ello, se realizaron SEV aplicando la configuración simétrica tetraelectrónica de Schlumberger con aperturas de las alas de 800 y 1600 m. Las curvas de campo se interpretaron mediante el software Zohdy, para obtener las resistividades verdaderas de las capas. A través del uso de IPI2Win se logró un mejor ajuste del modelo resistivo y se parametrizó con pozos de 70 m de profundidad presentes en el área de estudio. Para integrar la información se realizaron transectas longitudinales y transversales al arroyo. Por último, se confeccionaron mapas tridimensionales de cada capa reconocida. Como resultado del análisis se identificaron de base a techo, 8 capas con diferentes resistividades. En el modelo 3D se observa un descenso paulatino del techo de las capas hacia el SO, mientras que las transectas nos muestran la variación en el espesor de las mismas. Se logró desarrollar un modelo geológico del subsuelo en el área cercana al Primer Brazo de los Tres Arroyos, correlacionable con el esquema estratigráfico local y regional. Se reconoció localmente la geometría y morfología de las unidades neógenas-cuaternarias que conforman el relleno sedimentario de la cuenca media del arroyo Claromecó.

APLICACIÓN DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS PARA EL ESTUDIO DE SUELOS AGRÍCOLAS EN URUGUAY: UN ANÁLISIS ACTUALIZADO

J.A. Ramos^{1,3}, N. Bonomo², P. Martinelli², C. Garcia⁴, A. Quincke⁴, A. Berger⁴, Á. Otero⁴, A. Borrero³, P. Gamazo³ y L. Bessone³

1. Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Argentina.
2. Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, IFIBA/CONICET, Buenos Aires, Argentina.
3. Departamento del Agua, CENUR LN, Universidad de la República, Uruguay.
4. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.

ing.ramosja@gmail.com

La evaluación de la variabilidad espacial de diversas características del suelo y su estado de degradación puede realizarse mediante métodos tradicionales como muestreos, calicatas y/o penetrometría, entre otras. Sin embargo, la aplicación de estos métodos para obtener datos representativos de áreas extensas puede ser un trabajo arduo debido al tiempo que implican estos métodos. A su vez, la excavación de calicatas causa alteraciones locales significativas en el suelo, y tanto los muestreos como las mediciones con penetrómetro brindan información puntual que dificulta la creación de una cartografía continua del suelo. Por lo tanto, surge la necesidad de explorar otras metodologías.

Los métodos geofísicos aplicados representan una alternativa para determinar las propiedades físicas de las rocas y suelos en forma indirecta y no destructiva. Estas propiedades, obtenidas indirectamente desde la superficie del terreno, pueden correlacionarse con datos obtenidos directamente a través de estudios petrofísicos realizados en muestras o con otras variables de interés.

Este trabajo presenta los avances logrados en el desarrollo de una metodología empírica destinada a diagnosticar el estado de un suelo agrícola de un experimento de largo plazo iniciado en 1963 (de la Estación Experimental La Estanzuela del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay) con historiales contrastantes de uso y manejo. Se utiliza el método de inducción electromagnética (EMI), la tomografía de resistividad eléctrica (ERT), el georradar (GPR) y métodos convencionales.

Palabras Clave: Agricultura de precisión, inducción electromagnética, ERT, GPR, Uruguay.

MECANISMO FOCAL A PARTIR DE INVERSIÓN DEL TENSOR MOMENTO COMPLETO DE FORMA DE ONDA COMPLETA DE EVENTOS VT EN EL VOLCÁN COPAHUE

Andrés D'Onofrio^{1,2}, Gabriela Badi^{1,3} y Simone Cesca⁴

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata (FCAG-UNLP), La Plata, Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
3. Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV-SEGEMAR), Buenos Aires, Argentina).
4. GFZ German Research Centre for Geosciences (Potsdam, Alemania).

adonofrio@fcaglp.unlp.edu.ar

A fin de realizar un monitoreo volcánico eficiente para la prevención del riesgo es importante analizar la actividad sísmica, que proporciona información sobre la dinámica volcánica interna. Para lograr esto, además de localizar los terremotos y cuantificar la energía sísmica liberada, es necesario analizar los procesos sismogénicos, mediante la inversión de los modelos de fuente de los terremotos responsables de las señales sísmicas registradas. En la zona volcánica andina este análisis ha sido escaso, debido a que se ha llevado a cabo solo para terremotos moderados o grandes a una escala regional y solo mediante el análisis de los mecanismos focales con modelos Doble-Cupla a partir del modelado de las polaridades de las ondas P. En este trabajo se propone hacer un análisis de las fuentes sísmicas, mediante la inversión del tensor momento sísmico completo a partir del modelado de las formas de onda para eventos de tipo Volcano-tectónicos (VT) en el Volcán Copahue (VC). Mediante la determinación de los tensores momento sísmico se pretende investigar la dinámica y sismotectónica de las zonas de interés y, por lo tanto, ayudar a la mitigación del riesgo volcánico.

El primer paso de dicho análisis se enfoca en el desarrollo de un catálogo sísmico local para la zona de estudio, que incluya tiempo origen, localización y magnitud. A partir de este catálogo se puede clasificar la sismicidad y encontrar sismos de interés que, contrastados con otros datos (GPS, InSAR, visual, geoquímica, etc.), permitan un estudio exhaustivo de la dinámica del volcán. Además, este catálogo facilitará la selección de eventos que serán usados para la determinación del mecanismo focal. Para ello, se realizó un proceso de detección y localización automática de eventos, a partir de la aplicación del software de uso libre *qseek*. *qseek* implementa técnicas de Machine Learning, aplicadas con el módulo PhaseNet, para generar funciones características aptas para identificar las llegadas de las ondas sísmicas P y S, las cuales son contrastadas con las funciones de tiempos de viaje calculadas para una grilla 3D. El análisis conjunto de los datos de la red sísmica se lleva a cabo según un enfoque denominado *Waveform Migration and Stacking*, que permite detectar un evento sísmico y localizar su hipocentro, en correspondencia del máximo de la semblanza, usando los datos de todas las estaciones de la red. *qseek* implementa además una búsqueda *octree*, que consiste en una densificación progresiva de la grilla una vez detectado un evento, lo cual permite una localización más precisa. Para este trabajo se aplicó esta técnica a datos registrados entre mayo de 2018 a diciembre de 2020, período de interés por el nivel de actividad sísmica y eruptiva que presentó el VC. Se muestran los primeros resultados relativos al catálogo sísmico. Algunos de estos eventos son contrastados con otras técnicas de detección y localización ya realizadas por el OAVV.

Una vez conseguido el catálogo, se seleccionaron eventos que cumplieran las siguientes condiciones: ubicación lo más centralizada posible respecto a las estaciones, un alto valor de semblanza, indicador de la magnitud del evento y de la claridad de detección en las diferentes estaciones. Los eventos seleccionados se usaron para la inversión de forma de onda completa a fin de obtener el tensor momento completo,

usando el software Grond (Heimann et al., 2018). Grond permite determinar los parámetros de la fuente sísmica (localización del centroide, magnitud momento, tensor momento sísmico) mediante el modelado y ajuste de las observaciones (p. ej.: formas de onda, espectros de amplitud y/o amplitudes de ondas P y S). Además, se proporcionan incertidumbres de los parámetros de la fuente sísmica, obtenidas a través de un bootstrap bayesiano. En este trabajo se muestran los primeros resultados relativos a los tensores momento sísmico en VC, que se discuten en el ámbito de la sismotectónica regional y la actividad volcánica.

Referencias

Heimann, S.; Isken, M.; Kühn, D.; Sudhaus, H.; Steinberg, A.; Vasyura-Bathke, H.; Daout, S.; Cesca, S.; Dahm, T. (2018): Grond - A probabilistic earthquake source inversion framework. V. 1.0. GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/GFZ.2.1.2018.003>

ANÁLISIS DE LA RESPUESTA SISMOELÉCTRICA DE UN ACUÍFERO DURANTE LA INFILTRACIÓN DE UN CONTAMINANTE DENSO NO ACUOSO

Azul Senn¹, Fabio Zyserman^{1,2} y Santiago Solazzi^{2,3}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – Universidad Nacional de La Plata
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
3. YPF Tecnología S. A. (Y-TEC)

azulsenn@fcaglp.unlp.edu.ar

El estudio de la región superficial de la corteza terrestre, particularmente de medios parcialmente saturados, es de gran importancia en la geofísica aplicada y ambiental. Encontramos en la naturaleza diversas situaciones que los involucran, por ejemplo, acuíferos o reservas donde tienen lugar cambios hidrológicos, variaciones de salinidad o derrames de contaminante y regiones con presencia de hidrocarburos y/o gas en contacto con agua de formación. Detectar la presencia y observar la evolución de las fases fluidas que saturan el subsuelo utilizando técnicas no invasivas puede ser útil entonces para indagar en este tipo de ambientes y procesos, reconocerlos y posicionarnos frente a decisiones de intervención cuando sea necesario. En este contexto, una mayor comprensión de los efectos que tienen las distribuciones irregulares de fluidos porales en los datos geofísicos podría permitir una caracterización más realista del subsuelo.

En un medio poroso, los minerales que conforman la pared poral suelen estar cargados eléctricamente, dando lugar a que se forme una doble capa eléctrica (DCE) entre la roca y el fluido. La DCE da lugar a ciertos fenómenos electrocinéticos, por ejemplo, la generación de un campo eléctrico debido a un gradiente hidráulico en microescala. Este es el principio de la sismoeléctrica, donde hay acoplamiento de fenómenos mecánicos y electromagnéticos generados por el paso de una onda sísmica que desplaza al fluido poral, y, por lo tanto, las cargas que se encuentran en suspensión dentro de él. Existe un gran interés por comprender cómo varían estas firmas sismoeléctricas en presencia de dos fluidos, ya que podríamos utilizarlas para el estudio de medios parcialmente saturados. Si deseamos conocer el efecto que tienen las distribuciones realistas de fluidos inmiscibles en las propiedades de las ondas sismoeléctricas, debemos realizar un análisis que contemple los procesos de flujo bifásico con su descripción sismoeléctrica asociada. Para esto necesitamos herramientas que nos permitan generar modelos de roca parcialmente saturada según las leyes de flujo bifásico en medios porosos además de otras que nos proporcionen el cálculo de la respuesta sismoeléctrica asociada.

En este trabajo estudiamos la relación entre las características de los procesos de flujo y su respuesta sismoeléctrica utilizando modelado numérico, prestando mayormente atención a la respuesta de interfase, que brinda información que no es visible con la sísmica. Este análisis está abordado a partir del estudio de la infiltración de un contaminante denso no acuoso en un acuífero inicialmente saturado con agua para distintos períodos de infiltración (50, 100 y 200 días). Los resultados permiten observar la sensibilidad del método sismoeléctrico para describir, además de la geometría del subsuelo, la distribución de fluidos irregulares en el medio. Esto nos permite concluir que mediante el método sismoeléctrico es posible mapear el frente de infiltración del contaminante.

CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO SÍSMICO REGISTRADO EN LA ESTACIÓN SISMOLÓGICA DE LA PLATA

María Laura Rosa¹

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.

mlorosa@fcaglp.unlp.edu.ar

El ruido sísmico está conformado por perturbaciones oceánicas y atmosféricas aleatorias debidas a la dispersión causada por las heterogeneidades de la Tierra sólida. Su espectro está dominado por dos picos microsísmicos, el primario (PM) y el secundario (SM). El ancho, amplitud y período en el que prevalecen, dependen de la localización de la estación respecto a la costa, de la latitud y de la época del año ya que su generación está directamente vinculada con la actividad oceánica, dependiente a su vez de la ocurrencia de tormentas. El PM se genera en aguas someras mediante la interacción de las olas del océano con el fondo marino. La energía de estas olas es convertida en energía sísmica a través de las variaciones verticales de presión o cuando rompen en la playa. El mecanismo de generación del SM está relacionado con la superposición de olas de igual período, pero con dirección de propagación opuesta. Esta superposición genera ondas superficiales en el suelo oceánico que oscilan al doble de la frecuencia de las ondas originales. Los microsismos se propagan a través de la corteza y el manto, predominantemente como ondas Rayleigh, experimentando poca atenuación, por lo que son capaces de propagarse cientos de kilómetros dentro del continente. En ausencia de terremotos, son las señales más fuertes registradas por las estaciones sismológicas.

El avance en la identificación de parámetros medibles dentro del ruido sísmico y el entendimiento de su naturaleza permiten extraer medidas de polarización en función de la frecuencia, siendo ésta una herramienta importante para localizar, caracterizar y monitorear microsismos inducidos por el clima a través de atributos independientes. Debido al cambio continuo en la actividad de las olas oceánicas, cada estación sísmica registra simultáneamente ondas Rayleigh de fuentes múltiples. Por consiguiente, se han desarrollado métodos estadísticos para analizar la polarización del microsismo e investigar las fuentes. En este trabajo cuantificamos, analizamos y caracterizamos el ruido sísmico registrado en la estación sismológica LPA ubicada en la ciudad de La Plata, provincia de Buenos Aires, mediante atributos de polarización, determinando su dirección y las diversas fuentes presentes. Se investigan, además, posibles variaciones estacionales para los distintos backscimites. Como los microsismos están dominados por ondas Rayleigh, nos enfocamos en señales polarizadas elípticamente. Para determinar los atributos de polarización usamos un método basado en el método de coherencia direccional, que permite obtener una representación en el dominio tiempo-frecuencia de estos atributos, a través de una medida del grado de polarización.

INTEGRACIÓN DE DATOS AEROMAGNÉTICOS E IMÁGENES SATELITALES PARA CARACTERIZAR LOS CONTROLES ESTRUCTURALES DEL SISTEMA GEOTERMAL EN VALLE DEL CURA, SAN JUAN, ARGENTINA

Franco E. Mancini¹, Marcos A. Sánchez¹, Florencia Ahumada¹, Gabriela Alvarez¹, Antonella Sottile¹

1. CONICET. Instituto Geofísico Sismológico Ing. Volponi (IGSV).

francomancini@hotmail.com

El segmento de subducción horizontal pampeano-chileno (27°S - 33°S) se caracteriza como una de las áreas con mayor sismicidad cortical en la región y por la ausencia de actividad volcánica reciente. Está representado por un sistema de antepaís fragmentado como resultado de una historia tectónica particular, el cual abarca varias provincias geológicas, entre ellas la Cordillera Frontal y sus variados sectores.

Por encima de los 3800 m.s.n.m., el Valle del Cura conforma un segmento morfoestructural al norte de la Cordillera Frontal en territorio argentino, entre las latitudes 29°S - 30°S y longitudes 69°15'O - 70°00'O. Su estructura presenta gran complejidad debido a cambios en el régimen de esfuerzos durante la evolución andina y la somerización miocena de la placa oceánica, parcialmente controlados por las fábricas de basamento pre-andinos (Ramos et al., 2002). El estilo estructural dominante es de piel gruesa y se caracteriza por la inversión tectónica de fallas extensionales previas, que producen una morfología intrincada con fallas de alivio y cambios abruptos en la polaridad. Espesas secuencias volcánicas terciarias muestran una compleja historia magmática.

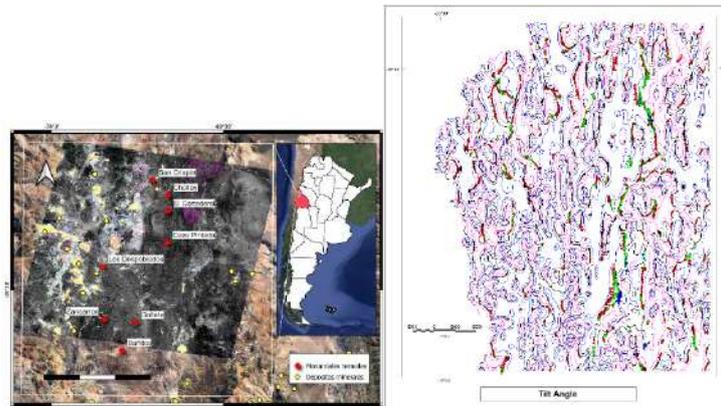


Figura 1: [Izq.] Valle del Cura, manantiales termales y depósitos minerales. Zonas de alteración hidrotermal inferidas a partir de la imagen ASTER. [Der.] Filtro de Ángulo Tilt y Deconvolución de Euler.

En este contexto de una litósfera “fría” por ausencia de volcanismo activo, resulta particularmente interesante estudiar la evolución del hidrotermalismo a través del tiempo en esta región, que ha llevado al desarrollo de depósitos minerales de gran relevancia económica y de manantiales geotermales activos en la actualidad. La zona de estudio presenta numerosas áreas termales con una tendencia regional visible N-S (Fig. 1). En la región central del valle, se destacan los manantiales hipertermales de Los Despoblados con aguas calientes cuyas temperaturas alcanzan los 80 °C en superficie y 150 °C en profundidad, según el modelo termal propuesto.

La actividad geotermal en Valle del Cura sugiere la existencia de estructuras permeables enraizadas en la corteza que favorecen la migración de fluidos termales desde niveles profundos hasta niveles superficiales fríos. Asimismo, la distribución de las áreas termales y estructuras que dominan la morfología del valle denotan un fuerte control estructural. Un sistema de fallas enraizadas en niveles corticales medios que

favorecen infiltración de agua en profundidad sumada a pequeñas anomalías térmicas vinculadas a actividad magmática y moduladas por neotectónica, pueden generar sistemas hidrotermales profundos y sistemas geotermales de media-alta entalpía. (Moeck, 2014).

En este trabajo realizamos un análisis desde el punto de vista geofísico para un mejor entendimiento de los controles estructurales del sistema hidrotermal, la distribución espacial de las zonas de surgencia y de los esfuerzos imperantes en el valle. Mediante el uso de datos geofísicos aéreos e imágenes satelitales, es posible identificar la geometría en profundidad de los lineamientos que controlan el sistema a escala regional y local. Asimismo, es posible mapear las zonas de alteración vinculadas a la actividad geotermal.

El análisis de las estructuras y la adquisición de datos en terreno en Alta Cordillera ha sido considerablemente restringido en comparación a otros segmentos debido a su altura y morfología escarpada. Por este motivo, los datos magnéticos aéreos en combinación con imágenes satelitales ASTER resultan muy útiles para una primera aproximación a la zona de estudios, además de ser eficiente al ser aplicados en grandes áreas. El método magnético es ampliamente usado en exploración geotérmica con un enfoque regional, ya que permite reconocer estructuras o cuerpos geológicos que no afloran en superficie, así como también estimar la profundidad de las fuentes magnéticas. Las imágenes satelitales ópticas proveen información útil para realizar un mapeo geológico de detalle y resaltar asociaciones mineralógicas de interés, particularmente en regiones donde la vegetación es escasa y los afloramientos quedan expuestos. Los modelos digitales de elevación (DEM) permiten resaltar lineamientos a partir de los rasgos morfológicos del terreno, los cuales en muchos casos coinciden con estructuras geológicas o zonas de debilidad.

Los datos aeromagnéticos, provienen de los catálogos comerciales del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) y del IGSV. Las líneas de vuelo con tendencia N-S fueron equiespaciadas 1 km, mientras que las líneas de control E-O fueron ejecutadas cada 7,5 km, permitiendo obtener una grilla con muy buena resolución espacial. Los datos magnéticos fueron procesados mediante el software Geosoft Oasis Montaj (2010). En primer lugar, se separó la componente residual de la anomalía magnética a partir de distintos métodos de procesamiento (continuación analítica ascendente, Butterworth). Dicha anomalía residual se asocia generalmente a fuentes magnéticas someras y a cortas longitudes de onda.

Al separar la fuente objetivo, se aplicó una batería de filtros en el dominio espacial y frecuencial a la anomalía residual obtenida, tales como RTP, derivadas direccionales, señal analítica, Tilt y SPI (Fig. 1). El análisis de los resultados obtenidos por cada filtro permitió entre otras cosas, remover la asimetría causada por la dirección no vertical de la magnetización. Además, permitieron identificar o inferir lineamientos y estructuras en subsuelo (Salem et al., 2008) así como estimar la profundidad de fuentes magnéticas. Estos resultados permiten entender de manera integral este sistema geotérmico y su entorno geológico.

Las imágenes multispectrales ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) cubren un área cuadrada de 60 km de ancho y un amplio rango del espectro electromagnético mediante tres subsistemas (VNIR, SWIR y TIR) con un total de 14 bandas y una resolución espacial de 15 m, 30 m y 90 m, respectivamente. El análisis de la reflectancia superficial permite reconocer características geológicas, litológicas y altas concentraciones de minerales o grupos minerales de alteración como argílica, filica, propilítica y silícica. Se aplicaron diferentes métodos de procesamiento de imágenes y herramientas de mapeo para obtener información adicional al mapa geológico de la bibliografía actual y definir zonas de alteración hidrotermal específicamente asociados a la actividad geotermal (Fig. 1). Algunas de las técnicas comúnmente empleadas usando las bandas espectrales son: combinaciones RGB, cocientes de bandas, estimación de índices mineralógicos, etc.

Otro objeto de estudio fue el modelo digital de elevación de resolución espacial de 12,5 m (NASA, ALOS-PALSAR Advanced Land Observing Satellite). Estas imágenes fueron procesadas con el software ENVI-Classic, con el objetivo de resaltar lineamientos tanto regionales como locales. Para las zonas de interés, se realizaron diagramas de rosa, vinculando así los lineamientos obtenidos con las orientaciones predominantes de las estructuras que controlan la surgencia de aguas termales que contribuyen a entender el régimen de esfuerzos.

Los resultados preliminares indican que las zonas de surgencia estarían asociadas a fallas inversas reactivadas. Las estructuras regionales actuarían controlando la migración de fluidos hasta profundidades máximas de 5-6 km. Posiblemente, estas manifestaciones en Valle del Cura estarían vinculadas a estructuras con orientación N-S en combinación con un importante lineamiento de dirección NO-SE en la región, asociado también a los depósitos minerales de la región. Si bien las áreas geotermales corresponden a un mismo sistema geotermal, estas subregiones tendrían controles estructurales particulares, por la influencia de las estructuras regionales y la presencia del basamento en profundidad sobre el campo de esfuerzos en la región.

Referencias

- Moeck, I. (2014). Catalog of geothermal play types based on geologic controls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 867-882. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.032>
- Ramos, V. A., Cristallini, E. O., & Pérez, D. J. (2002). The pampean flat-slab of the central andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(1), 59-78. [https://doi.org/10.1016/s0895-9811\(02\)00006-8](https://doi.org/10.1016/s0895-9811(02)00006-8)
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, D., Smith, R., & Ravat, D. (2008). Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives. *Geophysics*, 73(1), L1-L10. <https://doi.org/10.1190/1.2799992>

DESCARGAS ELÉCTRICAS EN ERUPCIONES ANDINAS UTILIZANDO LA WORLD WIDE LIGHTNING LOCATION NETWORK

Daiana Baissac^{1,2}, Gabriela Nicora^{1,2,3}, Gabriela Badi^{3,4}, Eldo Ávila⁵

1. Centro de Investigaciones en Láseres y sus aplicaciones, Unidad de Investigación y Desarrollo Estratégico para la Defensa, CONICET. Villa Martelli, Argentina.
2. CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351FAECI). Buenos Aires, Argentina.
3. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.
4. OAVV, SEGEMAR, Buenos Aires, Argentina.
Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FAMAF). UNC, IFEG-CONICET. Córdoba, Argentina.

dmbaissac@gmail.com

Durante las erupciones volcánicas explosivas material particulado y gases son liberados hacia la atmósfera, incluyendo una importante cantidad de vapor de agua. La interacción de las partículas emitidas puede resultar en la carga eléctrica de las mismas, generando descargas eléctricas en distintas partes de la pluma volcánica. Estas descargas se pueden clasificar en tres tipos: descargas de conducto (o “vent discharges”), descargas cercanas al conducto (o “near-vent lightning”) y descargas de pluma (o “plume lightning”). Estas últimas tienen características muy similares a las descargas eléctricas meteorológicas y hacen posible registrarlas de manera remota utilizando los sistemas de localización ya empleados para la detección de descargas eléctricas durante tormentas meteorológicas. El desarrollo de redes de detección de descargas eléctricas globales, como es la World Wide Lightning Location Network (WWLLN), ha demostrado ser de utilidad en la detección de erupciones explosivas y la presencia de ceniza volcánica en la atmósfera, evidenciando la conexión entre cambios en la dinámica de la erupción y la generación de descargas eléctricas.

Este estudio considera los volcanes con actividad explosiva entre 2005 y 2022, para determinar si presentaron actividad eléctrica detectable por la WWLLN. Se toma como inicio del estudio el año 2005 en base a que es el primer año completo para el que existen datos de la red global WWLLN, aunque la eficiencia de detección antes de 2009 es baja. También se emplean los datos de erupciones disponibles en el Programa Global de Vulcanismo (GVP) del Instituto Smithsonian el cual proporciona información detallada sobre cada erupción, en conjunto con los de diversas agencias como son la VAAC (Volcanic Ash Advisory Center), ONEMI (Oficina Nacional de Emergencia - Ministerio del Interior de Chile), OVDAS (Observatorio Volcánico de los Andes del Sur, SERNAGEOMIN, Chile) y OAVV (Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica, SEGEMAR). De esta manera se completan detalles como la emisión de ceniza, altura de la pluma volcánica, cambios sísmicos y presencia de incandescencias, para las erupciones bajo estudio.

Durante el período analizado, un total de 11 volcanes tuvieron reportes de actividad eruptiva, en algunos casos repetidas veces. Para determinar si dichas erupciones presentaron algún evento eruptivo con presencia de actividad eléctrica, se buscó en los reportes respectivos la mención de plumas volcánicas con alturas considerables (en general mayores a 2 km de altura desde la cima), la presencia de ceniza, o cualquier otro parámetro enunciado que sugiera emisión de material eyectado. Para esos eventos, se graficaron los datos de la WWLLN en una ventana de 2° x 2° de latitud y longitud con el volcán bajo estudio en el centro. En el caso de que la información no fuera precisa, se realizó lo mismo tanto para el día reportado como para algunos días posteriores y anteriores. En los casos donde se detectó actividad eléctrica dentro de la ventana de observación, se tuvo en cuenta la evolución temporal de las descargas eléctricas y la

posición en las que fueron registradas respecto al centro volcánico. Si la actividad eléctrica se generó en zonas lejanas al centro eruptivo o no coincidían con la dirección de la pluma volcánica reportada, se descartaron como generadas por la erupción. Esto se hizo principalmente cuando no se contaba con imágenes satelitales.

Como resultado, encontramos que en tres erupciones fueron registradas descargas eléctricas por parte de la WWLLN asociadas al evento volcánico. Se trata de las erupciones del volcán Chaitén (2008), el complejo volcánico Puyehue – Cordón Caulle (2011) y el Calbuco (2015), todas con un VEI mayor a 3. Un panorama de cómo se presentó la actividad eléctrica para estos tres casos se muestra en la Figura 1. Aquí se muestran las descargas detectadas por la WWLLN para los principales días de la erupción en cada caso (Figura 1.a). Si bien no descartamos las diferencias existentes en la dinámica eruptiva presente en cada caso, lo que conlleva diferencias en la actividad eléctrica presente, es claro que la diferencia en la eficiencia de detección de la red es considerable y no permite la comparación de las erupciones de manera cuantitativa. Sin embargo, aún se pueden resaltar algunos aspectos generales a partir de estas observaciones. Si se observan las figuras de la localización de las descargas eléctricas respecto al volcán, en la Figura 1.b, se nota una tendencia en la distribución de las descargas coincidente con la dirección de propagación del tope de la pluma volcánica. Así mismo, en la Figura 1.b también se destaca una mayor densidad de descargas dentro de un radio menor a 50 km (con casi un 90% de las descargas registradas en todos los casos) distante desde el centro del volcán y entre un 70% y 90% de las descargas se hallan dentro de los 20 km de distancia al mismo. Algo interesante de destacar es que, aunque la WWLLN no diferencia entre descargas a tierra o intra-nube, las descargas distantes pueden suponer un riesgo para la población, especialmente durante evacuaciones. Por ejemplo, durante la erupción del Puyehue-CC, las descargas eléctricas afectaron a Villa la Angostura y San Carlos de Bariloche, ubicadas cerca de 80 km del centro del volcán. Considerando la electrificación relacionada con el Calbuco, se observan más descargas a distancias superiores a 60 km. Aunque no se conocen casos de incidentes humanos por estas descargas, existe en la bibliografía reportes de fatalidades por descargas eléctricas volcánicas. Por lo tanto, es útil considerar las descargas eléctricas volcánicas al planificar protocolos de evacuación.

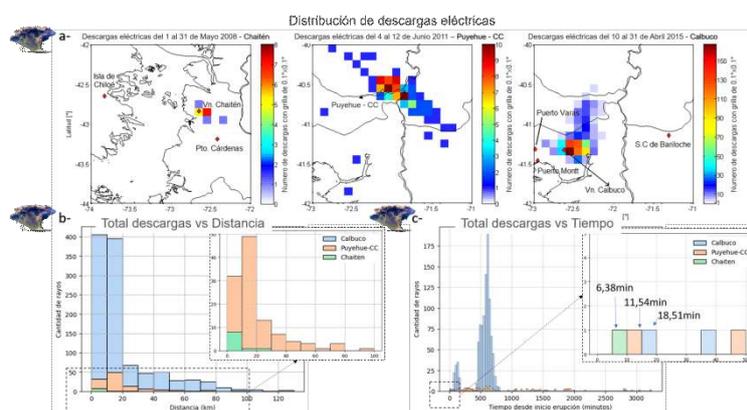


Figura 1: a- Distribución de la actividad eléctrica registrada con la WWLLN para las 3 erupciones volcánicas que mostraron actividad eléctrica relacionada entre el 2005 y el 2022; de izquierda a derecha: Chaitén (2005), Puyehue - Cordón Caulle (2011) y Calbuco (2015). b- Variación de la cantidad de descargas detectadas con la distancia al centro eruptivo. c- Cantidad de descargas eléctricas detectadas en función del tiempo transcurrido desde el comienzo de la erupción. En los dos últimos casos, las figuras en miniatura muestran un zoom de la región del gráfico principal encuadrado.

ILUMINANDO ESTRUCTURAS SUBSUPERFICIALES EN GALÁPAGOS MEDIANTE INTERFEROMETRÍA SÍSMICA

Boero, E.^{1,2}; Casas, J.A.^{1,2}; Badi, G.A.^{1,3}; Draganov, D.⁴

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
3. Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).
4. Department of Geoscience and Engineering, Delft University of Technology, The Netherlands.

eugeniaboe@gmail.com

El archipiélago de Galápagos (Ecuador) es un conjunto de islas volcánicas ubicadas en el Océano Pacífico que deben su origen y diversidad a la interacción de la Placa de Nazca con el punto caliente de Galápagos y el Centro Divergente de Galápagos. Se sabe que en esa área existen al menos 22 volcanes, varios de los cuales muestran actividad frecuente, conformando una de las regiones volcánicas con mayor actividad actual. Debido al movimiento de la placa, los volcanes activos más jóvenes están localizados hacia el oeste (Harpp y Geist, 2018). Entre estos, en el sur de la Isla Isabela, se encuentran el volcán Sierra Negra y el volcán Cerro Azul, objetos de estudio de este trabajo.

Numerosos análisis han buscado caracterizar el subsuelo debajo de los volcanes Sierra Negra y Cerro Azul, sin embargo, aún quedan muchos detalles por discernir, tales como la cantidad y profundidad de las zonas de acumulación de magma o mejores estimaciones de discontinuidades más profundas. El objetivo de este trabajo es mejorar la comprensión de dichas estructuras del subsuelo utilizando la técnica Interferometría Sísmica (IS), la cual reúne métodos de alta resolución basados en el análisis de los patrones de interferencia de la energía sísmica registrada por una o varias estaciones. La IS es una técnica que permite recuperar la respuesta del suelo (Función de Green) a partir del uso de fuentes artificiales o naturales, y ha sido aplicada con éxito a fases globales, telesísmicas, microsismos y ruido sísmico ambiental obteniendo imágenes del subsuelo a diferentes escalas (Wapenaar et al., 2010).

Cuando la energía liberada por una fuente sísmica en el subsuelo arriba a la superficie, esta es reflejada dirigiéndose nuevamente hacia el subsuelo. Los sismogramas que registren dicha energía contendrán entonces el arribo de ondas directas seguidas de múltiples reflexiones entre la superficie y las discontinuidades del subsuelo. Existe una variante de la IS, llamada IS mediante autocorrelaciones (ISmA) que permite separar estos arribos al disponer de energía propagándose en forma (sub)vertical, eliminando la información de las ondas directas y atenuando gran parte del ruido incoherente. De esta manera, permite estimar la profundidad de las discontinuidades reflectoras de la energía propagada.

En este trabajo, particularmente, se aplicó ISmA a eventos regionales y telesismos registrados en las 18 estaciones pertenecientes a la red temporal SIGNET, ubicadas en torno a los volcanes Sierra Negra y Cerro Azul, con el objetivo de obtener información de las estructuras profundas bajo las estaciones, por ende, de los sistemas volcánicos del área. Esto implicó una cuidadosa selección de eventos y un procesamiento implementado a partir de un programa de desarrollo propio en lenguaje libre (Boero, 2023). Dada la gran cercanía entre un grupo de estaciones y pese a las variaciones laterales propias de esta zona altamente compleja, a partir de cierta profundidad los resultados para esas estaciones no difieren significativamente. En base a ello, se analizaron los resultados de cada estación individualmente para profundidades menores y se combinaron para las mayores.

La descripción del subsuelo debajo de las estaciones analizadas implica una contribución al conocimiento de la estructura subsuperficial de los volcanes Sierra Negra y Cerro Azul, para contribuir no sólo al entendimiento de su dinámica volcánica y su vinculación con la tectónica regional, sino como fuente de información para metodologías dedicadas a la estimación del riesgo asociado a los eventuales procesos eruptivos que en ellos se originen.

Referencias

- Boero, E. (2023). Iluminando la estructura interna de Galápagos mediante Interferometría Sísmica. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/154746>
- Harpp, K., y Geist, D., 05 2018, The Evolution of Galápagos Volcanoes: An Alternative Perspective: *Frontiers in Earth Science*, 6, 50
- Wapenaar, K., Draganov, D., Snieder, R., Campman, X., y Verdel, A., 09 2010, Tutorial on seismic interferometry. Part I: Basic principles and applications: *Geophysics*, 75, 75A195–75209.

ATENUACIÓN INTRÍNSECA Y DE SCATTERING EN EL VOLCÁN COPAHUE: RESULTADOS PRELIMINARES

M.C. Novak Merquel^{1,2}, J. Prudencio³ y G.A. Badi^{1,4}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata (FCAG-UNLP), La Plata, Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
3. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España.
4. Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV-SEGEMAR), Buenos Aires, Argentina.

celestenovak@hotmail.com

Una de las características principales de la dinámica volcánica es la interacción de fluidos (magma, agua y gases) con el entorno rocoso, originando diversos tipos de señales sísmicas cuyo adecuado análisis permite modelar los procesos asociados, elaborar pronósticos efectivos y mitigar el riesgo ante erupciones.

Los suelos volcánicos, altamente heterogéneos y anelásticos, modifican a las ondas sísmicas mediante procesos de scattering y absorción intrínseca. Es por esto que estudiar la atenuación de la energía en el camino sísmico, y separar sus efectos, resulta fundamental para conocer las características del medio, recuperar información relevante de las fuentes sismovolcánicas y así hacer un mejor seguimiento de la evolución de los procesos eruptivos.

El factor de calidad, Q , es un parámetro que caracteriza el efecto de la atenuación sísmica. La atenuación intrínseca, Q_i , es responsable de la pérdida de energía sísmica en forma de calor y deformación permanente y depende de los parámetros reológicos del medio. Por otro lado, la atenuación por scattering, Q_s , representa la interacción de las ondas con las heterogeneidades del medio produciendo una mayor redistribución espacial de la energía sísmica cuanto más heterogéneo o fracturado sea el medio de propagación. El Q de ondas coda, Q_c , interpreta el origen de la energía de las ondas que conforman la parte final del sismograma. En sismogramas de eventos cercanos, el factor Q varía a su vez con la frecuencia. Este comportamiento parece deberse al efecto de las heterogeneidades concentradas en la parte más somera de la Tierra.

Nuestro objetivo es evaluar el factor de calidad de ondas coda, Q_c , y separar los efectos de absorción intrínseca, Q_i , y de scattering, Q_s , en el volcán Copahue ($37^\circ 51' 32''$ S, $71^\circ 10' 16''$ O), primero en el ranking de riesgo relativo de Argentina y decimoctavo en el ranking de Chile. El volcán Copahue inició en 2012 un proceso eruptivo que continúa hasta la fecha con emisiones leves freáticas y desgasificación recurrentes, así como actividad sísmica asociada al sistema hidrotermal y a los rasgos geológicos locales y regionales. En esta oportunidad se presentan resultados preliminares analizando un enjambre de eventos volcanotectónicos registrados por las estaciones sismológicas de la red binacional de vigilancia volcánica del Volcán Copahue (OAVV-SEGEMAR, OVDAS-SERNAGEOMIN) (ver figura) el día 22 de febrero de 2019.

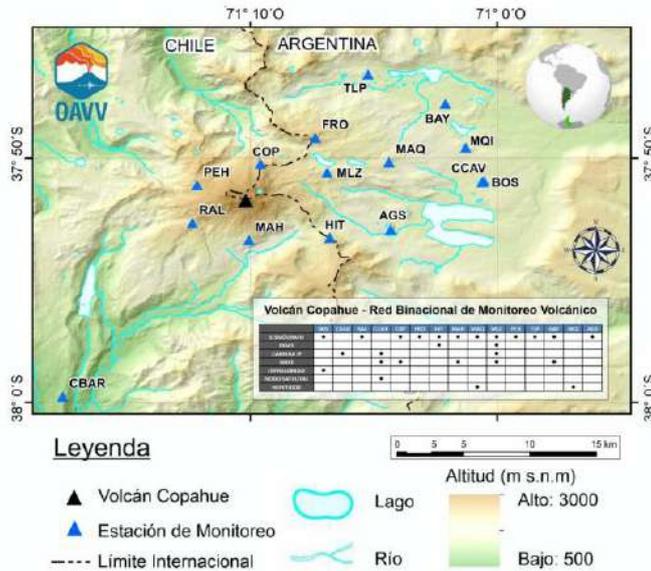


Figura. Se muestra la distribución de las estaciones que actualmente registran en el volcán Copahue. Tomada de la web del Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV).

Para el cálculo de Q_c se aplicó el modelo de back-scattering simple (SBS por sus siglas en inglés) propuesto por Aki y Chouet (1975), mientras que el modelo de difusión de Wegler y Lühr (2001) se empleó para calcular Q_i y Q_s . El modelo SBS supone a las ondas coda como ondas S dispersadas por una única heterogeneidad en el camino fuente-estación. A pesar de su simpleza es el más empleado para ajustar el decaimiento temporal característico de los sismogramas. El modelo de difusión plantea que la transferencia de energía sísmica a lo largo del sismograma está dada por un scattering fuerte donde la energía se fracciona de diferente manera hacia adelante y atrás cuando se interpone una heterogeneidad en el camino de la onda. Además, este modelo incluye los efectos de la transformación de la energía en calor. Con este modelo es posible separar la contribución de la atenuación intrínseca de la atenuación por scattering analizando la forma de onda completa. Para evaluar la dependencia de la atenuación con la frecuencia, ambos modelos se aplicaron a los datos filtrados para diferentes bandas de frecuencias, centradas en 4, 8, 12, 16 y 20 Hz atendiendo al contenido espectral de las señales registradas.

Los primeros resultados obtenidos para el Volcán Copahue muestran el predominio de los procesos de scattering por sobre la absorción anelástica, esta última aproximada por la atenuación de ondas coda, como era de esperarse en sistemas volcánicos con sistema hidrotermal asociado y fuerte control tectónico regional.

Referencias

Aki, K. y Chouet B. (1975), Origen de las ondas de coda: fuente, atenuación y efectos de dispersión, *J. Geophys. Res.*, 80 (23), 3322–3342, doi: 10.1029/JB080i023p03322

Wegler, U. y Lühr, B. G. (2001), Scattering behaviour at Merapi volcano (Java) revealed from an active seismic experiment, *Geophysical Journal International*, Volume 145, Issue 3, Pages 579–592, <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2001.01390.x>

INTERPRETACIÓN SÍSMICA DEL FRENTE DE DEFORMACIÓN EN EL SECTOR SUR DE LA FAJA PLEGADA Y CORRIDA DEL AGRIO, CUENCA NEUQUINA

A. Stickar¹, M. Turienzo^{2,3}, T. Duran^{1,4}, V. Alfano², F. Lebinson^{2,3}

1. Departamento de Física, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.
2. Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.
3. Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR), Universidad Nacional del Sur-CONICET, Bahía Blanca, Argentina.
4. Instituto de Física del Sur (IFISUR), Universidad Nacional del Sur-CONICET, Bahía Blanca, Argentina.

agustinstickar@gmail.com

La faja plegada y corrida (FPC) del Agrio se sitúa en la región preandina de Neuquén, limitada en sentido N-S por las localidades de Las Lajas y Chos Malal (Figura 1a). Es uno de los sectores con mejor calidad de afloramientos y en ella se puede ver gran parte de la secuencia sedimentaria mesozoica de la Cuenca Neuquina. Su origen se asocia a la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana y su deformación tuvo lugar durante dos etapas compresivas, una en el Cretácico Tardío – Paleógeno y otra en el Mioceno medio – superior (Ramos y Folguera 2005). Posee un estilo de deformación mixto debido a la presencia de estructuras que involucran al basamento (de piel gruesa o “*thick-skinned*”) y otras que solo afectan a la cubierta sedimentaria (de piel fina o “*thin-skinned*”), lo cual permite dividirla en una zona interna al oeste, con predominio de estructuras de piel gruesa, y una zona externa al este con dominio de estructuras de piel fina. Particularmente, el segmento sur de la FPC del Agrio, aproximadamente entre los 38° 10' y 38° 30' S, es el menos estudiado desde el punto de vista estructural (Irastorza *et al.*, 2019).

El área de trabajo abarca cerca de 2000 km² comprendidos entre los paralelos 38° 06' y 38° 30' S y los meridianos 69° 39' y 70° 15' O, en los alrededores de la localidad de Bajada del Agrio (Figura 1b). Allí se pueden reconocer numerosos anticlinales y sinclinales con rumbos dominantes NNE y NS y vergencias tanto al este como al oeste, que conforman un frente de deformación fuertemente compresivo. A su vez, dichos pliegues se encuentran elevados diferencialmente por el desarrollo en profundidad de estructuras de piel gruesa.

El análisis estructural del frente de deformación andino se hizo sobre una base de datos de subsuelo consistente de 42 líneas sísmicas 2D y 7 pozos exploratorios (Figura 1b), que fueron cargados y calibrados en el software *OpendTect Pro V7.0.2*. La mayoría de las líneas sísmicas muestran una gran complejidad estructural, fundamentalmente por el desarrollo de los apretados pliegues de piel fina, a pesar de lo cual es posible identificar reflectores profundos que evidencian la posición y elevación de los bloques de basamento subyacentes. Por otro lado, en toda la zona se adquirieron numerosos datos estructurales relevados en campo que permitieron elaborar un mapa geológico regional y reconstruir la geometría de los pliegues de piel fina (observados con dificultad en las líneas sísmicas). El objetivo principal de esta investigación es caracterizar el estilo estructural del frente de deformación en el segmento sur de la FPC del Agrio y evaluar las variaciones a lo largo del rumbo de los pliegues más destacados y del basamento en subsuelo. Con este fin, se integró toda la información de subsuelo en el software *Opendtect* para realizar una interpretación sísmica en tiempo (TWT) y elaborar mapas isócronos de distintos horizontes geológicos de interés (ej., tope de las Formaciones Auquilco, Tordillo, Vaca Muerta, etc). Se seleccionaron tres líneas sísmicas, una al norte, otra al centro y otra al sur dentro de la zona de trabajo (Figura 1b), sobre las cuales se confeccionaron tres secciones estructurales balanceadas, sustentadas

adicionalmente por los datos tomados en campo, cuya restitución mediante el método de la conservación de longitud de líneas (Dahlstrom 1969) permitió obtener y comparar los acortamientos tectónicos en la región. En síntesis, el análisis regional de todas las estructuras presentes en el área, combinando datos y metodologías geofísicas y estructurales, permite comprender el desarrollo tridimensional de la zona externa de la FPC del Agrio. El estudio detallado de este sector contribuye al entendimiento de la evolución tectónica del frente orogénico andino y sirve de sustento para futuras interpretaciones de estructuras prospectivas en búsqueda de hidrocarburos en el ámbito de la faja plegada y corrida neuquina y la cuenca de antepaís adyacente.

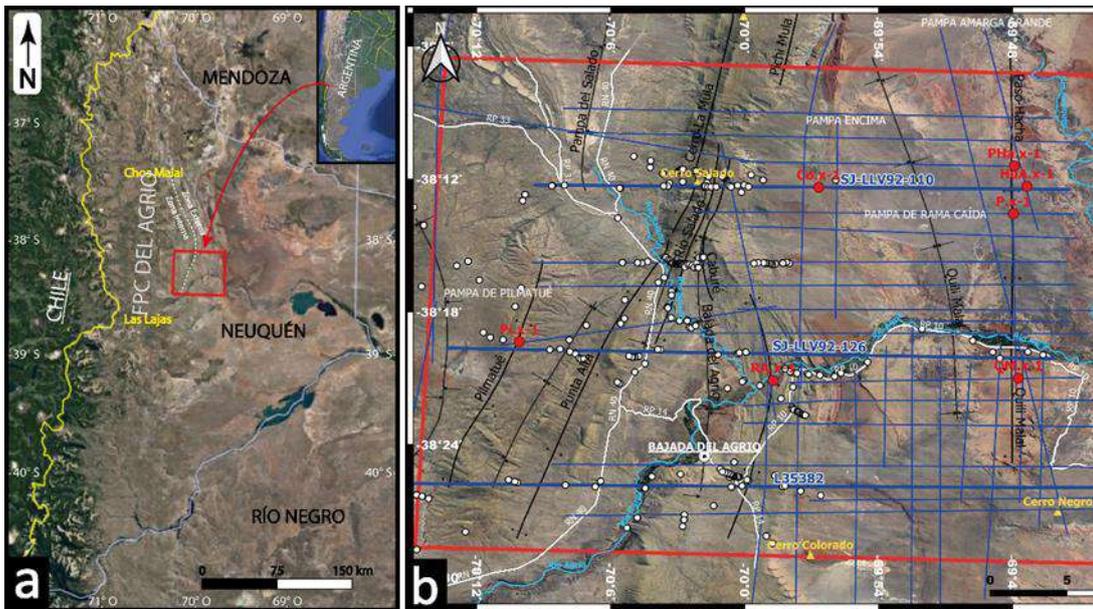


Figura 1: (a) Ubicación de la zona de estudio, en la provincia del Neuquén, Argentina. (b) Detalle del área de trabajo con las líneas sísmicas (azul), los pozos exploratorios (rojo) y los datos de campo relevados (blanco). Imágenes tomadas de Google Earth.

Referencias

- Dahlstrom, C. D. A. 1969. Balanced cross sections. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6, 743-757.
- Irastorza A., Turienzo M., Peralta M. F., Irastorza M., Zavala C. y Sánchez N. 2019. La estructura del frente de deformación de la faja plegada y corrida del Agrio a los 38°20'S, Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 76 (3), 213-228.
- Ramos, V. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: Constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En: Spalletti, L., Veiga, G., Schwarz, E. y Howell, J. (eds.) *The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*, Geological Society, Special Publications 252: 15-35. London.

ASIMILACIÓN DE HUMEDAD DE SUELO EN LA REGIÓN CHACO-PAMPEANA USANDO DATOS SATELITALES DE SMAP Y SMOS

Obregón, Fabricio Matías; Pulido, Manuel y Lucini, María Magdalena

1. Universidad Nacional del Nordeste / CONICET.
2. Instituto de Modelado e Innovación Tecnológica, Argentina.

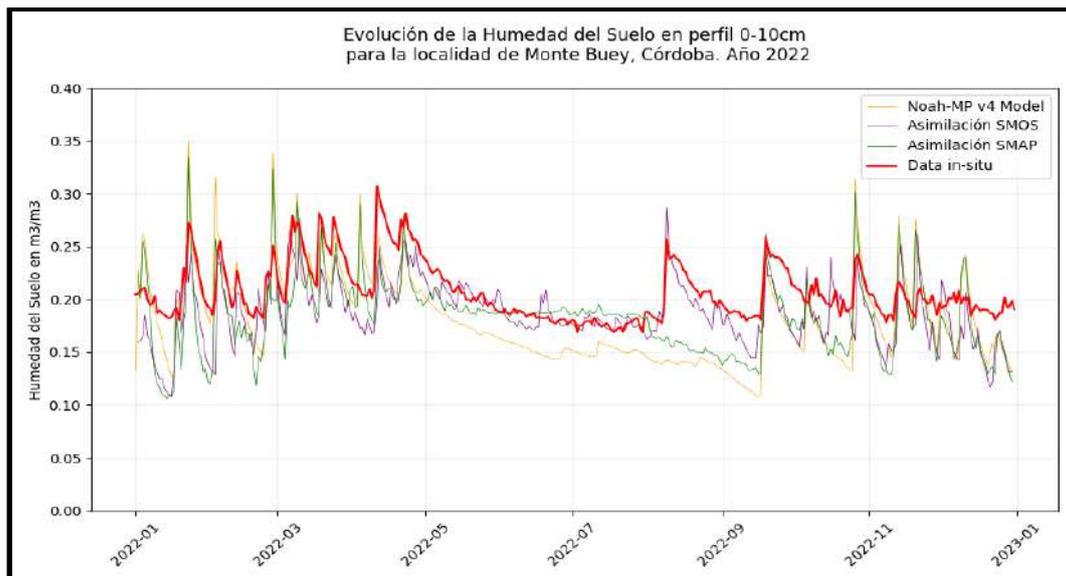
matti.obregonf@gmail.com

La humedad del suelo tiene un importante rol climático, impactando en la disponibilidad de agua, particularmente en zonas áridas y regulando la evapotranspiración y el flujo de humedad atmosférica. Afecta en forma directa a la producción agrícola desarrollada en la región, ya que la humedad del suelo es uno de los elementos más relevantes en el ciclo hidrológico. Posee una compleja variabilidad espacio-temporal en sintonía con los procesos que la involucran y por ende se dificulta su modelación producto de su dependencia de procesos atmosféricos (Santanello Jr. et al., 2011).

Por lo tanto, es importante que la humedad del suelo sea inferida a través de observaciones. La existencia de estaciones perfiladoras in-situ, aunque de alta precisión, resulta geográficamente limitada ya que solo obtiene información en una localización específica. Por el contrario, los sensores remotos equipados a bordo de satélites permiten obtener información de grandes áreas con relativamente buena resolución (espacial y temporal), como, por ejemplo, las misiones SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity*) de la Agencia Espacial Europea y SMAP (*Soil Moisture Active-Passive*) de la NASA. A pesar de estas ventajas, los datos satelitales, en general, se encuentran limitados a la órbita de sus pasadas, las mediciones son ruidosas y precisan de la corrección de sesgos, por lo que se requiere de metodologías para procesar la información obtenida y que ésta sea de utilidad.

El presente trabajo propone la utilización de la asimilación de datos basada en el filtro de Kalman por ensambles (Carrassi et al., 2018), la cual es una técnica de Monte Carlo secuencial basada en la hipótesis de gaussianidad de las incertezas, que permite combinar datos de modelos predictivos con distintas fuentes observacionales. Aquí se aplica a un modelo de suelo (Noah-MP LSM), con el cual se llevan a cabo simulaciones mediante el framework LIS de la NASA (Kumar et al., 2006). Con ello se genera un ensamble de estados que representa la evolución de la humedad del suelo a lo largo de un período y se combina con datos con el objeto de realizar estimaciones probabilísticas de la humedad del suelo. Para esto se utilizan como forzantes atmosféricos los datos de reanálisis de MERRA-2.

En los experimentos de asimilación conducidos se evalúan las técnicas de corrección del sesgo observacional en las condiciones de sequía extrema ocurridas en el año 2022 para la región de análisis.



En la figura se muestra la evolución temporal de la humedad del suelo (en m^3/m^3) en el sitio de Monte Buey, Córdoba. Se representan los promedios de los ensambles correspondientes a dos experimentos de asimilación con datos de SMAP (verde) y de SMOS (púrpura) llevados a cabo para el año 2022. Asimismo, se representan los pronósticos del modelo de suelo NOAH-MP sin práctica de asimilación de datos (naranja) y el promedio de un conjunto de mediciones in-situ de la red telemétrica de humedad de suelo (RTHS) de la CONAE utilizada para validación en el sitio (rojo), la cual ha estado midiendo en forma continua y progresiva por un período superior a 10 años. Cabe aclarar que este último es utilizado para realizar la validación de los resultados y no se incluye como dato de procesamiento en el sistema de asimilación.

Se aprecia que durante el evento de sequía (de mayo a agosto del 2022) el comportamiento de secado observado con la red in-situ es capturado por la asimilación de datos de SMOS, mientras que una anómala corrección de sesgo en la asimilación de SMAP provoca una sobreestimación de la humedad del suelo. En el periodo posterior (septiembre de 2022), no se registran observaciones satelitales de SMAP ni forzantes de precipitaciones, por lo que se extiende el período de sequía en la estimación obtenida.

En la presentación, también se mostrarán los resultados obtenidos usando este sistema en los experimentos de asimilación para las localidades de General Villegas, Provincia de Buenos Aires y Villa Ángela, Provincia del Chaco, comparando la performance del sistema en estos sitios.

Referencias

- Carrassi, A., Bocquet, M., Bertino, L., & Evensen, G. (2018). Data assimilation in the geosciences: An overview of methods, issues, and perspectives. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(5). <https://doi.org/10.1002/wcc.535>.
- Kumar, S. V., Peters-Lidard, C. D., Tian, Y., Houser, P. R., Geiger, J., Olden, S., Lighty, L., Eastman, J. L., Doty, B., Dirmeyer, P., Adams, J., Mitchell, K., Wood, E. F., & Sheffield, J. (2006). Land information system: An interoperable framework for high resolution land surface modeling. *Environmental Modelling & Software*, 21(10), 1402-1415. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.004>.
- Santanello Jr., J. A., Peters-Lidard, C. D., & Kumar, S. V. (2011). Diagnosing the Sensitivity of Local Land–Atmosphere Coupling via the Soil Moisture–Boundary Layer Interaction. *Journal of Hydrometeorology*, 12(5), 766-786. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-10-05014.1>.

MODELADO DEL POTENCIAL ESPONTÁNEO DURANTE ENSAYOS DE FRACTURACIÓN HIDRÁULICA

Luis Guarracino¹, Damien Jougnot², Nadine Hagg³, Eva Schill³

1. CONICET, Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas de la UNLP
2. Sorbonne Université, CNRS, EPHE, UMR 7619 METIS, 75005 Paris, France
3. Karlsruhe Institute of Technology, Germany

luisg@fcaglp.unlp.edu.ar

La fracturación hidráulica (conocida usualmente como *fracking*) es una técnica de geo-ingeniería que consiste en la inyección de agua a muy alta presión en un pozo con el fin de producir fracturas en una formación geológica para aumentar su permeabilidad. Esta técnica es generalmente utilizada para la estimulación de la producción de hidrocarburos en reservorios no convencionales y también para aumentar la producción de energía hidrotermal. A pesar de su utilidad, la fracturación hidráulica puede ocasionar un impacto ambiental negativo asociado a la contaminación de acuíferos o a un aumento de la sismicidad local (Tamburini-Beliveau et al., 2022).

Estudios recientes han demostrado que durante un ensayo de fracturación hidráulica se genera una nítida señal de potencial espontáneo que puede ser medida con relativa facilidad y utilizada para el monitoreo del ensayo. La señal se considera que tiene un origen electrocinético y que es producida por la interacción del flujo de agua con la doble capa eléctrica (EDL, por sus siglas en inglés) existente en la interfaz sólido-líquido de las microfracturas. Durante el proceso de inyección, el agua arrastra las cargas eléctricas que se encuentran en la capa móvil de la EDL produciendo un desbalance que da lugar a un potencial eléctrico denominado potencial electrocinético.

En el Äspö Hard Rock Laboratory de Suecia se han realizado ensayos experimentales de fracturación hidráulica a 410 metros de profundidad en una roca granítica. La inyección de agua se realizó en varias etapas en las que se incrementaba gradualmente la presión del agua hasta alcanzar la fracturación de la roca. El ensayo fue monitoreado con sismógrafos y con un arreglo de 10 electrodos impolarizables con un espaciamiento de 5 metros ubicados a unos 45 metros del punto de inyección (Zimmermann et al., 2019). Las señales de potencial espontáneo observadas en el experimento alcanzaron amplitudes de cientos de mV y desfases temporales con los pulsos de inyección de aproximadamente 16 minutos.

Para modelar el potencial electrocinético se suele utilizar un coeficiente de acople (C_e) que vincula las variaciones de presión de agua con las diferencias de potencial eléctrico. La confiabilidad de los resultados dependerá en gran medida de este coeficiente cuya expresión más general depende únicamente de las propiedades del fluido. En este trabajo se presenta una técnica de monitoreo de la fracturación hidráulica basada en el modelado del potencial electrocinético que será utilizado para analizar los ensayos realizados en el Äspö Hard Rock Laboratory.

El flujo de agua se simula con un código unidimensional de elementos finitos que contempla las variaciones temporales de la permeabilidad de la roca producidas por la fracturación. La inyección de agua se modela con una condición de borde tipo Dirichlet dada por los valores de presión medidos durante el ensayo (ver $f(t)$ en Figura 1). Con este procedimiento se simuló los valores de presión en los puntos del dominio donde se ubicaron de manera aproximada los 10 electrodos del experimento.

Para poder calcular las diferencias de potencial electrocinético entre los electrodos (ΔV) se propone una expresión del coeficiente de acople C_e válido para rocas fracturadas. El coeficiente se deriva a partir de la expresión del exceso de densidad de carga efectiva para rocas fracturadas recientemente propuesto por Guarracino y Jougnot (2022). En este caso, el coeficiente C_e depende explícitamente de la apertura efectiva de las fracturas y de la conductancia eléctrica superficial.

Finalmente, a partir de los valores de presión simulados y la expresión de C_e para rocas fracturadas se calculan las diferencias de potencial electrocinético ΔV entre los electrodos. En la Figura 1 se muestran las señales de potencial ΔV estimadas con la técnica propuesta tomando como referencia el electrodo más alejado del punto de inyección.

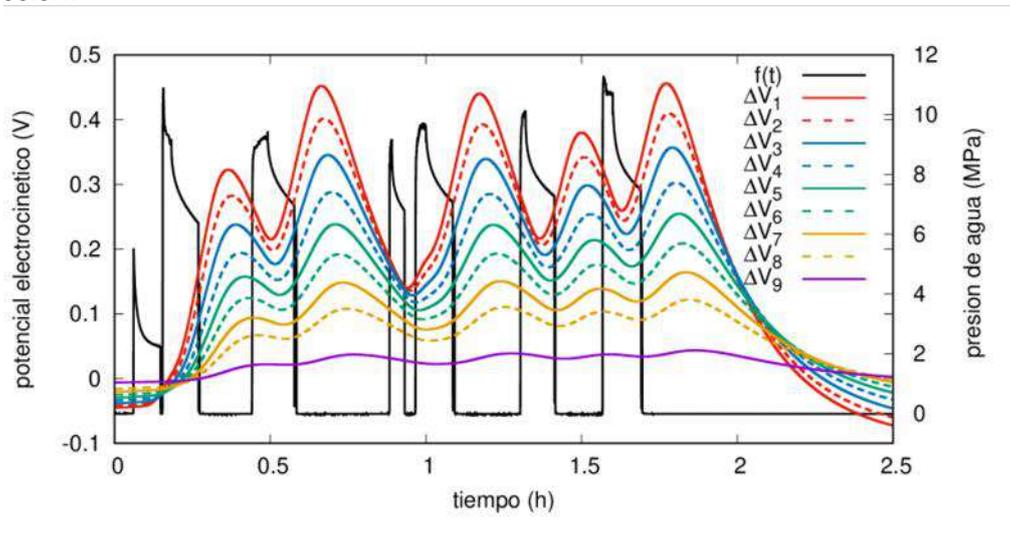


Figura 1: Diferencias de potencial electrocinético (ΔV) entre electrodos y presión de agua inyectada $f(t)$.

Las señales electrocinéticas simuladas poseen amplitudes y desfases temporales similares a los del potencial espontáneo medido durante el ensayo experimental. En primer lugar, estos resultados confirman el origen electrocinético de la señal de potencial espontáneo observada. Por otra parte, el modelado propuesto sienta las bases de una técnica de monitoreo específica para los ensayos de fracturación hidráulica que resulta no invasiva y factible de realizar con instrumental de bajo costo.

Referencias

- Tamburini-Beliveau, G., Grosso-Heredia, J.A., Béjar-Pizarro, M., Pérez-López, R., Portela, J., Cismondi-Duarte, M., Monserrat, O., 2022. Assessment of ground deformation and seismicity in two areas of intense hydrocarbon production in the Argentinian Patagonia. *Sci Rep* 12, 19198. doi.org/10.1038/s41598-022-23160-6.
- Guarracino, L., Jougnot, D., 2022. A fractal model for effective excess charge density in variably saturated fractured rocks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127(3):e2021JB022982, 2022.
- Zimmermann, G., Zang, A., Stephansson, O., Klee, G., Semiková, H., 2019. Permeability Enhancement and Fracture Development of Hydraulic In Situ Experiments in the Äspö Hard Rock Laboratory, Sweden. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52(2):495–515.

MIGRACIÓN KIRCHHOFF POR MÍNIMOS CUADRADOS: CONSIDERACIONES PARA EL PROCESO

Nicolás Tessone¹, Juan I. Sabbione^{1,2} y Mauricio D. Sacchi³

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
2. CONICET, Argentina.
3. Department of Physics, University of Alberta, Canadá.

nicotessone@fcaglp.unlp.edu.ar

El estudio detallado del subsuelo es imprescindible para el aprovechamiento efectivo de los recursos naturales. El método sísmico permite un estudio cualitativo y cuantitativo de la zona de estudio. Mediante la imagen sísmica, se logra caracterizar estructuras y facies geológicas, mientras que el dato pre-apilado posibilita cuantificar propiedades específicas del subsuelo. Por tanto, el método sísmico desempeña un papel fundamental en la exploración y desarrollo de recursos naturales, facilitando la identificación y explotación eficiente de dichos recursos. El proceso de migración del dato sísmico es una etapa clave en el procesamiento de la imagen, ya que permite enfocar la energía sísmica en su lugar de origen, lo cual es crucial para garantizar el buen desempeño del método.

La técnica de migración más utilizada en la industria es la migración por el método de Kirchhoff. Sin embargo, esta técnica presenta dificultades para preservar correctamente las amplitudes de las reflexiones, especialmente en configuraciones geológicas complejas y en condiciones de baja cobertura de los datos. Una solución a esta limitación es plantear la migración como un problema de inversión por mínimos cuadrados (MMC). Dicha técnica busca mejorar la calidad de las imágenes sísmicas. La técnica MMC se basa en construir un modelo de reflectividad del subsuelo a partir de la inversión de los datos sísmicos. Esta inversión puede realizarse por algoritmos iterativos como el método del gradiente conjugado (GC). Para ello, es necesario construir un operador directo que predice el dato sísmico a partir de un modelo de reflectividad, y su correspondiente operador adjunto de migración. La migración Kirchhoff por mínimos cuadrados (MKMC) logra mejorar la preservación de las amplitudes de las reflexiones y mitigar las distorsiones y artefactos presentes en la imagen.

A pesar de los beneficios que ofrece en términos de calidad de la imagen sísmica, la MKMC enfrenta un desafío significativo en su implementación debido a los largos tiempos de cómputo asociados. Esto se debe al hecho de que la solución se obtiene mediante un método iterativo, donde cada iteración del método del GC requiere aproximadamente el doble de tiempo de cómputo que una migración Kirchhoff pre-apilado estándar. Por lo tanto, se estima que los tiempos de cómputo son al menos un orden de magnitud mayor que los requeridos para la migración estándar.

En nuestra implementación de la MKMC, el problema inverso se aborda a través de una función de costo que incluye un término para medir el ajuste y un término de regularización. Este último tiene el fin de garantizar la estabilidad y unicidad de la solución a partir de minimizar la derivada a lo largo del eje de la distancia fuente receptor del modelo. Así se logran penalizar los cambios bruscos dentro de un punto común de imagen.

Dado que el primer término de la función de costo mide el ajuste del dato predicho con el dato original, es posible que procesos aplicados al dato afecten la convergencia, ya que el operador directo puede incluir o no estos procesos para predecir el dato.

En este trabajo se analiza la influencia de diversas etapas del procesamiento sísmico en la convergencia y en los tiempos de cómputo de la MKMC. Se examina el impacto de procesos como el silenciamiento (mute), la corrección por divergencia esférica y el filtro anti-alias. El silenciamiento se utiliza para anular las amplitudes en los primeros

milisegundos de los registros debido a los primeros arribos, el ruido superficial, y el estiramiento de la onda. El operador directo puede tener en cuenta el silenciamiento para no predecir dato en lugares donde el dato fue anulado. La corrección por divergencia esférica compensa la caída de la energía por unidad de área, debido a la propagación de la onda. En la actualidad hay algoritmos de migración Kirchhoff que admiten el dato con la corrección por divergencia esférica aplicada, pero el fenómeno de divergencia esférica está incluido en el operador de migración utilizado para la inversión. El filtro anti-alias se puede incluir en el operador de migración para evitar incorporar señal aliada por difracciones que necesitan un intervalo de muestreo menor en offsets lejanos y/o bajas velocidades. Estos procesos plantean la pregunta de si es preferible que la inversión obtenga un modelo que se ajuste mejor a los datos sin considerar estos fenómenos o que estos fenómenos formen parte de los operadores.

Para este estudio hemos generado datos sintéticos 2D mediante diferencias finitas a partir de velocidades interválicas que responden a un modelo geológico de complejidad media, compuesto por pliegues con una falla inversa. A partir de estos datos se llevaron a cabo una serie de experimentos en los que se realizó una inversión teniendo en cuenta estos procesos por separado y en conjunto. Los resultados se contrastan con una versión que no incluye ninguno de los algoritmos mencionados. En el estudio, se comparan los valores que toma la función de costo en cada iteración, tanto el valor total como la desagregación de cada término. Para finalizar el análisis, se comparan los tiempos de cómputo y la calidad de la imagen.

RADIOGRAFÍA DE MUONES EN EL VOLCÁN COPAHUE: SIMULACIONES NUMÉRICAS DEL FLUJO DE MUONES A GRANDES ALTITUDES, INSTALACIÓN DEL DETECTOR Y DATOS PRELIMINARES

Matías Tramontini^{1,2}, Marina Rosas-Carbajal³, Fabio I. Zyserman^{1,2}, Gabriela Badi², Sebastián García⁵, Jacques Marteau⁴

1. CONICET – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Godoy Cruz 2290, Buenos Aires, Argentina.
2. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque s/n, La Plata, Argentina.
3. Institut de Physique du Globe de Paris, Université de Paris, 1 Rue Jussieu, París, Francia.
4. Institut de physique des 2 infinis de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, 4 Rue Enrico Fermi, Lyon, Francia.
5. SegemAR - Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica, Av. General Paz 5445, San Martín, Argentina.

mtramontini@fcaglp.unlp.edu.ar

La radiografía de muones se ha convertido en una herramienta valiosa para la exploración de estructuras geológicas. Este nuevo método geofísico no invasivo se basa en la detección de muones, partículas subatómicas generadas por la interacción de rayos cósmicos con la atmósfera terrestre. Los muones tienen la particularidad de que interactúan poco con la materia, pero lo suficiente como para ser utilizados para estimar la cantidad de materia que atraviesan dentro de un volcán. La cantidad física estimada por este método es la opacidad, la cual representa la cantidad de materia atravesada por los muones en sus trayectorias y habitualmente se expresa en metros equivalentes de agua (mwe, por sus siglas en inglés), donde 1 mwe corresponde a 1 hg.cm^{-2} . De esta forma, la radiografía de muones consiste en colocar un detector de muones frente al volcán y registrar la cantidad de muones que lo atraviesan por unidad de tiempo y de trayectoria. Luego, a partir de este registro, se pueden obtener radiografías de densidad de masa de grandes volúmenes de roca utilizando un único instrumento de medición y desde una única posición de medida.

El presente trabajo se desarrolla en el marco de una colaboración franco-argentina entre la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata (FCAG-UNLP, Argentina), el Instituto de Física de los 2 Infinitos de Lyon (IP2I, Francia) y el Instituto de Física de la Tierra de París (IPGP, Francia). Como parte de esta colaboración, se llevó a cabo la instalación de un detector de muones en el volcán Copahue (Figura 1). El volcán Copahue se encuentra localizado en la provincia de Neuquén y está considerado como el de mayor riesgo de Argentina, debido su cercanía a las localidades de Caviahue y Copahue ubicadas en un radio de 8 km del cráter del volcán. Además, la región atrae gran cantidad de turistas debido al centro de ski de Caviahue y a la Villa Termal de Copahue, lo cual incrementa de modo significativo la población de ambas localidades. Entre los principales eventos que tuvieron lugar en las décadas recientes se encuentran las erupciones de 1992 y 2000. El último ciclo eruptivo se inició en 2012 y, desde entonces, ha presentado manifestaciones casi de forma permanente, con emisión de ceniza, ocurrencia de explosiones en el interior del cráter y actividad sísmica de magnitud variable.

El detector de muones utilizado fue desarrollado por el Grupo Diaphane (2008-presente, www.diaphane-muons.com). El instrumento consiste en tres paneles de detección montados sobre una estructura que permite orientar el instrumento hacia el volcán. La distancia entre el panel de detección delantero y el panel de detección trasero es de 140 cm. Los paneles de detección se componen de 32×32 barras de centelleadores plásticos, en las direcciones horizontal y vertical, respectivamente. Estas

intersecciones definen 32 x 32 píxeles de 2.5 x 2.5 cm² cada uno. La detección de muones se logra mediante el uso de fibras ópticas con desplazamiento de longitud de onda (WLS, por sus siglas en inglés) que transportan los fotones generados en los centelleadores a los fotomultiplicadores para su detección. Cuando un muón atraviesa los tres paneles del detector en coincidencia temporal, se registra un evento y se reconstruye la trayectoria correspondiente a partir de los conjuntos de píxeles disparados en cada panel. Debido al gran volumen de roca estudiado en relación con el tamaño del detector, admitimos una aproximación puntual del detector, donde se considera que los eventos cuyos píxeles se alinean en la misma dirección relativa corresponden a la misma trayectoria. Estas trayectorias reciben el nombre de ejes de observación del detector. Esta aproximación define un total de 3969 ejes de observación, donde cada uno de ellos corresponde a una dirección angular única. Este procedimiento permite reconstruir las trayectorias de los muones detectados y calcular la densidad de masa promedio de un cuerpo geológico a lo largo de cada una de ellas.

Este trabajo se estructura en dos secciones. En la primera sección, se presentan los resultados de simulaciones numéricas que estiman el flujo de muones a la altitud del volcán Copahue (~2600 msnm), y su comparación con el flujo al nivel del mar. Estas simulaciones se realizaron utilizando el código CORSIKA, el cual permite tener en cuenta, entre otros factores, la altitud de observación, el campo magnético terrestre y el perfil de densidad de la atmósfera. Esta estimación resulta indispensable para realizar una radiografía de densidad de masa del volcán, ya que es necesario contar con una estimación del flujo de muones incidente en el volcán para luego compararlo con el flujo de muones que atraviesa el mismo. En la segunda sección, se presentan los datos preliminares adquiridos por el detector de muones hasta la fecha.

La radiografía de muones presenta diversas ventajas que podrían resultar fundamentales para superar las limitaciones en la caracterización tradicional de los procesos volcánicos superficiales. En primer lugar, posibilita la radiografía de un cuerpo de grandes dimensiones, como lo es un volcán, a través de la instalación de un único instrumento. Además, es un método pasivo, ya que emplea partículas generadas de forma natural en la atmósfera, eliminando la necesidad de inyectar señales en el subsuelo. La integración de la radiografía de muones con otras metodologías podría emplearse para evaluar los riesgos de daños causados por la actividad volcánica. Asimismo, en el futuro, los resultados de este trabajo podrían complementarse con los datos generados por las tareas de monitoreo del Volcán Copahue llevadas a cabo por el Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), contribuyendo así a mejorar la capacidad predictiva de la actividad volcánica y, por ende, las alertas difundidas a la comunidad.



Figura 1: Detector de muones instalado en el flanco del volcán Copahue, provincia de Neuquén, Argentina.

Palabras clave: Radiografía de muones, Muografía, Monitoreo Volcánico, Sistemas Volcánicos

DECONVOLUCIÓN DE EULER 3D PARA IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS CORTICALES EN LAS CUENCAS DE CLAROMECÓ Y COLORADO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

S.E. Vázquez Lucero^{1,2} y C.B. Prezzi^{1,2}

1. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Depto. de Ciencias Geológicas. Buenos Aires, Argentina.
2. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBA). Buenos Aires, Argentina.

sebastian.vazquez@live.com

La deconvolución de Euler 3D ha sido ampliamente utilizada como herramienta para la ubicación aproximada de fuentes magnéticas o gravimétricas. Su principal ventaja radica en la capacidad de proporcionar soluciones realistas y ser la técnica menos sensible al ruido aleatorio. Además, es independiente de la dirección del campo, el buzamiento o rumbo de las fuentes magnéticas, y no se ve afectada por la remanencia magnética de las rocas.

La zona de estudio, situada en el límite suroccidental del Cratón del Río de la Plata (Fig. 1), es una zona de particular interés en la industria hidrocarburífera debido a la presencia de diversas cuencas sedimentarias en el margen pasivo del Atlántico Sur, como la Cuenca de Claromecó y la Cuenca del Colorado. Asimismo, esta área involucra numerosas estructuras de escala litosférica que han sido estudiadas a lo largo de los últimos años, pero aún no han sido identificadas con precisión en cuanto a su ubicación geográfica y alcance en profundidad.

El objetivo de este trabajo consistió en localizar de manera más precisa no sólo la las estructuras litosféricas de la zona de estudio, sino también estimar su profundidad. Para ello, se aplicó la Deconvolución de Euler en 3D a la anomalía magnética de la región (cuencas de Claromecó y del Colorado), compilada por la Dra. Marta Ghidella (com. pers.) a partir de datos aéreos, terrestres, marinos, y satelitales.

Durante el cálculo de la deconvolución de Euler 3D, se utilizaron diferentes anchos de ventana según la longitud de onda de las anomalías asociadas a las estructuras a identificar. También se empleó un índice estructural (SI) relacionado con la geometría de la fuente generadora de la anomalía. En este trabajo, dado el interés en identificar estructuras planares tipo fallas, zonas de cizalla, y zonas de transferencia, se utilizó un SI de 1, que simula diques de gran extensión (planos).

Como resultado, se lograron localizar diferentes estructuras, como la Zona de Cizalla de Sierra de la Ventana (Fig. 1), pudiéndose estimar su profundidad. Sin embargo, otras estructuras de la zona no pudieron ser identificadas mediante este método. Se analizarán las posibles razones por las cuales solo algunas estructuras pudieron ser identificadas, comparándolas con modelos de densidades preexistentes.

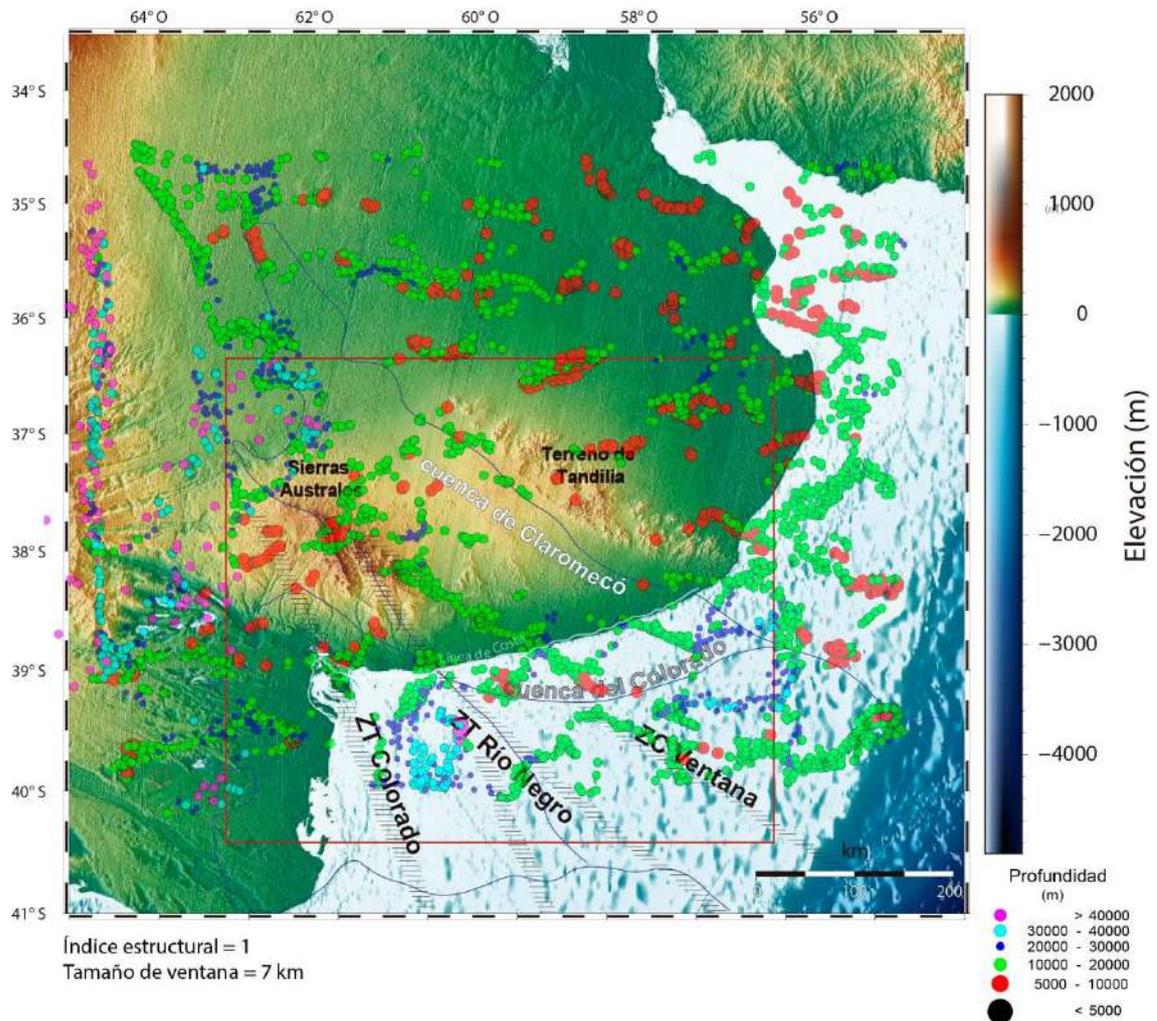


Figura 1: Soluciones obtenidas a partir de la deconvolución de Euler 3D. La zona estudiada corresponde al recuadro rojo.

Palabras clave: anomalía magnética, deconvolución de Euler 3D, cuencas sedimentarias, zonas de cizalla.

ESTUDIO DE LA EMISIÓN ACÚSTICA PRODUCIDA EN LA FRACTURA DE ANDESITAS Y BASALTOS ANDINOS

A. Vesga-Ramírez^{1,2,3}, M.E. Zitto^{4,5}, D. Filipussi^{1,6}, E. Camilion⁷, R. Piotrkowski^{4,8}, P. Zabala Medina⁹, M.P Gómez^{1,3}

1. International Center for Earth Sciences, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, Argentina.
3. Facultad Regional Delta, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina.
4. Departamento de Matemáticas, FIUBA, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
5. Facultad Regional de Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina.
6. Departamento de Física, ECyT-UNSAM, Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, Argentina.
7. YPF-Tecnología, Berisso, La Plata, Argentina.
8. Centro de Matemática Aplicada, ITECA (UNSAM-CONICET), ECyT Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, Argentina.
9. Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.

alejandravesga@cnea.gov.ar

Estudiar la emisión acústica (EA) como método de ensayo no destructivo ha demostrado ser muy valioso para detectar y analizar las ondas elásticas en materiales expuestos a fuerzas externas, generadas en reajustes de las tensiones internas. A partir de los resultados de las mediciones de EA, se puede obtener información sobre la condición del material y los mecanismos de daño que se activan cuando se aplica carga. La EA proporciona así herramientas para la caracterización de la fractura, principal modo de daño en materiales frágiles, y la posible inestabilidad causada por diferentes condiciones de tensión en rocas. Este estudio tiene aplicaciones para el ulterior monitoreo volcánico, con un enfoque específico en la utilización de la EA para caracterizar en laboratorio muestras de rocas (Andesitas y Basaltos) extraídas de los Andes en Argentina. En este trabajo se realizaron ensayos de compresión uniaxial para explorar las propiedades de fractura bajo diferentes condiciones de tensión hasta alcanzar el punto de rotura. Se registraron continuamente las señales de EA durante los ensayos, permitiendo una evaluación integral del proceso de fractura de la roca, incluida la localización tridimensional de microfracturas. Para mejorar la precisión de la localización y minimizar la interferencia del ruido, se empleó una novedosa técnica que utiliza el criterio de información de Akaike (AIC) aplicado a los modos obtenidos mediante la Descomposición Empírica en Modos de Conjunto (EEMD) de las señales de EA. Este enfoque multifacético proporciona una comprensión integral de la dinámica de fractura en rocas volcánicas, ofreciendo herramientas valiosas para la predicción de macro fracturas en rocas y la evaluación de la integridad estructural. Este enfoque avanzado permitió clasificar los modos de fractura mediante parámetros de EA, como FM/RA, entropía, b-value y energía para cada banda de frecuencia. Esta clasificación implicó poder distinguir entre fracturas dominadas por tracción y por corte. El análisis de los eventos de EA acumulados, correlacionados con la curva tiempo-fuerza aplicada, indicó un aumento pronunciado en la tasa de emisión de EA y en la energía en un nivel crítico específico de carga. Este aumento sugirió un daño progresivo en la muestra de roca, relacionado con microfracturas. También, se observó una disminución en la tasa de eventos de EA durante períodos de fuerza constante, indicando cambios en la actividad de fractura a lo largo del proceso de compresión. Destacadamente, las cuentas

acumuladas de eventos de EA surgieron como un indicador importante de daño intermedio en comparación con la energía acumulada, demostrando su potencial para rastrear la evolución del daño inducido por compresión en rocas. Así mismo se presentan los resultados preliminares de una tomografía de rayos X a los dos especímenes de muestras con el fin de validar la localización y el proceso de fractura.

UN SERVICIO DIGITAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE MAGNETIZACIÓN EN ANOMALÍAS ESCALARES DE INTENSIDAD TOTAL

Ana Carolina Pedraza De Marchi^{1,2,3} y Julián L. Gómez^{2,3,4}

1. Centro de Investigaciones Geológicas.
2. CONICET.
3. Universidad Nacional de La Plata.
4. YPF-Tecnología S.A.

cpedrazadm@cig.museo.unlp.edu.ar

Presentamos un servicio digital para el cálculo de la dirección de magnetización desarrollado en código abierto escrito en lenguaje Python. La elección de este lenguaje nos asegura una alta flexibilidad y facilidad de mantenimiento del servicio, permitiendo una rápida adaptación a nuevas exigencias. Además, el servicio se ejecuta en una infraestructura de alto rendimiento y confiabilidad proporcionada inicialmente por un servidor en la nube. Esto promete una mejora continua del servicio y una gran disponibilidad temporal.

El objetivo principal del servicio es permitir a geocientistas especializados en métodos potenciales de prospección estimar la dirección de la magnetización de cuerpos anómalos a partir de registros de campo. Los usuarios interactúan de manera simplificada con el servicio, enviando parámetros de referencia del área y la anomalía magnética escalar de intensidad total grillada, y reciben una respuesta automática con el envío del reporte de los parámetros de interés.

El servicio utiliza para el cálculo numérico dos métodos que emplean el filtro de reducción al polo (RTP) de la anomalía magnética escalar de intensidad total. Uno de estos métodos, denominado máxima correlación (COR), se basa en el algoritmo propuesto por Dannemiller y Li (2006), que optimiza la correlación entre la magnitud del gradiente espacial y el gradiente vertical de la RTP. El otro método, llamado máximo-mínimo (MAX-MIN), utiliza un algoritmo basado en la técnica propuesta por Fedi et al. (1994), que consiste en maximizar los mínimos de la reducción al polo RTP.

El reporte del servicio ofrece al usuario mapas de correlación y de mínimos de la RTP, que pueden ajustarse según las necesidades individuales a partir de parámetros propios, como el rango de los ángulos considerados, el intervalo de muestreo para el ángulo de inclinación magnética y el intervalo de muestreo para el ángulo de declinación magnética.

La guía del servicio se encuentra disponible en la página web de la cátedra de Métodos Potenciales de Prospección (MPP) de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). En este trabajo se presenta el servicio de cálculo y se describen los métodos de estimación utilizados, así como sus alcances y limitaciones e ideas de expansión y desarrollos posteriores.

GENERACIÓN DE DATOS REALISTAS MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PROBABILÍSTICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS DE ROCA

Julián L. Gómez^{1,2} y Emilio Camilión²

1. CONICET, Argentina.
2. YPF Tecnología S.A, Argentina.

julian.l.gomez@ypftecnologia.com

El aprendizaje automático es actualmente una herramienta tecnológica muy versátil de regresión y clasificación de datos reales utilizando transformaciones geométricas altamente no lineales. En YPF Tecnología (Y-TEC), la base de datos disponible para realizar tareas de clasificación supervisada en muestras de rocas suele ser caracterizada por su desbalance de clases y su bajo número de muestras. Adquirir un número mayor de muestras apropiadamente clasificadas por expertos representa una tarea costosa. Por lo general, esta dificultad se intenta resolver por medio de técnicas de aumento de datos, tales como rotaciones de las imágenes de las muestras de roca disponibles. Las estrategias de aumento de datos más difundidas no pueden garantizar que las imágenes obtenidas provengan de la misma distribución que los datos originales. En este trabajo analizamos si las muestras generadas mediante el aprendizaje automático probabilístico permiten entrenar a un clasificador con una precisión superior a la esperada respecto a la base de datos originales. El aprendizaje automático probabilístico permite aproximar la función de densidad de probabilidad bajo la cual se distribuyen datos que han sido recolectados. Realizamos nuestro análisis aplicando un método probabilístico de dos etapas. En una primera etapa, aproximamos el gradiente del logaritmo de la función de probabilidad respecto al dato de entrada. A continuación, utilizamos este campo vectorial para conducir - en el espacio de las imágenes - una muestra inicial distribuida bajo una distribución simple hacia una muestra compatible con la función de densidad de probabilidad de los datos registrados. El gradiente del logaritmo de la función de densidad de probabilidad es aproximado utilizando un método adición y de remoción de ruido aleatorio sobre las muestras disponibles. En la generación de datos, utilizamos una cadena de Márkov de Monte Carlo descrita por una dinámica del tipo Langevin. En un primer análisis, evaluamos la metodología propuesta en la base de datos clásica y de acceso público del *Modified National Institute of Standards and Technology*. Esta base de datos consiste en imágenes de dígitos numéricos. En nuestro experimento tomamos 5000 imágenes de los dígitos de las clases "1" y "7" para realizar clasificación binaria supervisada. Entrenamos una red neuronal para clasificar los dígitos variando la cantidad de muestras por clase utilizadas en la etapa de entrenamiento. Luego empleamos solamente cien muestras por clase y aumentamos los ejemplos de entrenamiento mediante duplicación y mediante transformaciones geométricas sencillas, como rotaciones. La precisión del clasificador aumenta con el número de muestras reales que son utilizadas para entrenar al clasificador. Con un número fijo de muestras de entrenamiento, la mera duplicación de los datos no alcanza para mejorar la precisión del clasificador. Los datos agregados mediante transformaciones geométricas aumentan marginalmente la precisión. Al agregar imágenes generadas por el aprendizaje automático probabilístico, observamos un aumento de la precisión sostenido y que supera a las dos estrategias consideradas. Las muestras generadas permiten alcanzar una precisión mayor a la posible utilizando solamente un número limitado de muestras reales. Esto es de interés, porque indica que es posible obtener un clasificador con una precisión que supere a la disponible para una base limitada de datos reales. Los resultados obtenidos en este primer experimento señalan que la generación de imágenes puede conducir a un aumento en la precisión de un clasificador entrenado bajo aprendizaje supervisado, si se utiliza una técnica de generación de datos realista como la que proponemos en este resumen. Una vez

analizado el problema clásico, implementamos el método sobre una base de datos exclusiva de Y-TEC de imágenes de roca de formaciones geológicas de Argentina, presentado en la Figura 1. Observamos que el incremento en la precisión del clasificador de muestras de roca supera al alcanzado entrenando con un número limitado de muestras reales y supera también al obtenido empleando la estrategia más difundida de aumento de datos.

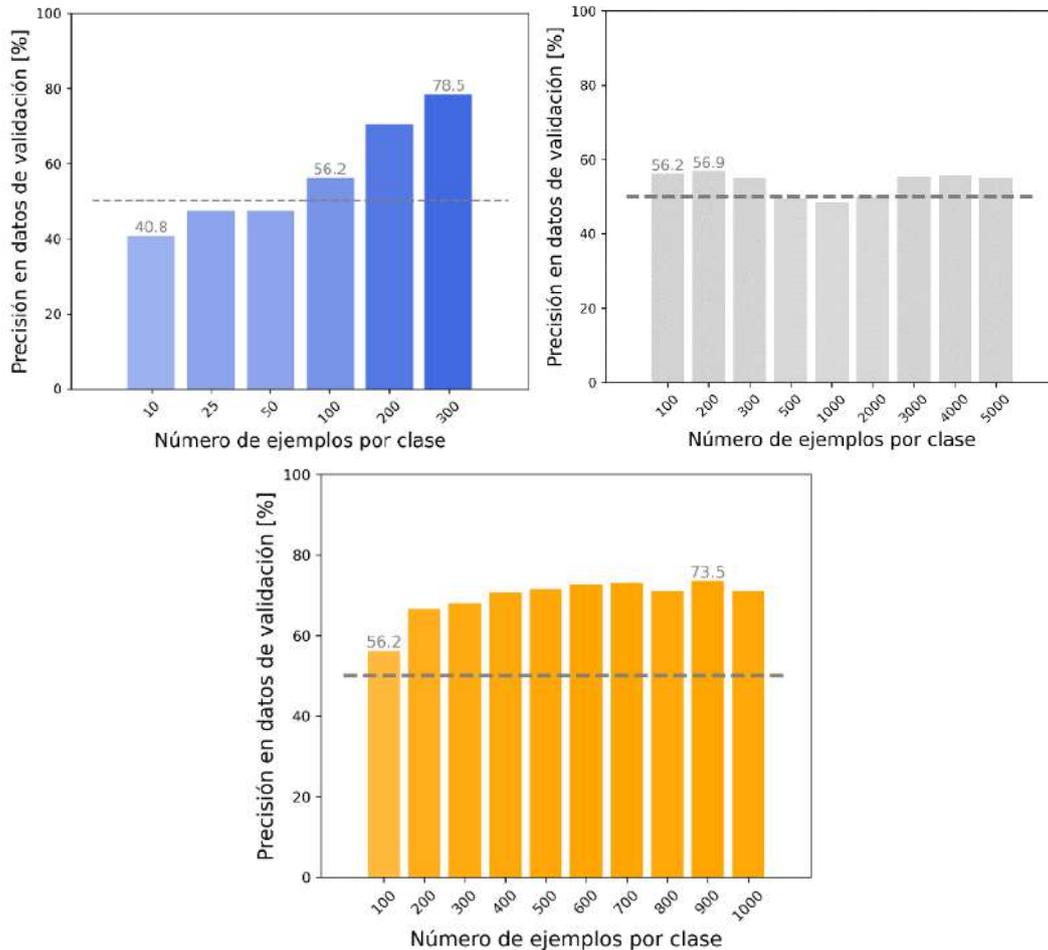


Figura 1: Efecto del número de ejemplos de entrenamiento en la métrica de precisión en un ejemplo de clasificación binaria en imágenes de muestras de roca propiedad de Y-TEC. La línea horizontal señala el valor esperado de la precisión de un clasificador al azar. Izquierda: se utilizan los datos originales aumentando el número de imágenes utilizadas en el entrenamiento. Es posible obtener una precisión cercana al 78% en el grupo de imágenes de validación utilizando todas las imágenes de entrenamiento. Derecha: A partir de las primeras 100 por clase de la base de datos de Y-TEC, se van agregando imágenes de entrenamiento que son obtenidas utilizando operaciones típicas para incrementar bases de datos. La precisión oscila entre la alcanzada utilizando solamente los datos reales. Abajo: las imágenes agregadas son ahora generadas por el aprendizaje automático probabilístico. Es posible aumentar la precisión esperada para un conjunto de 100 muestras reales agregando ejemplos generados por la estrategia propuesta.

UNA HERRAMIENTA PARA ASISTIR EN LA INTERPRETACIÓN DE DATOS DE MÉTODOS POTENCIALES DE PROSPECCIÓN UTILIZANDO EL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PROBABILÍSTICO

Julián L. Gómez^{1,2,4}, Ana Carolina Pedraza De Marchi^{1,3,4} y Claudia L. Ravazzoli^{1,4}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
2. YPF Tecnología S.A., Argentina.
3. Centro de Investigaciones Geológicas de La Plata, Argentina.
4. CONICET, Argentina.

igomez@fcaglp.unlp.edu.ar

El aprendizaje automático es actualmente una herramienta disruptiva para el procesamiento de señales digitales y la toma de decisiones tecnológicas (Goodfellow et al., 2016). En particular, el aprendizaje automático probabilístico permite aproximar la función de densidad de probabilidad bajo la cual se distribuyen las señales registradas (Murphy 2022, 2023). Utilizando el aprendizaje automático probabilístico, proponemos asistir al intérprete de datos de los métodos potenciales de prospección. Mediante la generación de alternativas estadísticamente consistentes con los datos de trabajo, el intérprete puede visualizar variaciones realistas del dato original que le permitan expandir su interpretación. Para ello, el intérprete ingresa al sistema la anomalía de interés. El sistema deduce del dato suministrado una aproximación a su función de densidad de probabilidad. Luego, el sistema permite al usuario seleccionar una región del dato de entrada para generar en ella realizaciones distribuidas bajo la misma densidad de probabilidad de los datos observados. Evaluamos la novedad de los datos generados respecto al dato original en la región seleccionada, permitiendo al intérprete ponderar las propuestas obtenidas. Para estimar el grado de novedad de cada dato generado, utilizamos el coeficiente de correlación entre la grilla generada y la grilla original. Consideramos que los datos introducen una novedad aceptable cuando el coeficiente de correlación es positivo y próximo a 1, indicando que la grilla generada preserva los signos del dato original y está fuertemente asociada a ella. Para inferir la función de densidad de probabilidad, utilizamos un método de adición y de remoción de ruido aleatorio sobre la grilla suministrada. La grilla suministrada es considerada una variable aleatoria multidimensional con una función de densidad de probabilidad bien definida. En la generación de datos, utilizamos un método de Monte Carlo basado en una cadena de Markov conocida como dinámica de Langevin. La dinámica de Langevin permite transformar una muestra aleatoria inicial de una distribución Gaussiana en una muestra distribuida bajo la distribución del dato original. Algunos de los desafíos de la propuesta son el entrenamiento de un método de aprendizaje automático probabilístico no supervisado con una sola base de datos y la limitación en el *hardware* y el tiempo de cómputo que supone utilizar el método en una computadora personal. Una variación de nuestra propuesta puede independizar al intérprete del método de interpolación elegido y de la distribución espacial original de los registros de campo. La metodología también podría utilizarse para asignar una probabilidad a los datos generados. Implementamos la metodología en el lenguaje de programación Python y presentamos experimentos en datos sintéticos y en datos de campo de los métodos potenciales de prospección. La Figura 1 muestra un dato de campo de anomalía escalar de intensidad total magnética (TFA) y algunas de las versiones plausibles generadas.

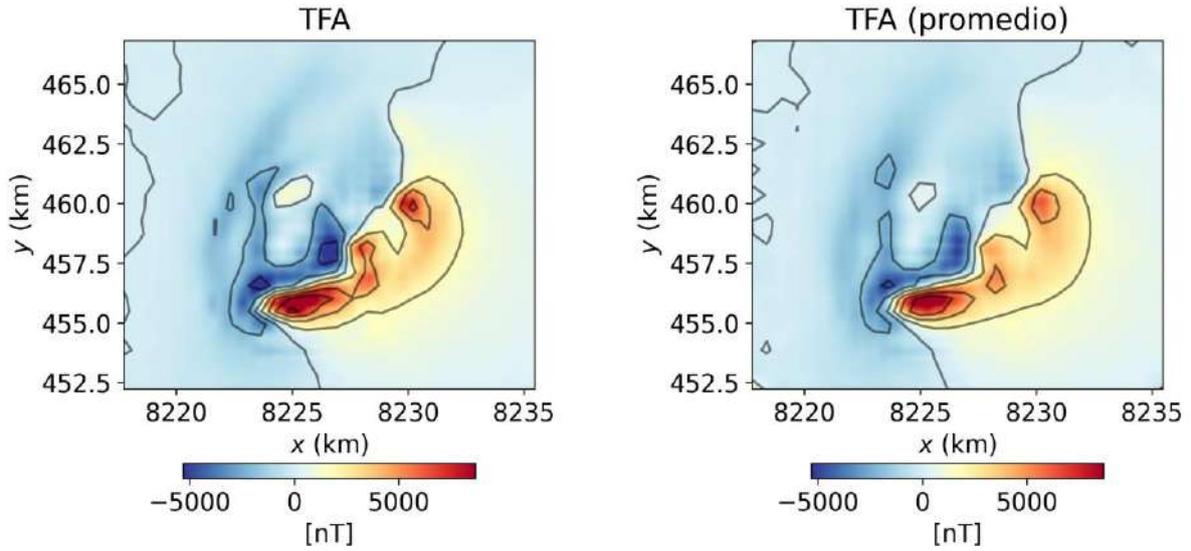


Figura 1: Grilla suministrada de la anomalía escalar de intensidad total del campo magnético (TFA) en el estado de Goiás, Brasil. Se indica una región seleccionada para generar variaciones plausibles. Se muestran el promedio de las generaciones obtenidas, y algunas de las generaciones obtenidas junto a su grado de novedad dado por el coeficiente de correlación, r , con la región original.

Referencias

- Goodfellow I., Bengio Y. and Courville A., 2016. Deep learning. MIT press.
 Murphy, K., 2022. Probabilistic machine learning: An introduction. MIT press.
 Murphy, K., 2023. Probabilistic machine learning: Advanced topics. MIT press.

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO EN INVERSIÓN PROBABILÍSTICA 3D DE DATOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FUENTE CONTROLADA

Matias W. Elias¹, Marina Rosas-Carbajal² y Fabio I. Zyserman¹

1. CONICET, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
2. Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS, Université de Paris, Paris, Francia.

melias@fcaglp.unlp.edu.ar

En este trabajo nos avocamos a la tarea de diseñar un algoritmo de inversión que nos permita interpretar datos electromagnéticos de fuente controlada, los cuales son útiles para la caracterización de propiedades del subsuelo en múltiples escenarios de la exploración e investigación geofísica. Algunos ejemplos de estos escenarios son la exploración de recursos de gas y petróleo en ambientes marinos, la caracterización de reservorios para la producción de energía hidrotermal, monitoreo de reservorios de almacenamiento de CO₂, estudio de sistemas hidrotermales submarinos, entre otros.

Es habitual que múltiples descripciones físicas del subsuelo ajusten igualmente bien los datos geofísicos. Esto se debe principalmente a una cobertura parcial de las mediciones recolectadas, a una descripción física insuficiente del problema o a una sobreparametrización de los modelos. En este sentido, un marco de inversión probabilística permite involucrar de forma explícita los datos de entrada, los parámetros y la incertidumbre de nuestro modelo. Los parámetros del modelo son tratados como variables aleatorias restringidas por una función de densidad de probabilidad a priori y por datos contaminados con ruido dentro de una función de verosimilitud. El proceso de inferencia permite cuantificar la incertidumbre del modelo proporcionando así flexibilidad en la interpretación del problema.

La inversión probabilística es un proceso demandante en términos de la cantidad de cómputo de modelos directos requeridos para muestrear la función de densidad de probabilidad a posteriori de los parámetros. Por lo tanto, utilizamos un algoritmo de muestreo eficiente que implementa el Método Monte Carlo con Cadenas de Markov (DiffeRential Evolution Adaptative Metropolis (DREAM-ZS)) combinado con estrategias para optimizar el cómputo del modelo directo mediante aproximaciones y estimación de errores con técnicas de aprendizaje profundo.

Respecto a esto último, proponemos una forma alternativa (aproximada) de calcular la respuesta electromagnética (EM) que baje los tiempos de cómputo del modelo directo y cuantificamos el error de modelado cometido durante el proceso de inversión. Para esto creamos un modelo de error estadístico de la aproximación mediante el entrenamiento de una Red Generativa Antagonista Espacial. A diferencia de otras redes neuronales el proceso de entrenamiento de la Red Generativa Antagonista Espacial tiene la particularidad de ser una competencia entre un Generador (G), que crea muestras falsas del conjunto en muestras de entrenamiento, y un Crítico (C), que califica la calidad de las muestras. Finalizado el entrenamiento G resulta ser un modelo paramétrico de la función de densidad de probabilidad de los errores de modelado del conjunto de entrenamiento. Este modelo de error paramétrico es introducido en el proceso de inversión como un complemento que permite corregir el error de aproximación del modelo y a su vez cuantificar el mismo.

Para comprobar nuestra metodología en primer lugar proponemos un experimento sintético de un escenario de aplicación del método electromagnético de fuente controlada en un ambiente marino. La implementación y el posterior entrenamiento de la red neuronal nos permitieron mostrar que la Red Generativa Antagonista Espacial es útil para generar un modelo estadístico del error de modelado. El análisis estadístico muestra las similitudes entre el conjunto de muestras creadas con G y el conjunto

utilizado para el entrenamiento. Además, se hacen evidentes las ventajas de contar con un modelo de error reducido en parámetros, capaz de representar la respuesta EM con una cantidad considerable de receptores distribuidos en el lecho marino, varias frecuencias y utilizando las diferentes componentes del campo eléctrico y magnético. A su vez, el proceso de inversión se acelera significativamente introduciendo las aproximaciones al modelo directo y se muestra que la incorporación del modelo estadístico de error mejora la determinación de los parámetros verdaderos del modelo sintético, los cuales son conocidos a priori. Además, el proceso de inversión es capaz de cuantificar el error de modelado sobre los datos sintéticos invertidos, los cuales también son conocidos a priori.

Posteriormente, aplicamos nuestra metodología de inversión probabilística a datos electromagnéticos de fuente controlada adquiridos en un ambiente marino. Llevamos a cabo una inversión probabilística 1D sobre dos líneas de adquisición que incluyen amplitud y fase de campo eléctrico y magnético. Los resultados nos permitieron cuantificar el grado de ajuste de los datos al considerar el subsuelo como un medio conductivo de capas planas horizontales y nos permitieron identificar regiones de comportamiento anómalo a la respuesta unidimensional que requerirían una interpretación tridimensional del subsuelo. Completa esta etapa, nos proponemos a realizar la inversión 3D de los datos seleccionando fuentes y receptores representativos del conjunto de datos en regiones específicas. Finalmente, se llevará a cabo la subsecuente interpretación y caracterización del subsuelo marino.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE DATOS ELECTROMAGNÉTICOS A CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL MONTE SUBMARINO LUCKY STRIKE

Matias W. Elias¹, Timothy A. Minshull², Fabrice J. Fontaine³, Marina Rosas-Carbajal³ y Fabio I. Zyserman¹

1. CONICET, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. E-mail:
2. School of Ocean and Earth Science, University of Southampton, UK.
3. Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS, Université de Paris, Paris, Francia.

melias@fcaglp.unlp.edu.ar

El monte submarino Lucky Strike se encuentra en un segmento al norte de la dorsal mesoatlántica y ha sido objeto de la investigación científica desde los años 90. El complejo sistema hidrotermal submarino presente en su superficie atrae la atención de investigadores del campo de la biología, la geoquímica y la geofísica. Este sector en la dorsal mesoatlántica es particularmente interesante por la baja tasa de expansión de la dorsal (<4 cm/a) y la presencia de una cámara magmática axial a ~3.5 km de profundidad del lecho marino. Este es un escenario que podría respaldar el modelo de acreción cortical basado en un ciclo tectono-magmático donde la cámara tiene períodos de enfriamiento y recarga de material fundido. Además, las características presentes en la distribución del magma y su espesor cortical pueden ser un reflejo del patrón de convección del manto subyacente en la región. Por otro lado, comprender el mecanismo de pérdida de calor del sistema hidrotermal presente en la región permite ajustar los modelos de pérdida de calor global a través de la corteza oceánica y establecer correlaciones más precisas con la edad de las rocas y la velocidad de expansión del fondo oceánico.

Puesto que en estas regiones la corteza oceánica está compuesta principalmente por basaltos, la conductividad del subsuelo marino puede asociarse particularmente a la porosidad de la roca basáltica, a la temperatura y salinidad de los fluidos hidrotermales, que a su vez pueden sufrir cambios de fase, o a alteraciones químicas en la roca. Esto hace a los métodos electromagnéticos (EM) herramientas de utilidad para caracterizar el sistema de flujo hidrotermal superficial, como también identificar la presencia de material fundido o parcialmente fundido en las regiones más profundas del monte.

Un trabajo previo en el monte Lucky Strike donde se adquirieron datos electromagnéticos de fuente controlada ha permitido estudiar la distribución de conductividades del subsuelo estableciendo similitudes y diferencias con la Dorsal de Reykjanes y la Dorsal de Valu Fa, y con regiones de la corteza oceánica del pacífico, y así también, asociando las anomalías de conductividad superficiales al comportamiento del flujo hidrotermal y a las chimeneas presentes en la región. Además, se investigó la sensibilidad de los datos EM al material fundido intracortical, aunque no hubo evidencia que confirme la existencia de un cuerpo fundido comparable con las dimensiones del que fue localizado en la Dorsal de Reykjanes. Sobre esto último, trabajos sísmicos posteriores han confirmado la presencia del material fundido asociado a zona de baja velocidad de onda P.

Bajo la hipótesis de que la cámara magmática axial se encuentra en un período de enfriamiento, en este estudio nos proponemos investigar si la respuesta EM podría ser sensible a cambios en las condiciones del sistema que pudieran haber ocurrido en un tiempo entre dos adquisiciones de datos electromagnéticos de fuente controlada. Con este objetivo diseñamos un modelo de distribución de conductividades tridimensional del subsuelo marino que tiene en cuenta las principales características del monte Lucky Strike. Esto es, 1) la concordancia de la distribución de conductividad regional con aquella derivada de los datos electromagnéticos de fuente controlada estudiados con anterioridad; 2) el sistema hidrotermal superficial, donde las propiedades de estado del

fluido hidrotermal en equilibrio termodinámico y la variación vertical de la porosidad en acuerdo con la velocidad de onda P estudiada en la zona determinan la conductividad de la roca en los primeros 3.5 km de profundidad respecto al lecho marino; y 3) el conocimiento que se tiene de las dimensiones y conductividades probables de la cámara magmática axial, la cual se asume está compuesta por una región de material fundido (melt) y otra de material parcialmente fundido (mush). Posteriormente, simulamos la respuesta EM y analizamos la sensibilidad de la misma a cambios en las condiciones del subsuelo que implican variaciones de conductividad debidas tanto al enfriamiento de la cámara como a cambios en la permeabilidad de la roca más superficial. Hemos podido determinar que en determinadas configuraciones fuente-receptor la respuesta EM es sensible a cambios en las condiciones tanto del sistema hidrotermal como de la cámara magmática axial.

DENOISING LINEARLY POLARIZED 3C SEISMIC DATA

Danilo R. Velis¹ and Julián L. Gómez^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Univ. Nacional de La Plata, Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
3. YPF Tecnología S.A., Berisso, Argentina.

velis@fcaglp.unlp.edu.ar

We present a thresholdless polarization filter (PF) that removes random noise from linearly polarized 3C seismic data. We compare our results to those of a standard low-pass filter and a rectilinearity-based PF with a threshold and propose to apply them in tandem for best efficacy. In essence, the thresholdless PF employs closed-form formulas along sliding windows that span the data to identify the ideal rotation angles for transferring most of the energy to a specific component. The denoised three-component data is obtained by canceling out the other two components (assumed to contain just noise) and rotating back. The method is simple and efficient because, unlike most PF techniques, it just involves adjusting the sliding window length.

Thresholding adjustment is crucial because errors can have a significant impact on the results. Small differences can usually have an unacceptably large impact on the onset and/or phase waveforms. Furthermore, it may cause low-energy arrivals to be ignored. The approach described in this paper reduces waveform deformations and does not require thresholding to denoise the data. It improves the signal-to-noise ratio (S/N) by reducing the 3C linearly polarized arrivals to one component only. The residual energy from the other two components is then removed. Finally, the data is rotated back to the original orientation. The method calculates the major direction of particle motion (namely, the radial component) by rotating the 3C data until the energies of two of the three components are minimized. We use a microseismic field dataset from a fracking monitoring study to demonstrate the approach's simplicity and effectiveness (see Figure 1). The S/N has greatly improved without the need for any threshold-based PF.

On the other hand, low-pass filtering produces clean, smooth data, but it also has certain negative consequences. First, it eliminates the high-frequency signal components. Second, it does not reduce noise within the same frequency range as the signal. This is particularly evident at low-energy events. Third, it tends to alter the arrival onsets, which should be avoided to minimize the impact on time-arrival picking. Using a higher cut-off frequency would lessen signal leakage and onset damage, but would limit the capacity to increase the S/N.

In general, the rectilinearity-based PF has none of these limitations, albeit it may affect arrival onset times if the threshold is not adjusted correctly. Overall, it outperforms the suggested thresholdless PF in time frames free of polarized signals. However, it cannot reduce noise in time windows containing polarized arrivals. As a result, unlike the proposed thresholdless PF, the S/N in these areas does not improve at all.

The contrasting and complimentary behavior of the low-pass filter, the thresholdless PF method, and the rectilinearity-based PF technique, suggests that they might be used in cascade to maximize their unique denoising powers. In this context, while the suggested technique beats both lowpass filtering and threshold-based PF in terms of S/N enhancement and signal preservation, we demonstrate that combining them can result in even greater S/N ratio enhancement while preserving signal waveforms.

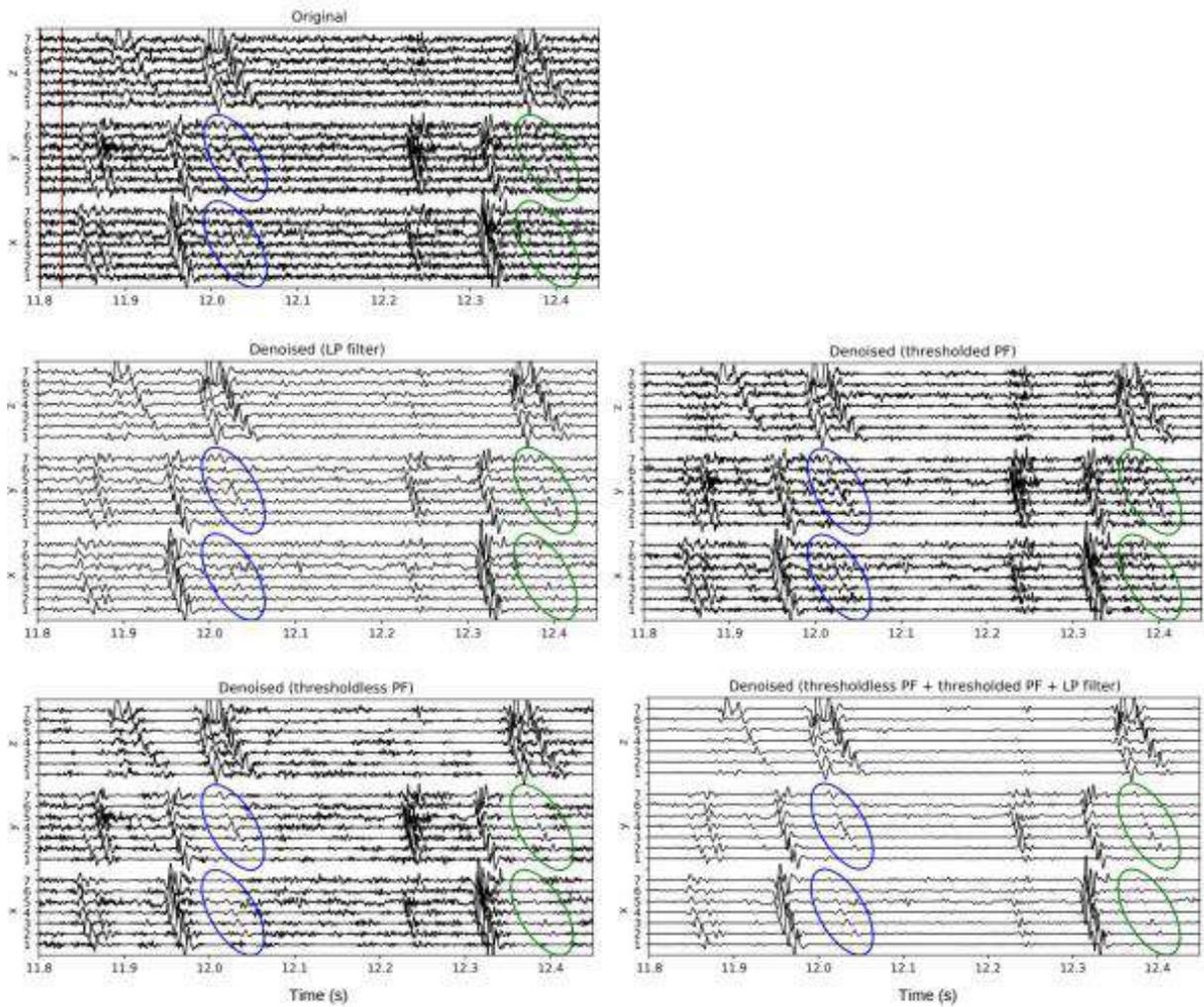


Figure 1: Top: original 3C field data. For reference, the vertical red lines denote the size of the moving window. Second row: denoised data using a low-pass filter (cut-off frequency of 250 Hz) and the rectilinearity-based PF with a threshold. Bottom: denoised data using the proposed thresholdless PF and the result of cascading the three techniques. The ellipses indicate low-energy events where we observe significant differences among the outcomes.

PROCESAMIENTO DE DATOS AEROMAGNÉTICOS PARA EL CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD DEL PUNTO DE CURIE Y FLUJO DE CALOR EN PRECORDILLERA CENTRAL, SAN JUAN, ARGENTINA

Gabriela Alvarez¹, Franco E. Mancini¹, Antonella Sotille¹, Marcos A. Sánchez¹, Rodolfo Christiansen¹, Myriam Patricia Martínez¹

1-CONICET. Instituto Geofísico Sismológico Ing. Volponi

Gabrielaalvarez@gmail.com

En el siguiente trabajo se utiliza el análisis espectral de la anomalía magnética de vuelos aeromagnéticos para estimar la profundidad del punto de Curie. El punto de Curie es la profundidad a la cual el dominio magnético de un mineral en la corteza pasa de un estado ferromagnético a un estado paramagnético al estar expuesto al efecto de un incremento de la temperatura. A partir de esto y conociendo la temperatura superficial, es posible calcular el gradiente geotérmico y por lo tanto también el flujo de calor. Esto nos permite encontrar condiciones geotérmicas anómalas.

El área de estudio se encuentra en la Precordillera Central de la provincia de San Juan. Numerosos manantiales termales tienen lugar en la flat-slab pampeano-chileno, una zona donde la litósfera se caracteriza por su relativa frialdad, atribuible entre muchas hipótesis existentes a la subducción horizontal de la placa de Nazca y a la ausencia de actividad volcánica activa que podría actuar como fuente de calor. En este sentido, los sistemas geotérmicos de baja entalpía en la región se evidencian mediante anomalías térmicas en superficie, que pueden vincularse a cinturones orogénicos montañosos sin actividad ígnea reciente, siendo este uno de los 'plays' geotérmicos que propone Moeck (2014). Es importante destacar que los sistemas de baja entalpía se asocian principalmente a la circulación de agua meteórica a grandes profundidades, emergiendo hacia la superficie a través de estructuras geológicas como fallas.

Los datos magnéticos analizados pertenecen a vuelos aeromagnéticos realizados por el servicio geológico minero argentino (SEGEMAR). Los vuelos fueron realizados a 120 m de altura sobre el nivel topográfico, realizando líneas norte-sur con espaciamiento de 1000 m y líneas este-oeste con un espaciamiento de 7500 m. También se adicionaron nuevos datos magnéticos, pertenecientes al instituto Geofísico y Sismológico Volponi (IGSV) de la Universidad Nacional de San Juan, medidos en campo hacia el este de los datos aeromagnéticos para ampliar la zona de estudio.

El método para estimar la profundidad de las fuentes magnéticas se puede clasificar en dos categorías: aquellos que examinan la forma de las anomalías magnéticas y aquellos que examinan las propiedades estadísticas de los patrones de anomalías magnéticas. Ambos métodos proporcionan una relación entre el espectro de anomalías magnéticas y la profundidad de la fuente magnética transformando los datos espaciales al dominio de la frecuencia (Obande, 2013).

En este trabajo, la profundidad en el tope y el centro de la fuente magnética en el área de estudio (Z_t y Z_0 , respectivamente) se calcula a partir del espectro de potencia de las anomalías magnéticas y se utilizara para estimar la profundidad de la fuente magnética Z_b a partir de la siguiente ecuación:

$$Z_b = 2Z_0 - Z_t,$$

donde Z_b es la profundidad del punto de Curie estimada. Luego a partir de la temperatura superficial conocida por imágenes satelitales, se infiere el gradiente geotérmico en cada punto, y por último se calcula el flujo de calor como: $q = k \frac{dt}{dz}$ donde k es la conductividad térmica.

Para este procesamiento se utilizó la anomalía magnética total, grillada con el método de mínima curvatura, y un grillado con un tamaño de celdas de 250 m x 250 m. Este tamaño de celda combina las longitudes de onda de las anomalías aéreas y terrestres en una cuadrícula homogénea. Para el cálculo del espectro de potencia se utilizaron ventanas de 70 x 70 km, con las cuales se infiere la profundidad del punto de Curie en el centro de cada uno de estos bloques. Se repitió este procedimiento obteniendo un total 20 estimaciones de CPD distribuidas homogéneamente en el área (Figura 1). La temperatura superficial se obtuvo realizando un promedio de las temperaturas en cada una de estas ventanas antes mencionadas.

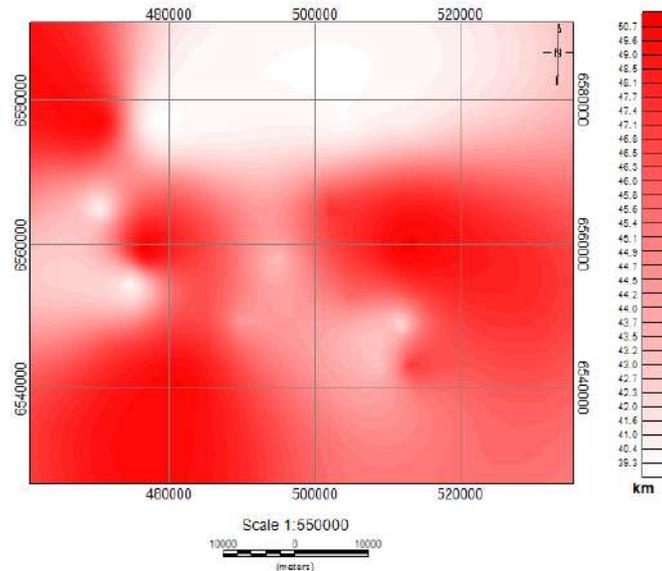


Figura 1: Estimación de la profundidad del punto de Curie. Coordenadas WGS 84/ UTM zone 19S.

Los resultados obtenidos muestran una profundidad promedio del punto de Curie de aproximadamente 45 km, lo cual está dentro del rango de valores según los antecedentes en la zona de estudio. El flujo de calor será mayor cuando menor sea la profundidad del punto de Curie. En los cálculos realizados, coincide que hacia el norte del mapa se encuentran valores más alto del flujo de calor, debido a valores de menor profundidad del punto de Curie.

La realización de este proyecto permite aportar datos de especial interés para la generación de un plan de uso de energías renovables que incluyan no solo la generación de energía eléctrica sino la utilización de aguas termales para emprendimientos turísticos y productivos en la provincia.

Referencias

- Inga S. Moeck, Catalog of geothermal play types based on geologic controls, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 37, 2014, Pages 867-882, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.032>.
- Grace Ene Obande, Kolawole Muideen Lawal, Lawal Aminu Ahmed, Spectral analysis of aeromagnetic data for geothermal investigation of Wikki Warm Spring, north-east Nigeria, Geothermics, Volume 50, 2014, Pages 85-90, ISSN 0375-6505, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2013.08.002>.

ANÁLISIS MAGNETOTELÚRICO DE MEDIOS ANISÓTROPOS MEDIANTE EL ESTUDIO DEL TENSOR DE IMPEDANCIAS, EL TENSOR DE FASE Y LOS VECTORES DE TIPPER

Lihué Gaffoglio¹, Liliana Guevara^{1,2} y Fabio Zyserman^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – Universidad Nacional de La Plata.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

lihue.gaffoglio@fcaglp.unlp.edu.ar

En formaciones geológicas de distinta naturaleza, en particular las que presentan capas de diferentes materiales sedimentarios, la conductividad eléctrica puede variar dependiendo de la dirección en que se observe dicho parámetro. Cuando esto ocurre, se dice que el medio presenta anisotropía, y la conductividad se comporta como un tensor. La presencia de anisotropía eléctrica puede ser reconocida mediante el uso de métodos electromagnéticos. En particular, hemos trabajado con el método magnetotelúrico, o magnetotelúrica (MT), que se basa en las mediciones de las variaciones temporales de campos eléctrico y magnético naturales en la superficie terrestre. Luego, a partir de las componentes de los campos registradas es posible definir las funciones de transferencias MT, esto es, el tensor de impedancias, determinado a partir del cociente complejo de las componentes horizontales del campo eléctrico y las del campo magnético, y los vectores de tipper, obtenidos del cociente complejo de la componente vertical y las horizontales del campo magnético. A su vez, a partir de la parte real e imaginaria del tensor de impedancias se determina el tensor de fase MT, el cual nos brinda información sobre el rumbo regional de las estructuras del subsuelo. Del análisis de dichas funciones, y en particular de las inconsistencias entre ellas, es que la anisotropía de un medio puede ser reconocida.

La anisotropía eléctrica observada con métodos electromagnéticos (EM) puede tener un origen microscópico, como por ejemplo la causada por orientaciones preferenciales dentro de los cristales, o puede deberse a un efecto macroscópico debido a la inhabilidad de los métodos EM de resolver estructuras más pequeñas que el volumen promedio que se esté sondeando, tal es el caso de las rocas estratificadas o laminación (1).

El tensor que define a la conductividad eléctrica puede ser diagonalizado, utilizando las rotaciones elementales de Euler, donde a los ángulos necesarios para llegar al sistema de ejes principales se los denomina de rumbo, de buzamiento y de inclinación. Luego, el tensor de conductividad diagonalizado puede ser especificado por seis parámetros: las tres componentes de conductividad a lo largo de las direcciones principales y los tres ángulos correspondientes. Según la geometría de la anisotropía, se puede tener anisotropía acimutal (u horizontal), cuando solo el ángulo de rumbo es no nulo; anisotropía de buzamiento cuando solo el ángulo de buzamiento es no nulo; o anisotropía vertical cuando todos los ángulos son nulos y el tensor es diagonal en el sistema de referencia en el que se obtuvo, pero todos los valores diagonales son diferentes entre sí. En particular, la anisotropía vertical es considerada transversal cuando las componentes horizontales son iguales entre sí (2).

En este trabajo planteamos un modelo sintético de un subsuelo bidimensional caracterizado por una anomalía de ancho igual a 1 kilómetro, espesor de 2 kilómetros y con su techo a una profundidad de 0.25 kilómetros, inmersa en un semiespacio homogéneo de 100 Ωm . Para el cuerpo anómalo se consideraron diferentes configuraciones: cuerpo isótropo con conductividad de 0.5 Ωm , cuerpo con anisotropía de buzamiento considerando 0.5/0.5/100 Ωm y cuerpo con anisotropía acimutal considerando 0.5/100/0.5 Ωm como valores principales para el tensor de conductividad, respectivamente. A su vez, para estudiar la sensibilidad de las respuestas con el cambio de ángulo, tanto para la anisotropía de buzamiento como para la acimutal se

consideraron valores de 30° y 60°. Es importante mencionar que, en el estudio de la anisotropía de buzamiento, las resistividades principales en la dirección del eje y y en la dirección del eje z son distintas entre sí, con casi tres órdenes de magnitud de diferencia. Esto fue seleccionado así por el hecho de que este tipo de anisotropía mezcla los valores de resistividad entre estas direcciones según el ángulo de buzamiento. Por su parte, en el estudio de la anisotropía acimutal, las resistividades en el eje x y en el eje y son diferentes, debido a que el ángulo de rumbo rota las componentes en esas direcciones. Si en el primer caso las resistividades en y y en z , o en x y en y (en el segundo caso), fueran iguales, no habría anisotropía. Así, mediante un código computacional de modelado numérico (3) calculamos las respuestas MT para cada modelo descrito, donde el largo del perfil, la distancia entre estaciones y el rango de períodos considerados permitieron determinar la influencia de la anomalía cubriendo el área de interés.

A partir del tensor de impedancias, graficamos las curvas de resistividad aparente (inversa de la conductividad) y de fase de cada componente, donde la resistividad aparente y la fase están asociadas al módulo y fase de las impedancias complejas, respectivamente, así como también graficamos los vectores de tipper y las elipses vinculadas con el tensor de fase MT, en función de la distancia horizontal en superficie y en función del período de los campos EM. El objetivo principal de este trabajo fue, a partir del análisis y la comparación (tanto de los resultados como entre los diferentes modelos), observar que dependiendo de la anisotropía considerada no es posible determinar discrepancias que permitan distinguir entre el carácter isótropo o anisótropo de las respuestas, pudiendo sí ser identificada cuando la anisotropía es acimutal.

Referencias

- Weidelt, P., 1999, 3-d conductivity models: Implications of electrical anisotropy.
- Martí, A., 2014, The role of electrical anisotropy in magnetotelluric responses: From modelling and dimensionality analysis to inversion and interpretation: *Surveys in Geophysics*, 35, 179–218.
- Pek, J., y Verner, T., 1997, Finite-difference modelling of magnetotelluric fields in two-dimensional anisotropic media: *Geophysical Journal International*, 128, no.3, 505-521.

ESTUDIOS CON GPR Y EMI EN EL SITIO HISTÓRICO VUELTA DE OBLIGADO

Néstor Bonomo¹, María Victoria Bongiovanni² y Mariano Ramos³

1. Grupo de Geofísica Aplicada y Ambiental – Departamento de Física, FCEN, UBA e IFIBA-CONICET.
2. Facultad de Ingeniería – Universidad Austral, LIDTUA (CIC)-CONICET.
3. Programa de Arqueología Histórica y Estudios Pluridisciplinarios (ProArHEP) Departamento de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Luján y Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

bonomo@df.uba.ar

Se presenta una serie de resultados correspondientes a los primeros estudios geofísicos realizados en el sitio histórico Vuelta de Obligado, donde en 1845 tuvo lugar la conocida batalla entre tropas de la Confederación Argentina y una alianza entre Francia e Inglaterra que pretendían controlar la navegación de los ríos sudamericanos con el objetivo de imponer el libre comercio. El objetivo principal de los estudios realizados hasta el momento ha sido sondear distintos sectores del sitio en búsqueda de remanentes de estructuras históricas tales como basamentos, trincheras, terraplenes, enterratorios, etc.

Palabras clave: Geofísica, Georadar, Inducción electromagnética, Arqueología, Vuelta de Obligado

REPRESENTACIÓN DE CONVERSIONES SISMOELÉCTRICAS MEDIANTE LA SUPERPOSICIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS DIPOLARES

F. Bucher¹, L. Monachesi², G. Castromán¹, F. Zyserman¹

1. CONICET, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP.
2. CONICET, Instituto de Investigaciones Paleobiológicas y Geológicas, UNRN.

fbucher@fcaglp.unlp.edu.ar

Las ondas sísmicas originadas natural o artificialmente pueden inducir señales electromagnéticas al propagarse a través de regiones porosas del subsuelo que albergan fluidos. Dichas señales, comúnmente llamadas *conversiones sismoeléctricas*, son generadas por el acople electrocinético entre iones del fluido poral y de la matriz rocosa. Cuando una perturbación sísmica arriba a una interfase que separa a un medio poroso de otro medio (poroso, fluido o sólido no poroso) con propiedades mecánicas y/o electromagnéticas diferentes, se producen dos conversiones denominadas Respuesta de Interfase (RI) y ondas evanescentes. La primera puede detectarse en receptores ubicados en superficie o en pozos a distancias considerables de la interfase, proveyendo así información indirecta y valiosa de los parámetros que caracterizan al subsuelo y son de interés para la geofísica de exploración. Asimismo, la RI exhibe un patrón de radiación similar al de un dipolo eléctrico orientado según el ángulo de incidencia en la interfase y centrado en el primer punto de contacto con la misma del frente de onda sísmico [1]. Contrariamente, las ondas evanescentes son observadas únicamente en las cercanías de la interfase y sus amplitudes disminuyen exponencialmente con la distancia. Además, mientras que la RI posee una velocidad de propagación electromagnética y, por ende, se registra casi simultáneamente en todos los receptores eléctricos dispuestos, las ondas evanescentes se comportan como eventos de velocidades sísmicas y arriban a ellos a distintos tiempos. De esta manera, en un registro obtenido para una línea horizontal de receptores eléctricos equiespaciados, la RI se observa como un evento horizontal y las ondas evanescentes como eventos hiperbólicos. Por lo tanto, si ambas conversiones sismoeléctricas son generadas en una misma interfase y debidas a una misma onda sísmica, pueden detectarse y diferenciarse entre sí: a distancias considerables, quien domina los registros de amplitud de campo eléctrico es la RI y en las cercanías son las ondas evanescentes, mientras que en regiones intermedias ambas coexisten con amplitudes similares.

En este trabajo presentamos un modelo fenomenológico con el objetivo de mejorar la comprensión del mecanismo de generación de la RI y de las ondas evanescentes que se producen en el contacto entre un medio poroso saturado (modelado como un medio poroelástico) y otro sólido no poroso (modelado como un medio elástico) [2]. Dicho modelo busca reproducir la respuesta sismoeléctrica completa en el medio elástico. Resumidamente, consiste en una secuencia de dipolos eléctricos que se activan sucesivamente, simulando la conversión de energía sísmica a electromagnética que se produce con la llegada de una onda sísmica a la interfase. Las respuestas del modelo para diferentes tipos de subsuelo, variando el número y geometría de las interfases como así también las propiedades físicas de los medios porosos involucrados y la frecuencia central de la fuente sísmica, fueron comparadas con las calculadas utilizando un código de elementos finitos [2]. Dicho código resuelve las ecuaciones del fenómeno sismoeléctrico en el modo de ondas compresionales (P) y verticales de corte (SV), acopladas con los campos del modo transversal magnético (TM) (FE-PSVTM) [3]. Con el objetivo de contrastar los patrones de radiación y las amplitudes relativas de las conversiones, realizamos las comparaciones en base a líneas horizontales de receptores eléctricos ubicadas a distintas distancias de la interfase. Una de estas comparaciones se puede observar en la Figura 1, en donde mostramos el modelo computado con FE-PSTVM (Figura 1a) que consta de una capa elástica sobre un

semiespacio poroelástico; el correspondiente modelo fenomenológico de dipolos (Figura 1b), y las respuestas obtenidas de cada caso (Figuras 1c y 1d). Se aprecian en ellos la RI como un arribo horizontal y la onda evanescente como un arribo hiperbólico, con amplitudes relativas similares.

Nuestros resultados indican que el modelo fenomenológico tiene la capacidad de representar correctamente la onda evanescente y la RI dentro del medio elástico. Particularmente, concluimos que reproduce fielmente las amplitudes relativas de ambos eventos y sus patrones de radiación, con la ventaja de hacerlo con un bajo costo computacional. De este modo, proporcionamos una visión novedosa en el estudio del fenómeno físico que subyace a las conversiones sismoeléctricas y brindamos una nueva herramienta que busca contribuir en el estudio, monitoreo y exploración de fluidos y gases albergados en las rocas del subsuelo.

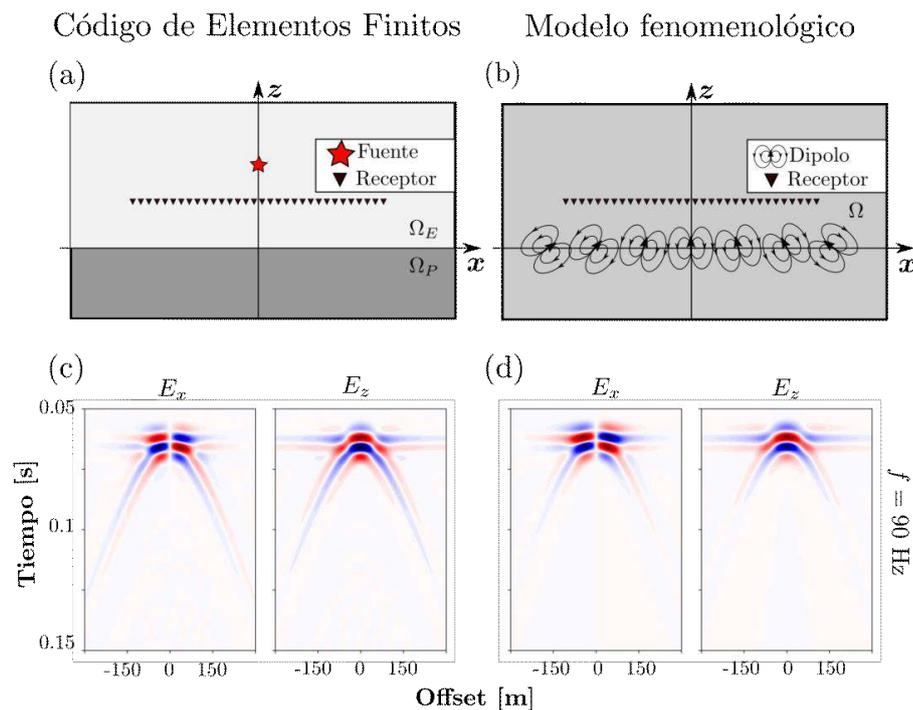


Figura 1: (a) Modelo resuelto con FE-PSVTM, el cual consiste en una capa elástica sobre un semiespacio poroelástico, con una fuente sísmica (estrella roja) y una línea de receptores eléctricos (triángulos negros). (b) Modelo fenomenológico asociado de espacio homogéneo con dipolos eléctricos y receptores. (c)-(d) Resultados de ambos modelos en componentes horizontal y vertical.

Referencias

[1] Grobde, N., Revil, A., Zhu, Z., Slob, E. (Eds.), 2020. Seismoelectric Exploration: Theory, Experiments, and Applications. Geophysical Monograph Series, Wiley.

[2] Bucher, F. Monachesi, L. Castromán, G., Zyserman, F. 2024. Seismoelectric response of 2D elastic/poroelastic coupled media: a phenomenological approach. Geophys. J. Int. 236, 62–77.

[3] Zyserman, F., Gauzellino, P., Santos, J., 2010. Finite element modeling of SHTE and PSVTM electroseismics. J. Applied Geophysics 72, 79–91.

CÁLCULO DE LA RELACIÓN ESPECTRAL H/V EN LA ISLA DE TIERRA DEL FUEGO

Flores, Guadalupe¹ y Rosa, María Laura¹

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísica, Universidad Nacional de La Plata.

floresguadalupe@fcaglp.unlp.edu.ar; mlrosa@fcaglp.unlp.edu.ar

La relación espectral entre las amplitudes horizontal y vertical de los registros de vibraciones en función de la frecuencia presenta una alta sensibilidad a la estructura cortical cercana a la superficie. En conjunto con otras técnicas se aplica para caracterizar efectos de sitio y realizar investigaciones de microzonificación sísmica, recomendando su aplicación en áreas de sismicidad baja a moderada.

La Isla de Tierra del Fuego (TdF) tiene una importante historia sismológica, incluyendo un evento de carácter destructivo de magnitud 7.8 ocurrido en diciembre de 1949. Esta sismicidad es la que ha llevado al INPRES a calificar a esta región con peligrosidad entre moderada y elevada. Desde el año 1998 el Departamento de Sismología de la FCAG ha promovido la densificación de la instrumentación sismológica existente en la Provincia de Tierra del Fuego. Esto ha permitido la realización de varios estudios de sismicidad, que en gran medida han despertado el interés de la comunidad internacional en la región. Del análisis de los registros obtenidos, se evidencia una importante sismicidad local de bajo nivel.

La técnica conocida como HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) de Nakamura (1989) se basa en la suposición de que la componente horizontal del movimiento del suelo puede amplificarse durante la propagación de ondas sísmicas cerca de la superficie, mientras que la amplificación en la componente vertical es relativamente pequeña. Para ello se calcula la relación entre los espectros horizontal y vertical de las vibraciones registradas en un sensor sísmico de tres componentes. Los picos en la curva HVSR están asociados con las frecuencias de resonancia del sitio. Por lo que tener contrastes de impedancia a diferentes profundidades conduce a múltiples picos. El análisis de esta relación es una herramienta poderosa para investigar la estructura local directamente debajo de la estación de registro. HVSR ha demostrado ser muy conveniente para estimar la frecuencia fundamental de los sedimentos y tener un buen conocimiento de las propiedades del suelo local, es decir, las velocidades de onda S y el espesor de los sedimentos.

Para la obtención de relación H/V se aplica una técnica propuesta originalmente por Nogoshi e Igarashi (1971), y ampliamente difundida por Nakamura que consiste en estimar la relación entre los espectros de amplitud de Fourier de las componentes horizontal y vertical de cualquier tipo de señales de vibración (vibraciones ambientales, terremotos, etc.) registradas en una estación sísmica. Para la implementación de la técnica se puede utilizar el software de libre acceso GEOPSY desarrollado por el proyecto SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations) de la Comisión Europea (European Research Project, 2004), que es un código abierto multiplataforma lanzado bajo la licencia pública GNU, reconocido como una herramienta de referencia para analizar datos de vibraciones ambientales en el contexto de estudios de caracterización de sitios. La versatilidad de GEOPSY permite el procesamiento de todo tipo de datos necesarios en los estudios de caracterización del sitio presentando una interfaz gráfica amigable (Wathelet et al., 2020). También se puede utilizar otra herramienta como el código abierto IRIS HVSR Station Toolbox (Bahavar et al., 2020) para estaciones de IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) basado en las pautas del proyecto SESAME.

Para la aplicación se determinan mediciones del campo de ondas del ruido sísmico en cada estación, a diferentes horas del día y para diferentes días del año para tener una muestra de la variación del ruido ambiental a lo largo del año. Este ruido se analiza

con distintas ventanas de tiempo (para estudios de microzonificación se recomiendan ventanas de aproximadamente 60 minutos) y se procesan los datos, dividiendo la ventana de tiempo total en ventanas más pequeñas (por ejemplo, de 50 segundos) siguiendo las condiciones de confiabilidad propuestas por el Proyecto SESAME para la curva H/V. Estas condiciones contemplan las distintas características de los sensores, la forma de registro (frecuencia de muestreo, etc.) entre otros. Mediante la herramienta HV se obtiene la HVSR en función de la frecuencia, analizando el pico en cada caso considerado. La curva H/V se obtiene promediando las curvas H/V calculadas para cada ventana de tiempo seleccionada. El método de suavizado más común es el de Konno y Ohmachi (1998) pero también hay otros métodos disponibles (Wathelet et al., 2010). La forma y frecuencia del pico dominante está relacionada con la estructura subyacente y se interpreta siguiendo los criterios estipulados en la amplia bibliografía existente sobre el tema de caracterización de sitios. Las curvas H/V obtenidas para cada estación sísmica a diferentes horas del día y para diferentes días del año, son analizadas y contrastadas.

En este trabajo, se calcularon curvas H/V con el objetivo de obtener frecuencias fundamentales de sedimentos, utilizando datos de la Red Sismológica de Tierra del Fuego de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, datos de las Redes Nacionales chilenas C y C1 y de redes pertenecientes a los proyectos SEPA y SEPA II. Para el cálculo de las relaciones HVSR se utilizaron dos softwares de uso libre, Geopsy y IRIS HVSR Station Toolbox. Los resultados permitieron comparar el desempeño de ambos programas, considerando el tiempo de procesamiento y la variedad de herramientas para su aplicación en registros de diferentes estaciones. A su vez, este trabajo introdujo el primer estudio sobre el efecto de sitio en la región de Tierra del Fuego, lo que conlleva un avance sustancial en la determinación del riesgo sísmico en la Isla.

Referencias

- Bahavar, M., Spica Z., Sánchez-Sesma F., Trabant C., Zandieh A. and Toro G. 2020. Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) IRIS Station Toolbox. *Seismol. Res. Lett.* XX, 1 –11, doi: 10.1785/0220200047.
- Konno, K., and Ohmachi, T. 1998. Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor *Bull. Seismol. Soc. Am.* 88, no. 1, 228–214.
- Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, 30, 25–33.
- Nogoshi M. and Igarashi T. 1971. On the amplitude characteristics of microtremor (part 2) (in Japanese with english abstract). *Journal of seismological Society of Japan*, 24, 26-40.
- SESAME European Research Project. 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. <http://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/SOFTWARE/SESAME/USER-GUIDELINES/SESAME-HV-UserGuidelines.pdf>
- Wathelet, M., Bard, P., Chatelain, J.L., Cornou, C., Di Giulio, G., Fäh, D., Guillier, B., Haleimikail, S., Michel, C. and Ohrnberger, M. 2010. Geopsy on-line documentation (<http://www.geopsy.org/wiki>).
- Wathelet, M., Chatelain, J.L., Cornou, C., Di Giulio, G., Guillier, B., Ohrnberger, M. and Savvaidis, A. 2020. Geopsy: A User-Friendly Open-Source Tool Set for Ambient Vibration Processing. *Seismological Research Letters*. doi: 10.1785/0220190360.

SENSIBILIDAD DE ONDAS RAYLEIGH A CAMBIOS DE SATURACIÓN DE FLUIDOS EN SISTEMAS HIDROTERMALES VOLCÁNICOS

G. Castromán¹, M. Rosas-Carbajal², N. Barbosa³, M. Heap^{4,5}, C. Caudron⁶, A. Burtin² y F. Zyserman¹

1. CONICET, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP.
2. Université de Paris-Cité, Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS, Paris, France.
3. Institute of Earth Sciences, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland.
4. Université de Strasbourg, CNRS, Institut Terre et Environnement de
a. Strasbourg, Strasbourg, France.
5. Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France.
6. Université Libre de Bruxelles, Belgium.

gcastroman@fcaglp.unlp.edu.ar

La presencia de sistemas hidrotermales en las regiones volcánicas impacta considerablemente en el flujo de fluidos y la transferencia de calor que tienen lugar en los volcanes activos, lo cual puede afectar al análisis de la actividad volcánica en la región y dificultar la detección de precursores de erupciones. Esto se debe a que ciertas amenazas volcánicas como las erupciones freáticas, el colapso parcial o total del edificio volcánico, la liberación espontánea de gases tóxicos y las explosiones laterales pueden estar directamente relacionadas con la circulación, el cambio de estado y la presurización de los fluidos porales presentes en el sistema. Dada la compleja dinámica de los volcanes, su estudio integral requiere de la combinación de observaciones *in situ* en la superficie (por ejemplo, temperatura y composición de los gases) y la caracterización de su interior mediante técnicas remotas. En este último caso, los métodos geofísicos basados en fuentes pasivas han mostrado un gran potencial en los últimos años para el monitoreo de la actividad hidrotermal volcánica, en especial la interferometría de ruido sísmico. La interferometría sísmica, en general, se basa en la correlación de registros obtenidos en distintas locaciones sobre la superficie con el fin de determinar la respuesta impulsiva del medio ubicado entre ellas. A través del monitoreo continuo de esta respuesta es posible observar variaciones en la velocidad del campo de ondas sísmicas con respecto a un valor de referencia, las cuales pueden asociarse a cambios en las propiedades del medio estudiado, contribuyendo así a su caracterización. En particular, la interferometría de ruido sísmico es una técnica pasiva que utiliza el registro de las pequeñas vibraciones, aleatorias y continuas, características del lugar de observación, lo que se denomina ruido sísmico ambiental. Dado que esta señal está formada principalmente por ondas superficiales, la mayor parte de los estudios sobre el uso de la interferometría de ruido ambiental recurren a las características de estas ondas en general, y de las ondas Rayleigh en particular.

En el presente trabajo exploramos la sensibilidad de las ondas Rayleigh a cambios en la distribución espacial del contenido de agua en sistemas hidrotermales volcánicos. Las variaciones relativas de velocidad observadas con interferometría de ruido sísmico en estos sistemas suelen mostrar una correlación inversa con la profundidad de la tabla de agua, y su interpretación se realiza mediante modelos simples que asumen un valor de saturación espacialmente uniforme por encima de la misma. Sin embargo, es esperable que el contenido de agua dentro de esta región, denominada zona no saturada del sistema se distribuya de manera no uniforme, generando perfiles de saturación parcial con la profundidad. Con el objetivo de mejorar la interpretación de las variaciones relativas de velocidad mencionadas, proponemos la implementación de un modelo de física de rocas más realista que los empleados usualmente, el cual permite incorporar perfiles de saturación parcial de agua en el cálculo de las velocidades de

onda Rayleigh y cuantificar así cómo impacta su presencia. El modelo en cuestión consiste en la combinación de (1) las ecuaciones de Gassmann-Wood para obtener la respuesta sísmica efectiva de un medio poroelástico total o parcialmente saturado, (2) el perfil de saturación parcial del suelo dado por el modelo de van Genuchten y (3) el método de escalado de propiedades elásticas dado por Hoek-Diederichs. Adicionalmente, el marco geológico elegido para el modelo fue el domo del volcán La Soufrière de Guadalupe (Caribe Oriental, Francia), el cual es representado mediante una capa de espesor variable compuesta por una andesita con elevados niveles de alteración hidrotermal que se ubica por encima de un semiespacio formado por una andesita relativamente no alterada que representa el basamento volcánico. Los valores utilizados para los parámetros poroelásticos que intervienen en el modelado, como ser la porosidad y los módulos elásticos de las rocas, corresponden a mediciones de laboratorio llevadas a cabo en muestras del volcán La Soufrière con distintos grados de alteración hidrotermal. Las curvas de dispersión y las variaciones de velocidad de onda Rayleigh relativas a un nivel de referencia computadas mediante el modelo propuesto fueron comparadas con aquellas calculadas a través de los modelos usualmente empleados de saturación uniforme. Esta comparación se realizó teniendo en cuenta cambios en la profundidad de la tabla de agua con respecto a un valor medio y el grado de alteración hidrotermal de las rocas en el sistema.

Los resultados obtenidos al considerar un bajo grado de alteración hidrotermal muestran que las variaciones relativas de la velocidad para el rango de frecuencias considerado (0.5 Hz a 5 Hz) no difieren entre las obtenidas con una distribución no uniforme y una uniforme. Esto indica que las ondas Rayleigh tendrían dificultad para reconocer la presencia de un perfil de saturación parcial con rocas de baja alteración. Sin embargo, los resultados para un alto grado de alteración hidrotermal sugieren que existen diferencias apreciables en la magnitud de estas variaciones de velocidad, sugiriendo que las ondas Rayleigh serían sensibles a la presencia de un perfil de saturación de agua en la zona no saturada. Para el modelo propuesto en este trabajo, dado que la saturación parcial cambia con la profundidad dentro del sistema, las propiedades elásticas efectivas también lo hacen, generando así una mayor variabilidad de la región del subsuelo que es observada por la onda Rayleigh para cada frecuencia, en comparación al caso de saturación uniforme. Como consecuencia, las diferencias mencionadas dependen fuertemente de la frecuencia de observación del estudio.

AMBIENT SEISMIC NOISE AND TIDAL-FORCED CHANGES IN GROUNDWATER LEVELS IN THE COASTAL PLAIN OF THE RÍO DE LA PLATA, ARGENTINA.

Luciano Galone¹, Francesco Panzera², Emanuele Colica^{1,3}, Enrique Fucks^{4,5}, Eleonora Carol^{4,6}, Francisco Cellone^{4,7}, Luís Rivero^{8,9}, Matthew R. Agius¹ and Sebastiano D'Amico¹

1. Department of Geosciences, University of Malta, MSD 2080 Msida, Malta
2. Biological, Geological and Environmental Sciences Department, University of Catania, 95129 Catania, Italy.
3. Research and Planning Unit, Public Works Department, Ministry for Public Works and Planning, FRN 1700 Floriana, Malta.
4. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, National University of La Plata, La Plata 1900, Argentina.
5. Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena, National University of La Plata (CEIDE-CIC-UNLP), La Plata 1900, Argentina.
6. Centro de Investigaciones Geológicas, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, National University of La Plata (CIG-CONICET-UNLP), La Plata 1900, Argentina.
7. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, National University of La Plata (CIM-CONICET-UNLP), La Plata 1900, Argentina.
8. Mineralogy, Petrology and Applied Geology, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain.
9. Water Research Institute, Universitat de Barcelona, 08001 Barcelona, Spain.

galoneluciano@gmail.com

Recently, ambient seismic noise has been employed to monitor different environmental parameters, such as aquifer levels, characteristics of river transport, glacier melting, and landslides, among others. A fundamental advantage of these ambient vibrations is their continuous nature, providing an uninterrupted signal capable of capturing changes in the physical properties of the subsurface. Changes in the average shear-wave velocity (V_s) may be related to variations in pore pressure due to oscillations in groundwater levels and the seasonal distribution of precipitation in the soil, leading to a decrease in shear wave velocity in the overpressure zone.

In this study, we analyzed recordings of ambient seismic noise collected at a temporary seismic station established in the coastal plain on the right bank of the Río de la Plata estuary. The coastal plain is composed mainly of clayey silt sediments deposited during the Holocene that have an average thickness of less than 10 m, known collectively as post-Pampean sediments. These deposits overlie around 450 m of sedimentary deposits that rest over the metamorphic basement. From a hydrogeological perspective, the area exhibits a certain degree of complexity, hosting a series of partially interconnected coastal aquifers. In coastal sectors during high tides, the free aquifer may receive inputs from the estuary. Additionally, previous works have pointed out the influence of the estuarine load on the piezometric levels.

From 19 to 24 October 2023, we acquired 106 hours of ambient seismic noise using a portable triaxial digital seismograph (Geobit instruments) on the outskirts of the city of Ensenada. Data was processed using Geopsy version 3.4.2, an open-source software for organizing, visualizing, and processing geophysical signals. The signals were processed using the HVSR technique. This technique is based on dividing the spectrum of each of the three components into time windows of a selected time-series duration,

which in our case was 40 s. The HVSR analysis reveals the presence of two peaks, P_0 (approximately 0.4 Hz), and P_1 (approximately 5.3 Hz) (Figure 1a).

Using the same parameters to process HVSR, we analyzed the average simple-component Fourier spectra. Both horizontal components showed a similar behavior, while the vertical component exhibited a similar pattern with a variable shift towards higher frequencies. This generated two “eye-shaped patterns” enveloped by the horizontal components above and the vertical one below, corresponding with the frequencies of the P_0 and P_1 peaks. Such a geometry of the spectral components is typical of peaks related to impedance contrasts of stratigraphic origin and constitutes a key validation criterion in geological studies. In this context, P_0 likely corresponds to the contact between the rocky basement and the sedimentary column. As for P_1 , the higher frequencies suggest an origin associated with a shallower discontinuity within the sedimentary column.

To check the HVSR peaks' variability both in frequency and amplitude we plotted the HVSR function as a function of time for the frequency ranges of 0.2–1 Hz and 1–10 Hz. For P_0 , we observed a variation in the average frequency values ranging from 0.41 Hz to 0.34 Hz, with a maximum difference of 0.07 Hz, suggesting a relatively low variability in frequencies. In the case of the HVSR amplitude values for P_0 , they exhibit a more pronounced variability. The mean curve reveals maximum values of 8.66 and a minimum of 2.43 for the HVSR, resulting in a range of 6.23 units. On the other hand, P_1 hourly analysis has demonstrated a temporal variability of a range of 0.41 Hz, with maximum values of 3.14 Hz and minimum values of 2.73 Hz. These frequency values exhibit a cyclical pattern with an approximate 24-hour wavelength. As for the distribution of HVSR values over time for P_1 , these also exhibit notable variability. The mean values of the HVSR average 5.75 over the entire period, with hourly values ranging from 4.24 to 8.07 units, representing a variability range of 3.83 units.

We compare the P_1 variation over time with the hydrometric variations at the Río de la Plata (Figure 1b). The results show a certain correspondence between the cyclic behavior of the water level and that of the P_1 variations, both in terms of frequencies and HVSR amplitude values. In general, it was observed that an increase in frequency in the P_1 is roughly correlated with low estuarine levels, while a decrease in P_1 frequency is associated with higher water levels. As for the HVSR amplitude values of the peaks and the hydrometric curve, a direct correlation is observed.

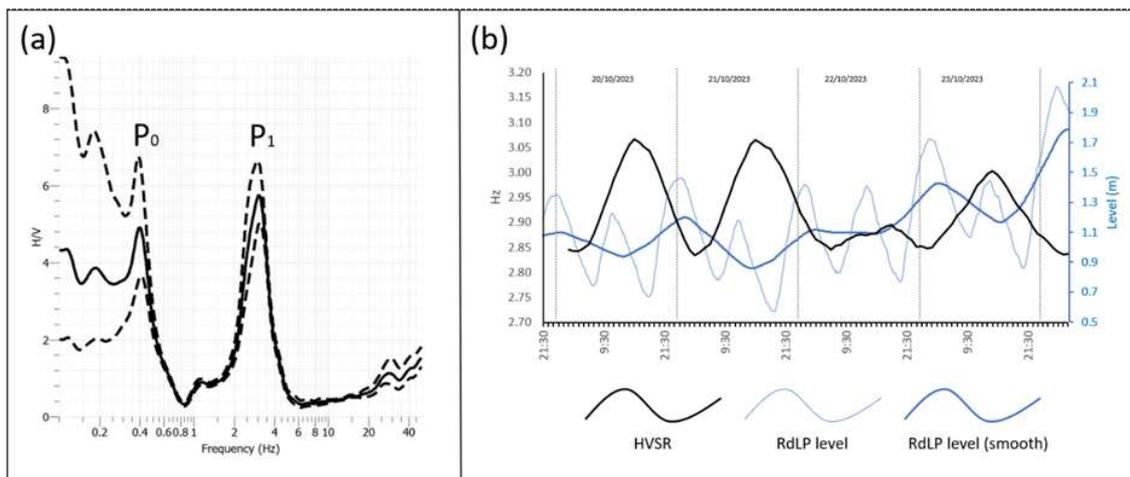


Figure 1: HVSR results. (a) display the HVSR curve for the complete period. (b) shows the variation of P_1 over time, calculated at hourly intervals and then averaged using moving windows of 12 hours, compared with the hydrometric level of the Río de la Plata.

We hypothesize that increases in the estuarine water level associated with the tidal regime are the source of higher ambient noise periods, translating into an increase in P_1

amplitudes during high tides. Changes in estuarine hydrometric levels may also have additional effects on influencing the response of the HVSR function. At high tides, the unconfined aquifer levels rise and saturate more sediments, affecting their mechanical properties and decreasing the V_s . On the other hand, the rise in water volume in the estuary during high tides exerts an increased pressure on the estuarine bed. This pressure would propagate into the aquifer system, ultimately increasing the pore pressure inland, especially in the semi-confined aquifers. The increase in pore pressure counteracts the lithospheric pressure, resulting in a decrease in average V_s . Given that the frequency of peaks in the HVSR spectrum is directly linked to the average V_s of the sedimentary column above the interface where the impedance contrast is generated, it is consistent to expect that a decrease in average V_s will be reflected in a reduction in peak frequency, and vice versa. Therefore, we attribute the relatively lower-frequency values of P1 observed during high tides to a decrease in the average V_s of the sedimentary column promoted by an increase in the piezometric levels. Conversely, the relatively higher-frequency values of P1 during low tides are likely due to an increase in the average V_s of the sedimentary column.

This study hints at the potential of ambient seismic noise analysis as a non-invasive and cost-effective method for studying coastal aquifers and understanding groundwater dynamics.

This work has been supported by DEMUWA project (grant agreement number SRF2022-2S1) financed by the Malta Council for Science and Technology through the Space Research Fund (Building Capacity in the Downstream Earth Observation Sector), a program supported by the European Space Agency. Funds were also made available through the IPAS+ (Internationalisation Partnership Awards Scheme), funded by the Malta Council for Science and Technology.

References

Galone, L.; Panzera, F.; Colica, E.; Fucks, E.; Carol, E.; Cellone, F.; Rivero, L.; Agius, M.R.; D'Amico, S. A Seismic Monitoring Tool for Tidal-Forced Aquifer Level Changes in the Río de la Plata Coastal Plain, Argentina. *Sustainability* **2024**, *16*, 1432. <https://doi.org/10.3390/su16041432>

VARIABILITY OF SURFACE DEPOSITS AND THEIR IMPACT ON GROUND MOTION: AN ANALYSIS IN NORTHEAST BUENOS AIRES, ARGENTINA

Luciano Galone¹, Emanuele Colica^{1,2}, Enrique Fucks^{3,4}, Eleonora Carol^{3,5}, Francisco Cellone^{3,6} and Sebastiano D'Amico¹

1. Department of Geosciences, University of Malta, MSD 2080 Msida, Malta
2. Research and Planning Unit, Public Works Department, Ministry for Public Works and Planning, FRN 1700 Floriana, Malta.
3. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, National University of La Plata, La Plata 1900, Argentina.
4. Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena, National University of La Plata (CEIDE-CIC-UNLP), La Plata 1900, Argentina.
5. Centro de Investigaciones Geológicas, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, National University of La Plata (CIG-CONICET-UNLP), La Plata 1900, Argentina.
6. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, National University of La Plata (CIM-CONICET-UNLP), La Plata 1900, Argentina.

galoneluciano@gmail.com

The utilization of ambient noise, especially through the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr), has been widely employed in ground motion research. The peaks present in HVSr curves provide valuable information about the site's resonant frequency and, to some extent, about the potential amplification of ground motion at that frequency. Specifically, the frequency at which a clear and dominant peak is identified in the HVSr curve corresponds to the site's resonant frequency, while the amplitude of that peak is associated with the magnitude of ground motion amplification at that particular frequency. In areas with multilayered geological deposits, it is common to find more than one peak present in HVSr curves, adding complexity to the analysis. The variability in the frequencies of these peaks is influenced by various local geological variables. Therefore, understanding the interplay between local geology and the variability in HVSr peak frequencies is paramount for accurate ground motion prediction studies and for effectively assessing seismic risk.

In this study, we present the preliminary results of an ambient seismic noise investigation conducted in the northeast of Buenos Aires province, Argentina. The local geology features a metamorphic rock basement located approximately 450 meters deep, followed by a multilayer sequence of siliciclastic sediments. The surface deposits in the study area vary between the Continental Plain and the Coastal Plain. In the Continental Plain, they consist of loessic clayey deposits that shape undulating terrain. As for the Coastal Plain, bordering the estuary of the Rio de la Plata, the clayey loessic deposits are covered by a thin layer, typically thinner than 5 - 10 meters in thickness, of muddy clayey deposits.

We recorded ambient noise at 65 sites in the study area, distributed across the Continental Plain and the Coastal Plain. For this purpose, we used a Geotiny! 24-bit digital seismometer (<https://geobit-instruments.com/>), a compact device that integrates a three-dimensional accelerometer and seismometer. All stations recorded ambient seismic noise for approximately 25 minutes at a sampling rate of 200 samples per second, avoiding rain and strong wind conditions. The data obtained were analyzed using the HVSr technique, through the open-source software Geopsy (<http://www.geopsy.org/>). This technique estimates the relationship between the Fourier amplitude spectra of the horizontal (H) and vertical (V) components of ambient noise vibrations recorded at a single station. The raw data were divided into 25-second

windows, selecting the most stationary time windows using an anti-triggering algorithm to avoid disturbances due to transient noise. We then proceeded to compute and smooth the Fourier amplitude spectra for the selected time windows of each component. The HVSR curves were calculated by taking the mean square of the two horizontal components. The resulting horizontal spectrum was divided by the spectrum of the vertical component. To verify the occurrence of site-specific directional effects, which may cause incorrect regional interpretation, we rotated the NS and EW motion components from 0 (north) to 180 (south) in 10° intervals to calculate the rotated HVSR, and in general no clear directionality was found.

The results show two consistent peaks throughout the study area. The peak at lower frequencies develops at frequencies below 0.5 Hz, while the peak at higher frequencies shows greater variability, ranging from approximately 2 to 14 Hz. To investigate the causes of the variability of the high-frequency peak, we compared the results with local geology. We found a strong correlation between the peak frequency and the presence of thin, muddy deposits. Data acquired in sectors without these deposits showed peaks with average values of 8.4 Hz, but with considerable dispersion, ranging from 4.9 to 13.6 Hz. On the other hand, measurements made on the layer of muddy deposits showed average values of 2.8 Hz, with lower dispersion. Our experimental results highlight the significant effect that the presence of a thin surface layer can have on HVSR studies, which is likely to be eliminated when carrying out any type of foundation work. This underscores the importance of considering local geology when assessing seismic risk and planning urban development and infrastructure in areas prone to ground motion.

This work has been supported by DEMUWA project (grant agreement number SRF2022-2S1) financed by the Malta Council for Science and Technology through the Space Research Fund (Building Capacity in the Downstream Earth Observation Sector), a program supported by the European Space Agency. Funds were also made available through the IPAS+ (Internationalisation Partnership Awards Scheme), funded by the Malta Council for Science and Technology.

IMPORTANTE ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL ARCO DE LA PLACA DE SCOTIA. UN CASO DE ESTUDIO

Mora, Mariana C.^{1,2}; Canero, M. Florencia¹; Arecco, M. Alejandra^{3,4}; Larocca, Patricia A³; Oreiro, Fernando A.^{1,3}; Fiore, Mónica E.^{3,4}

1. Ministerio de Defensa, Servicio de Hidrografía Naval, Departamento de Oceanografía.
2. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Departamento de Agrimensura.
3. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas.
4. Universidad de la Defensa Nacional, Facultad de la Armada, Escuela de Ciencias del Mar.

mariana.c.mora@gmail.com

El Arco de Scotia es tectónicamente muy complejo, está formado por dos placas: Scotia y Sándwich del Sur. Los límites de las placas alrededor del Mar de Scotia son de tipo transcurrente, conocidos como dorsal Norte y Sur de Scotia, respectivamente. Al este se encuentra la dorsal oceánica que divide la Placa Scotia de la Placa Sándwich, y más al este corre la Fosa Sándwich del Sur, expresión topográfica de la Placa Sudamericana, la cual subduce bajo la microplaca Sándwich del Sur.

En el presente trabajo: i) se estudió la influencia de sismos, sobre el Campo Geomagnético (GMF, *Geomagnetic Field*) registrado en observatorios, en el área de estudio, de la red *International Real-time Magnetic Observatory Network* (INTERMAGNET): AIA (*Argentine Island - Antarctica*), PST (Puerto Argentino) y KEP (King Edward Point), ii) se evaluó un modelo tectónico creado a partir de datos gravimétricos provenientes de *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) y apoyado en trabajos publicados de sismica de refracción por *Lamont-Doherty Earth Observatory* (LDEO) y iii) se estudió el efecto producido sobre el nivel de la altura del agua (WL, *water level*) registrado en estaciones mareográficas del *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) a partir de actividad sísmica.

La metodología empleada consistió en la aplicación de la Transformada Wavelet Cruzada (XWT, *Crosswavelet Transform*) sobre el GMF con el propósito de determinar frecuencias y correlaciones anómalas antes y durante el instante de los eventos sísmicos. Además, se construyó un modelo tectónico 2D, transversal a la Dorsal Norte de Scotia, a partir de datos gravimétricos y sísmicos para caracterizar bordes y fallas estructurales activados en eventos sísmicos. Los registros de WL, recopilados en 6 estaciones mareográficas ubicadas en la región, fueron filtrados y analizados para identificar grupos de trenes de ondas de amplitud y frecuencia inusuales. Los resultados de XWT mostraron correlación directa, para los períodos de 0.50 y 1 hora en ambas transformadas, producto de fenómenos globales, mientras que la XWT: AIA-PST, próximo al sismo del 25/11/2013 (7 Mw), surgieron períodos de 1 y 6 horas, con una anticipación de 0.5 y 8 horas, probablemente debido a fenómenos locales (Figura B). El modelado gravimétrico delineó fallas activas y bordes de estructuras potencialmente activas por el tipo de margen transcurrente y compresional (Figura C). Se obtuvieron anomalías en WL hasta 1.30 m, posteriores al sismo del 12/08/2021 (8.1 Mw) (Figura D y E). El estudio de XWT: AIA-PST indica correlaciones directas en un mayor número de períodos que en AIA-KEP vinculado a la cercanía del sismo. El modelo gravimétrico exhibió un modelo tectónico coherente con un margen convergente y cizallado y reveló buzamiento paralelo de fallas y diques. En ese sentido, se modelaron, en el Banco Davis, 2 fallas activas durante los sismos de 1992 y 2000, y una zona de discontinuidad en la corteza continental que también se activó durante el sismo de 2021, que dan cuenta de la compresión en el margen. Se modeló una gran estructura, de alta densidad, paralela a las fallas, buzante hacia la meseta, entre cortezas, al Sur del Banco Davis,

denominada Dique I, dando cuenta del efecto compresivo provocado por el desplazamiento de la placa de Scotia hacia el Norte y hacia el Oeste. La onda de expansión del sismo llega a las estaciones mareográficas proporcionalmente a la distancia que las separa del epicentro, desarrollando un promedio de velocidad de 460 km/h. Futuros estudios analizarán las causas por las cuales la velocidad de desplazamiento de la onda que llega a PA lo hace superando en un 50% la velocidad de llegada a las restantes estaciones del área. La perturbación en WL tuvo duraciones inversamente proporcionales a las distancias del recorrido.

Palabras clave: Arco de Scotia; Sismos; Modelado 2D gravimétrico; Modelado magnético.

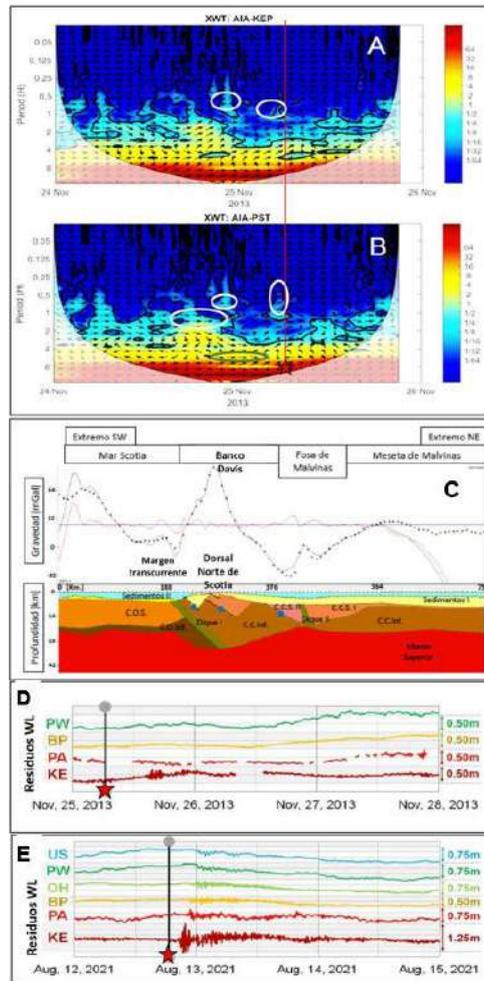


Figura: Transformada Wavelet Cruzada de las diferencias entre de campos geomagnéticos de los observatorios. **A:** Argentine Island - Antarctica (AIA) y King Edward Point (KEP). **B:** Argentine Island - Antarctica (AIA) y Puerto Argentino (PST), frecuencias anómalas (óvalos blancos), eje horizontal de tiempo, instante de ocurrencia del sismo (estrella y línea rojas). **C:** Modelo tectónico gravimétrico 2D. Anomalías de Aire Libre (AAL) observada (puntos negros), gravedad calculada (línea negra), diferencia (línea roja), Corteza Continental Superior (UCC), Corteza Continental Inferior (LCC), Corteza Oceánica Superior (UOC), fallas modeladas (línea discontinua), sismo ocurrido (punto azul). Residuo de la altura del agua. **D:** a partir del día 25/11/13. **E:** a partir del día 12/8/21. Estaciones mareográficas: King Edward (KE), Puerto Argentino (PA), Base Prat (BP), O'Higgins (OH), Puerto Williams (PW) y Ushuaia (US).

FUNCIONES DEL RECEPTOR SOBRE UN PERFIL EN EL BORDE ESTE DE LA CUENCA PANTANAL

Melina Lunansky^{1,2}, María Laura Rosa² y Martin Schimmel³

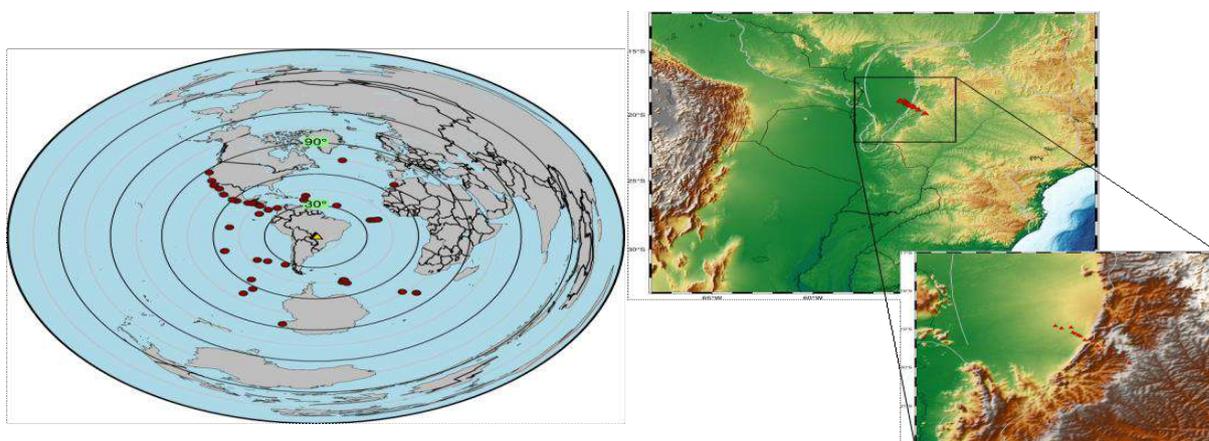
1. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
2. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - Universidad Nacional de La Plata.
3. Instituto de Ciencias de la Tierra Jaime Almera – CSIC.

mlunansky@fcaglp.unlp.edu.ar

El método de función del receptor es una técnica muy utilizada para obtener información acerca de la estructura bajo una estación sismológica a partir de formas de onda telesísmicas registradas en las tres componentes. La componente vertical del sismograma se convoluciona con la componente radial para remover el efecto de la fuente sísmica y la respuesta de instrumento, de la forma de onda. La serie de tiempo resultante es la función del receptor que está constituida por la fase P, las fases convertidas y sus reverberaciones múltiples en la estructura debajo de la estación sismológica. El hecho de que se usen ondas P telesísmicas que inciden casi verticalmente en la interfaz implica que prácticamente toda la energía de la onda P quedará registrada en la componente vertical del sismograma, mientras que las conversiones de P a S predominarán en la componente radial, lo que permite reconocer la fase Ps en los sismogramas y estimar la profundidad de la discontinuidad que generó dicha fase.

Aplicando la técnica de deconvolución iterativa en el dominio del tiempo, que presenta mayor estabilidad ante datos ruidosos comparado con los métodos en el dominio de la frecuencia, estudiamos la estructura cortical debajo de 12 estaciones sismológicas ubicadas en el borde este de la cuenca Pantanal.

La cuenca Pantanal es una depresión ancha y poco profunda en el centro-sur de Brasil que se desarrolló dentro del antepaís andino en respuesta a cargas y flexión de la placa sudamericana. El mecanismo que causa el actual hundimiento de la cuenca Pantanal aún se debate, principalmente, entre dos modelos: uno de origen Mioceno, relacionado con tensiones extensionales similares a otras cuencas de rift en el sudeste de Brasil y otro de origen Cuaternario, debido a tensiones de flexión extensional de largo alcance provenientes de la carga de la cadena andina. Por tal motivo, se busca proporcionar más información sobre las propiedades de la corteza en esta cuenca.



Figuras indicando la ubicación de las estaciones y sismos a partir de los cuales se calculan las funciones del receptor.

EVOLUCIÓN DE PARÁMETROS SÍSMICOS DURANTE EL PROCESO ERUPTIVO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO PLANCHÓN-PETEROA EN 2018

Verónica Laura Martínez¹, José Augusto Casas^{2,3}, Gabriela Alejandra Badi^{1,3},
Sebastián Esteban García³, Jesús M. Ibáñez^{4,5}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
3. Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), Servicio Geológico y Minero Argentino (SEGEMAR), Argentina.
4. Departamento de Física teórica y Cosmos, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España
5. Instituto Andaluz de Geofísica, Campus de Cartuja, Universidad de Granada.

vlmartinez@fcaglp.unlp.edu.ar

La gran mayoría de los observatorios volcanológicos del mundo construyen catálogos de eventos sismovolcánicos a partir de la identificación de señales empleando criterios en el dominio del tiempo y la frecuencia. En el dominio de la frecuencia se analizan las variaciones de la potencia espectral a lo largo del tiempo que dura la señal (espectrograma) mientras que en el dominio del tiempo se evalúan los posibles arribos de fases, su retraso relativo y su impulsividad. De esta manera, es posible clasificar los eventos principalmente en Volcanotectónicos (VT), Largo Período (LP), Muy Largo Período (VLP), Híbridos (HB), Explosiones (EX) y Tremor (TR). Junto a esta amplia variedad de señales de origen volcánico se registra una microsismicidad de origen diverso que debe ser discriminada (microsismicidad oceánica, caídas de rocas, rupturas de hielo, etc.). A su vez, la mayor parte de los registros está conformada por ruido sísmico ambiental, es decir, energía originada por diversas de fuentes, las que, en su conjunto, definen un campo de energía sísmica de naturaleza aleatoria.

Tradicionalmente, los eventos se clasifican de forma manual a partir de la experiencia e interpretación del analista mediante un método subjetivo que puede conducir a inconsistencias entre, o incluso dentro de, conjuntos de datos. En los últimos años, se han incorporado herramientas de inteligencia artificial que objetivan la detección y clasificación, pero requieren un entrenamiento exhaustivo y revisión por expertos. En series sísmicas rápidas, o incluso en períodos de TR continuo, resulta altamente dificultosa la detección de eventos individuales y la identificación de precursores eruptivos que permitan interpretar en tiempo real los procesos físicos que los generan. Ello representa un importante obstáculo para el pronóstico de procesos eruptivos inminentes. Por tal motivo, la comunidad científica, paralelamente, ha contribuido al desarrollo de metodologías que no sean tan fuertemente afectadas por los sesgos del analista y que contribuyan a la mejor descripción del tipo y nivel de actividad del sistema volcánico de interés. A tal fin, se exploran los parámetros relativos a señales discretas, repetitivas, o incluso continuas, aquellos que sean efectivos para el entendimiento de la dinámica volcánica (Buurman y West, 2010). Entre estos parámetros, se destacan la Medida de Amplitud Sísmica en tiempo Real (RSAM), la Medida de Amplitud Sísmica Espectral en tiempo real (SSAM), el Índice de Frecuencia (FI), la entropía de la señal, las técnicas de ruido sísmico ambiental y las correlaciones cruzadas de eventos.

Durante el año 2016 el Complejo Volcánico Planchón-Peteroa experimentó una crisis sísmica con un aumento notable en la cantidad de eventos VT registrados. Esto llevó a que su nivel de alerta técnica se mantuviera en amarillo de forma casi permanente hasta noviembre de 2017, bajándose a nivel de alerta técnica verde a partir del 15 de diciembre del mismo año. En junio de 2018, el aumento de la actividad de LP y TR nuevamente alertó a las autoridades responsables del monitoreo, pero sin síntomas superficiales ni una liberación importante de energía sísmica. En octubre de 2018, sin notables cambios

en la sismicidad registrada previamente, comenzó el proceso eruptivo con algunas emisiones esporádicas de cenizas. El 14 de diciembre de 2018 la columna eruptiva obligó a evacuar las zonas aledañas (SEGEMAR, 2019). El Complejo Volcánico se mantuvo con emisiones moderadas pero continuas, la ausencia de material particulado posterior a la emisión del 3 de junio en las emisiones registradas y la normalización de los parámetros de monitoreo llevaron a una baja del nivel de alerta técnica del Complejo a verde a partir del 15 de agosto de 2019. (RNVV-SERNAGEOMIN, Reportes Especiales de Actividad Volcánica, <https://www.sernageomin.cl/red-nacional-de-vigilancia-volcanica/>, OAVV-SEGEMAR, <http://oavv.segemar.gov.ar>)

Este trabajo presenta un análisis de la evolución de las señales registradas por la estación ICES (OAVV-SEGEMAR) ubicada a unos 6.7 km del cráter activo del Vn. Peteroa desde marzo de 2016 hasta el fin del ciclo eruptivo 2018-2019, para una mejor y más objetiva identificación y caracterización de los eventos que conforman su catálogo.

El análisis de los cambios en la energía liberada, de su distribución espectral, el índice de frecuencia y la entropía, permiten, junto a otros parámetros, identificar los cambios ocurridos en momentos previos a la erupción e interpretar el estilo eruptivo de este sistema volcánico estableciendo patrones de comportamiento.

Las herramientas y los resultados obtenidos constituyen un avance en el monitoreo del CVPP. En un futuro próximo, se espera adicionar los parámetros descritos a los cálculos automáticos que componen las rutinas de monitoreo del OAVV.

Referencias

- Buurman, H., and West, M. E., 2010. Seismic Precursors to Volcanic Explosions During the 2006 Eruption of Augustine Volcano. The 2006 Eruption of Augustine Volcano, Alaska. 1769.
- SEGEMAR, 2019. Badi, G., Carbajal, F., Elissondo, M., García, S., Kaufman, J., Olivera Craig, V. H., Sruoga, P., Tejedo, A. Complejo Volcánico Planchón-Peteroa, erupción diciembre de 2018; estado de actividad, peligros asociados y recomendaciones.

MODELADO DEL BASAMENTO DE UNA CUENCA PROFUNDA OFFSHORE. CUENCA ARGENTINA

Arecco, M. Alejandra^{1,2}; Larocca, Patricia A.; Mora, Mariana C.^{3,4}; Canero, M. Florencia³

1. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas.
2. ²Universidad de la Defensa Nacional, Facultad de la Armada, Escuela de Ciencias del Mar.
3. Ministerio de Defensa, Servicio de Hidrografía Naval, Departamento de Oceanografía.
4. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Departamento de Agrimensura.

marecco@fi.uba.ar

El margen continental argentino está compuesto por diversos tipos de márgenes. En particular, su extremo NE presenta el tipo pasivo volcánico, resultado de la apertura y expansión del fondo del Océano Atlántico Sur ocurrido aproximadamente entre 126 y 137 Ma. El análisis de la estructura del margen continental argentino implica realizar un estudio de su corteza continental y oceánica y caracterizar el espesor sedimentario y fallas en el basamento cristalino, el cual es asiento y control de la gran y profunda cuenca Argentina. Esta cuenca, ubicada más allá del talud, se extiende bajo la emersión continental, a profundidades aproximadamente entre 4000 a 9000 m, correspondientes al fondo marino y basamento, respectivamente. La cuenca se emplaza en una dirección aproximadamente NE-SW, desde los 36° de latitud sur hasta la escarpa de Malvinas. Grandes depocentros caracterizan esta cuenca, alcanzando espesores que van de 2000 a 5000 m. El basamento bajo la cuenca está caracterizado por presentar estructuras como cuñas inclinadas hacia el mar denominadas SDRs (*seaward-dipping reflector series*), diques de alimentación en la zona de transición de cortezas (COT) y la discontinuidad del borde de la corteza continental-oceánica (COB).

Se aplicaron métodos semiautomáticos de interpretación como las deconvoluciones de Werner y de Euler sobre los campos de gravedad y magnetismo para calcular la profundidad de estructuras simples como diques y contactos en el basamento. Para validar el modelado de estos campos potenciales se utilizó información proveniente de registros sísmicos, procesados e interpretados que contribuyeron a establecer las restricciones pertinentes para dicho modelado. Los datos de gravedad, magnetismo y sísmicos provinieron de campañas oceanográficas realizadas por el *Lamont Doherty Earth Observatory* (LDEO) entre 1960 y 1970, el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) entre 1987 y 2004 y la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA) entre 2001 y 2002.

En este trabajo se modela el basamento del depocentro septentrional de la cuenca Argentina a partir de métodos semiautomáticos, de un perfil a los 40° de latitud sur, en una zona de potencial interés económico por sus recursos naturales. La Figura 1A corresponde al perfil sísmico-modelo tectónico sobre el cual se han interpretado fuentes como SDRs, una zona de diques de alimentación, contornos del subplacado magmático, estructuras en el COT, la discontinuidad de Moho, el COB y estructuras en la corteza oceánica. En la Figura 1B se muestran la anomalía magnética y su primera derivada horizontal ($\partial T/\partial x$), identificándose la anomalía magnética G con 130 nT de amplitud. Las estructuras interpretadas en el perfil 2D, a partir de las soluciones de Werner, se validan con la información sísmica en una integración gráfica, obteniéndose gran coherencia entre las estructuras de los SDRs, alimentación de diques en el COT y discontinuidades en el COB. Se concluye que i) el basamento cristalino más liso corresponde a una corteza continental de transición, producto de la atenuación de la corteza durante el

proceso de apertura de Gondwana y basamento más rugoso corresponde a la corteza oceánica producto de la expansión del fondo oceánico durante el Mesozoico, ii) los depocentros Norte y Sur, yacen sobre basamento poco rugoso, sobre Corteza Continental de Transición, iii) diques y contactos de la deconvolución de Werner y las unidades del modelado gravimétrico permitieron caracterizar límites del basamento y iv) un importante alto basamental al Este, en el depocentro Norte, controla el borde oriental de la cuenca Argentina.

Palabras clave: Cuenca Argentina; Modelado del Basamento; Deconvolución de Werner

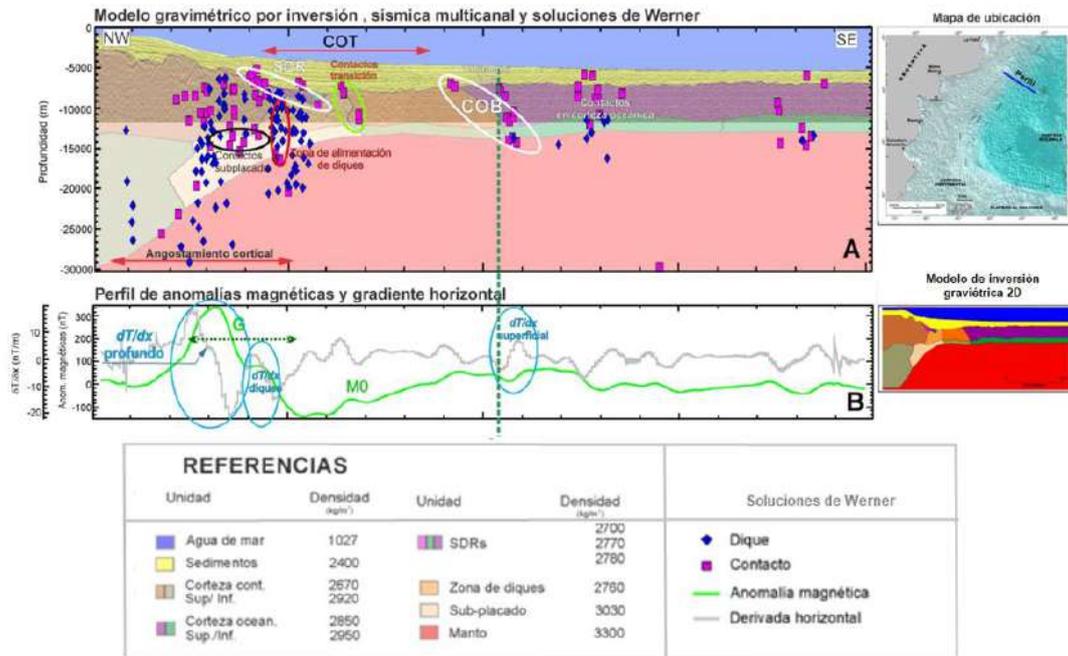


Figura 1: A: Superposición del perfil sísmico-modelo tectónico y soluciones de la deconvolución de Werner. Contactos (cuadrado rosa), diques (rombo azul). Interpretación de las principales estructuras del basamento bajo la cuenca: Sub-placado, SDRs, COB (*Continental Oceanic Boundary*). B: Perfil de anomalías magnéticas (línea verde) y gradiente horizontal (línea gris). Anomalías magnéticas conspicua G y M₀.

Referencias

Arecco, M.A., Ruiz, F., Pizarro, G., Giménez, M.E., Martínez, M.P., Ramos, V., 2016. Gravimetric determination of the continental–oceanic boundary of the Argentine continental margin (from 36°S to 50°S), *Geophysical Journal International*, 204, 366-385 doi: 10.1093/gji/ggv433.

Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental. (2017). *El margen continental argentino entre los 35° y 55° de latitud sur en el contexto del artículo 76 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar*. Buenos Aires: Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, 1ra edición, 455 pág.

Jokat, W., Boebel, T., König, M., Meyer, U., 2003. Timing and geometry of early Gondwana breakup. *J. Geophys. Res.* 108 (B9), 1–19. doi:10.1029/2002JB001802.

Hernández-Molina, F.J.; Paterlini, M.; Somoza, L.; Violante, R.; Arecco, M.A.; de Isasi, M.; Rebesco, M.; Uenzelmann-Neben, G.; Neben, S.; Marshall, P. 2010. Giant mounded drifts in the Argentine Continental Margin: origins and global implications in the thermohaline circulation. *Marine and Petroleum Geology*, 27, 1508-1530. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2010.04.003

CONFIGURACIÓN TECTONO-ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO TURBIO, TIERRA DEL FUEGO. ARGENTINA

Prezzi, Claudia^{1,2}; Onorato, M. Romina³; Vazquez Lucero, Sebastián^{1,2}; Orgeira, María Julia^{1,2}; Ríos, Natalia³; Perucca, Laura³; Coronato, Andrea^{4,5}; Gorza, Candela⁴; López, Ramiro⁴

1. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Depto. de Ciencias Geológicas, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, 1428, CABA, Argentina.
2. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBA), Pabellón 2, Ciudad Universitaria, 1428, CABA, Argentina.
3. INGEO-UNSJ-CONICET, Gabinete de Neotectónica y Geomorfología, Instituto de Geología Emiliano P. Aparicio, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, Av. Ignacio de la Roza (oeste) 590, J5402DCS, San Juan, Argentina.
4. Laboratorio de Geomorfología y Cuaternario. CADIC-CONICET. 9410, Ushuaia, Argentina.
5. Instituto de Ciencias Polares, Recursos Naturales y Ambiente (ICPA), Universidad Nacional de Tierra del Fuego (UNTDF). Walanika 250, 1º, 18 9410, Ushuaia, Argentina.

prezzi@gl.fcen.uba.ar

La cuenca del río Turbio está ubicada en el centro este de la Isla Grande de Tierra del Fuego, en el sector austral de Argentina. Su principal colector tiene sus nacientes en la Sierra de Lucio López a una altura aproximada de 800-900 m s.n.m, drenando hacia el NO hasta las cercanías de la laguna Aguas Blancas. El río Turbio en este sector presenta un sentido de flujo predominante hacia el NE. Se estima que la modificación del sentido del drenaje es debida al control impuesto por estructuras asociadas al Sistema de Fallas Magallanes - Fagnano (SFMF). El SFMF habría provocado la migración del río Turbio hacia el O, modificando su antiguo drenaje, desembocando en la actualidad en el lago Fagnano.

Con la finalidad de contribuir al conocimiento de la configuración tectono-estructural de la cuenca del río Turbio, se llevaron adelante relevamientos geoelectrónicos, gravimétricos y magnetométricos en la zona de estudio.

Se realizaron Sondeos Eléctricos Verticales, que luego fueron combinados para obtener modelos de resistividades en 2D, a lo largo del río Turbio, atravesándolo en diferentes sectores, con el objetivo de determinar si el mismo está controlado por una falla, posiblemente asociada con la traza principal del borde de placas Magallanes-Fagnano y sus dimensiones. El equipo utilizado fue un resistivímetro digital GEOMETER MPX-400 By PONTI Electronics. Por otra parte, se midió la intensidad del campo magnético terrestre en los mismos sectores donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales, con un magnetómetro de precesión protónica Geometrics G857. La georeferenciación de cada una de las estaciones se determinó mediante el uso de GPS. También se realizaron relevamientos gravimétricos en dichos sectores, con un gravímetro ZLS, modelo Burris Non-Calibrated Screw Gravity Meter, Versión STANDARD. Las estaciones gravimétricas fueron georeferenciadas mediante GPS diferencial.

Los relevamientos realizados llevan a proponer que la cuenca del río Turbio está controlada por la falla Jeujepén y otras fallas menores, estrechamente vinculadas al Sistema de Fallas Magallanes-Fagnano. De este modo se amplió el conocimiento acerca de la estructuración de la región y el peligro geológico potencial directo e indirecto que representa la falla Jeujepén para este sector de la Isla Grande de Tierra del Fuego, particularmente para la ciudad de Tolhuin.

CALIBRACIÓN DE UN MODELO DE FÍSICA DE ROCAS ANISÓTROPO PARA SHALES DE LA FORMACIÓN PALERMO AIKE MEDIANTE DATOS DE POZO Y RECORTES DE PERFORACIÓN

Ravazzoli, Claudia L.^{1,2}; Panizza, Guido³ y Camilión Emilio³

1

1. Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
2. CONICET, Argentina.
3. YPF Tecnología S.A., Argentina

claudia@fcaglp.unlp.edu.ar

La formación Palermo Aike (también conocida como Inoceramus), es la principal roca generadora de la Cuenca Austral. Está constituida por rocas pelíticas marinas de origen cretácico, ricas en materia orgánica. En la zona de estudio se subdivide en dos unidades litoestratigráficas: las formaciones Margas Verdes (MV) y Pampa Rincón (PR). Teniendo en cuenta sus reservas estimadas en 10000 millones de barriles equivalentes (MBOE) y sus características geológicas, se espera que Palermo Aike se convierta en uno de los mayores reservorios no convencionales tipo *shale* del país. En tal sentido, la evaluación de parámetros elásticos y geomecánicos a escalas de pozo es de gran importancia tanto para su caracterización como para la planificación y diseño de estrategias de perforación y producción. Esto cobra especial relevancia en reservorios no convencionales formados por shales (pelitas) ricas en materia orgánica. En trabajos previos hemos analizado y cuantificado la anisotropía elástica típica en estas rocas (Panizza et al. 2022), lo que requiere de al menos cinco módulos elásticos para su descripción. Como es sabido, los perfiles de pozo no proveen suficiente información para su completa determinación, con lo cual la aplicación de herramientas de física de rocas resulta de gran utilidad. Con esta idea, en este trabajo se reunieron y utilizaron datos medidos en pozo (perfiles sínicos dipolares, de porosidad, de densidad, de saturación de agua y otros), descripciones mineralógicas y de contenido orgánico, determinados a partir de estudios de laboratorio sobre *cuttings* (recortes de perforación) y parámetros elásticos de los componentes de la roca obtenidos del ajuste de un modelo a escala de laboratorio, para calibrar un modelo de física de rocas de tipo poroelástico a escala de pozo. Este último modelo consiste en una combinación de la teoría *porosity-deformation-approach* desarrollada por Shapiro (2017 y trabajos relacionados), para los módulos elásticos de la matriz y el modelo de Ciz y Shapiro (2007) para la roca compuesta saturada. Esta última formulación, consistente en una generalización del clásico modelo de Gassmann para incluir anisotropía y relleno poral sólido, fue modificada para tener en cuenta la existencia de porosidad efectiva y saturación de fluidos. Con esta formulación es posible introducir en la calibración la dependencia de las velocidades con la presión diferencial (es decir, la diferencia entre el esfuerzo litoestático y la presión poral) a cada profundidad, que se supondrá *no hidrostático*. A su vez, se procedió a calibrar un modelo de densidad. El modelo poroelástico calibrado mediante este flujo de trabajo se utiliza para determinar el tensor de coeficientes elásticos efectivos de las rocas en el intervalo estudiado (del orden de 200 m), para predecir velocidades sínicas y para estimar la anisotropía de la formación. Además, para el cálculo de coeficientes geomecánicos anisótropos de interés como los de Young y Poisson en distintas direcciones.

Referencias

- Ciz, R., y Shapiro, S. A., 2007, Generalization of Gassmann equations for porous media saturated with a solid material: *Geophysics*, **72**, no. 6, A75-A79.
- Panizza, G., Ravazzoli, C.L. and Camilión, E. 2022, Stress-Dependent Anisotropic Rock

Physics Modelling in Organic Shales of the Inoceramus Formation, Austral Basin, Argentina. *Pure Applied Geophysics* **179**, 2437–2460.

Shapiro, S. A., 2017, Stress impact on elastic anisotropy of triclinic porous and fractured rocks: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **122**, no. 3, 2034–2053.

ESTUDIO GEOFÍSICO DE UN SECTOR DE LA CUENCA INFERIOR DEL RÍO URUGUAY. RESULTADOS PRELIMINARES

Graneros, M.¹; Ramos, J.^{2,3}; Golbach, J.R.^{1,4}; Menta, A.⁵; Giménez, M.⁵; Reyes, M.⁵, Borrero, A.³; Gamazo, P.³

1. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
2. Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Argentina.
3. Departamento del Agua, CENUR LN, Universidad de la República, Uruguay.
4. Departamento de Geodesia y Topografía, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
5. IMFIA, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.

jimegraneros@gmail.com

Los humedales son zonas terrestres donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Son áreas que permanecen inundadas o con suelos saturados durante largos períodos de tiempo. Algunos de estos ecosistemas están relacionados con las aguas subterráneas al intercambiar aportes en zonas de recarga, tránsito o descarga de acuíferos. Sin embargo, algunas actividades humanas, que afectan al suelo o a los acuíferos, pueden poner en riesgo sus funciones y servicios, así como los ecosistemas asociados a ellos.

Los recursos hídricos subterráneos en la región central del litoral uruguayo se obtienen principalmente de sedimentos permeables Cretácicos, pertenecientes a las formaciones Asencio y Mercedes. Estos episodios sedimentarios tienen continuidad en la Mesopotamia Argentina, donde se encuentran depósitos correlacionables. Sin embargo, esto no indica que los acuíferos explotados en ambos márgenes sean los mismos ni que el potencial productivo sea similar. El afloramiento de formaciones de edades cuaternarias y terciarias en el centro-este de Entre Ríos, con capacidad acuífera suficiente para consumo humano, animal, uso industrial y riego, condicionan a que la extracción del agua subterránea en casi su totalidad corresponda a acuíferos superficiales. Esto imposibilita el conocimiento de las características de acuíferos de edad Cretácica de ese sector por no ser utilizados como fuente de abastecimiento. Por lo que, para investigar el subsuelo a mayor profundidad, se debe recurrir a datos obtenidos de perforaciones termales profundas o estudios geofísicos.

La exploración geoelectrónica es uno de los métodos geofísicos principales para caracterizar acuíferos, mediante diferentes técnicas permite estimar la geometría a partir de mediciones indirectas realizadas en la superficie del terreno. La existencia de técnicas alternativas en este campo para determinar en ocasiones una misma propiedad física, íntimamente relacionadas con las características del subsuelo y la naturaleza geológica de los materiales en profundidad, resulta extremadamente útil, ya que algunas pueden ser más aplicables o prácticas en ciertas circunstancias que otras.

El objetivo de esta investigación es emplear métodos eléctricos y electromagnéticos para comenzar a correlacionar la información existente en el departamento de Río Negro en territorio uruguayo, donde ya se cuenta con un modelo hidrogeológico, y un área equivalente que ocupa de forma parcial los departamentos Uruguay y Gualeguaychú en territorio argentino. La disparidad en la disponibilidad de datos para comprender el subsuelo entre ambos márgenes del río Uruguay presenta un desafío y fue lo que motivó el desarrollo de esta investigación. Algunas de las razones para enfocar interés en aportar conocimiento científico del sector acuífero en esta zona es el alto valor ecológico debido al ecosistema ribereño que sostiene, a las comunidades aledañas y el objetivo de alcanzar un desarrollo sustentable.

Este estudio integra información proveniente de trabajos antecedentes y nuevos datos geofísicos adquiridos en el sector argentino, en zonas donde no se cuenta con información. Se mostrará un mapa del grado de estudio geofísico en la zona de estudio, junto con los resultados preliminares. Esta información será fundamental para desarrollar un modelo físico-geológico del subsuelo en el área de trabajo, sirviendo como base para investigaciones futuras.

Palabras Clave: Prospección geoelectrica, Acuífero, Hidrogeología, Entre Ríos, Uruguay.

ASIMILACIÓN DE HUMEDAD DE SUELO EN LA REGIÓN CHACO-PAMPEANA USANDO DATOS SATELITALES DE SMAP Y SMOS

Obregón, Fabricio Matías; Pulido, Manuel; Lucini, María Magdalena

1. Universidad Nacional del Nordeste / CONICET.
2. Instituto de Modelado e Innovación Tecnológica Argentina.

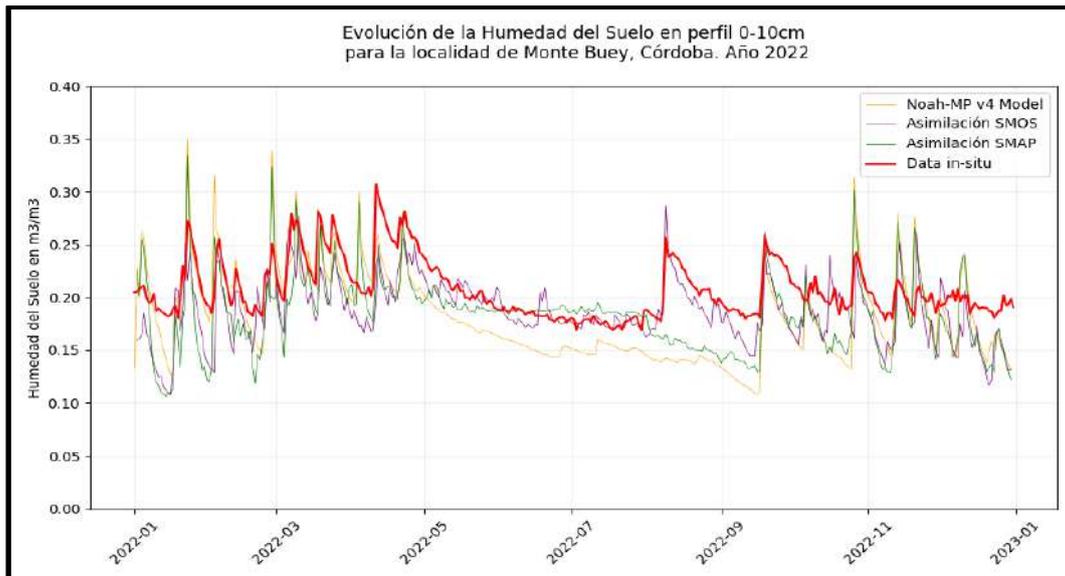
matti.obregonf@gmail.com

La humedad del suelo tiene un importante rol climático, impactando en la disponibilidad de agua, particularmente en zonas áridas y regulando la evapotranspiración y el flujo de humedad atmosférica. Afecta en forma directa a la producción agrícola desarrollada en la región, ya que la humedad del suelo es uno de los elementos más relevantes en el ciclo hidrológico. Posee una compleja variabilidad espacio-temporal en sintonía con los procesos que la involucran y por ende se dificulta su modelación producto de su dependencia de procesos atmosféricos (Santanello Jr. et al., 2011).

Por lo tanto, es importante que la humedad del suelo sea inferida a través de observaciones. La existencia de estaciones perfiladoras in-situ, aunque de alta precisión, resulta geográficamente limitada ya que solo obtiene información en una localización específica. Por el contrario, los sensores remotos equipados a bordo de satélites permiten obtener información de grandes áreas con relativamente buena resolución (espacial y temporal), como, por ejemplo, las misiones SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity*) de la Agencia Espacial Europea y SMAP (*Soil Moisture Active-Passive*) de la NASA. A pesar de estas ventajas, los datos satelitales, en general, se encuentran limitados a la órbita de sus pasadas, las mediciones son ruidosas y precisan de la corrección de sesgos, por lo que se requiere de metodologías para procesar la información obtenida y que ésta sea de utilidad.

El presente trabajo propone la utilización de la asimilación de datos basada en el filtro de Kalman por ensambles (Carrassi et al., 2018), la cual es una técnica de Monte Carlo secuencial basada en la hipótesis de gaussianidad de las incertezas, que permite combinar datos de modelos predictivos con distintas fuentes observacionales. Aquí se aplica a un modelo de suelo (Noah-MP LSM), con el cual se llevan a cabo simulaciones mediante el framework LIS de la NASA (Kumar et al., 2006). Con ello se genera un ensamble de estados que representa la evolución de la humedad del suelo a lo largo de un período y se combina con datos con el objeto de realizar estimaciones probabilísticas de la humedad del suelo. Para esto se utilizan como forzantes atmosféricos los datos de reanálisis de MERRA-2.

En los experimentos de asimilación conducidos se evalúan las técnicas de corrección del sesgo observacional en las condiciones de sequía extrema ocurridas en el año 2022 para la región de análisis.



En la figura se muestra la evolución temporal de la humedad del suelo (en m^3/m^3) en el sitio de Monte Buey, Córdoba. Se representan los promedios de los ensambles correspondientes a dos experimentos de asimilación con datos de SMAP (verde) y de SMOS (púrpura) llevados a cabo para el año 2022. Asimismo, se representan los pronósticos del modelo de suelo NOAH-MP sin práctica de asimilación de datos (naranja) y el promedio de un conjunto de mediciones in-situ de la red telemétrica de humedad de suelo (RTHS) de la CONAE utilizada para validación en el sitio (rojo), la cual ha estado midiendo en forma continua y progresiva por un período superior a 10 años. Cabe aclarar que este último es utilizado para realizar la validación de los resultados y no se incluye como dato de procesamiento en el sistema de asimilación.

Se aprecia que durante el evento de sequía (de mayo a agosto del 2022) el comportamiento de secado observado con la red in-situ es capturado por la asimilación de datos de SMOS, mientras que una anómala corrección de sesgo en la asimilación de SMAP provoca una sobreestimación de la humedad del suelo. En el periodo posterior (septiembre de 2022), no se registran observaciones satelitales de SMAP ni forzantes de precipitaciones, por lo que se extiende el período de sequía en la estimación obtenida.

En la presentación, también se mostrarán los resultados obtenidos usando este sistema en los experimentos de asimilación para las localidades de General Villegas, Provincia de Buenos Aires y Villa Ángela, Provincia del Chaco, comparando la performance del sistema en estos sitios.

Referencias

- Carrassi, A., Bocquet, M., Bertino, L., & Evensen, G. (2018). Data assimilation in the geosciences: An overview of methods, issues, and perspectives. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(5). <https://doi.org/10.1002/wcc.535>
- Kumar, S. V., Peters-Lidard, C. D., Tian, Y., Houser, P. R., Geiger, J., Olden, S., Lighty, L., Eastman, J. L., Doty, B., Dirmeyer, P., Adams, J., Mitchell, K., Wood, E. F., & Sheffield, J. (2006). Land information system: An interoperable framework for high resolution land surface modeling. *Environmental Modelling & Software*, 21(10), 1402-1415. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.004>
- Santanello Jr., J. A., Peters-Lidard, C. D., & Kumar, S. V. (2011). Diagnosing the Sensitivity of Local Land–Atmosphere Coupling via the Soil Moisture–Boundary Layer Interaction. *Journal of Hydrometeorology*, 12(5), 766-786. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-10-05014.1>

ESTUDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA ROTACIÓN TERRESTRE

Alejandro Navarro¹, Vanesa Rivero¹, Ana M. Pacheco¹, Ricardo C. Podesta¹, Johana Quinteros¹ & Hernán Alvis Rojas¹

1. Observatorio Astronómico Félix Aguilar, UNSJ, Argentina.

alenavarro0111@gmail.com

Durante la historia, el hombre ha tenido como necesidad medir el tiempo lo mejor posible, por lo cual esa tarea ha sido continuamente perfeccionada. Se pensaba que la Astronomía ofrecía movimientos regulares y se usó para determinar el tiempo. Se valió del movimiento aparente de los cuerpos celestes como el Sol, la Luna y los astros alrededor de la Tierra. Estos fueron tomados como patrones de tiempo, definiendo las horas, el día y el año.

Hoy se sabe claramente que el movimiento de Rotación de la Tierra es un fenómeno irregular e impredecible. Esto hace que la duración del día (Length of day – LOD) varíe con el tiempo. El LOD, definido como la diferencia entre la duración del día determinada astronómicamente y 86.400 segundos del Tiempo Atómico Internacional (TAI), desde el año 2020 viene registrando una constante disminución.

Por otro lado, la técnica SLR (Satélite Laser Ranging) es la que permite determinar con altísima precisión los valores de los EOP's, parámetros de Rotación de la Tierra de corto periodo, entre ellos el LOD. El Observatorio Astronómico Félix Aguilar cuenta con un telescopio SLR desde el año 2005 gracias a un convenio de colaboración con la Academia China de Ciencias. (Figura 1).



Figura 1: Telescopio SLR del OAFA

En este trabajo se muestran las series de tiempo de LOD procesadas a partir de los observables SLR en el período correspondiente a 14 años, desde el 01/01/2010 hasta el 31/03/2024, se analizan también los valores anómalos y los posibles fenómenos que los causan.

EVOLUCIÓN DE LAS CO-LOCALIZACIONES EN EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO FÉLIX AGUILAR.

Quinteros, J.¹, Podestá, R.¹; Pacheco, A.M¹; Alvis Rojas, H.¹; Navarro, A.¹

1. Observatorio Astronómico Félix Aguilar – FCEFNO – UNSJ.

ing.iquinteros@gmail.com Instagram: @joha.quin

Las modernas técnicas geodésicas espaciales de observación Very Long Baseline Interferometry (VLBI), Lunar Laser Ranging (LLR), Satellite Laser Ranging (SLR), Global Navigation Satellite System (GNSS) y Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) son las que actualmente considera el International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) para la definición de los Sistemas de Referencia Celeste y Terrestre. La materialización del Sistema de Referencia Terrestre Internacional se concreta a través del International Terrestrial Reference Frame (ITRF), que consiste en una red formada por distintas estaciones distribuidas en todo el mundo, las cuales tienen calculadas sus coordenadas, como así también sus respectivas velocidades. Un elemento clave para la construcción de un ITRF es contar con sitios Co-localizados, donde estén operando dos o más técnicas geodésicas espaciales y donde las coordenadas de los puntos de referencias (instrumentos) deben conocerse con altísimo grado de exactitud. Así el ajuste logrado por la combinación de las coordenadas de la estación es más confiable que los resultados conseguidos por cada una de las técnicas en forma individual.

El objetivo fundamental en una Co-localización es conformar una red geodésica con puntos de apoyo distribuidos alrededor de los instrumentos, y de esta manera determinar, mediante trabajos topogeodésicos, sus coordenadas y poder calcular así, el vector que une los centros geométricos de los instrumentos en cuestión. Estos vectores también llamados Local Ties (LT), tienen gran importancia, ya que la estación donde se determinan adquiere jerarquía de "Primer Orden" dentro del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF).

En el Observatorio Astronómico Félix Aguilar (OFA) en San Juan, Argentina (Figura 1), se colabora activamente con el IERS en las realizaciones del ITRF a través de observaciones con un sistema SLR, producto de un convenio entre la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) y la Academia China de Ciencias. Además, desde 2012, gracias al mismo convenio, también se instaló en el predio una Estación Permanente GPS, y finalmente desde 2018 está operativa una antena y baliza DORIS producto de un convenio entre el Instituto Geográfico Nacional de Francia y la UNSJ. Motivo por el cual ha resultado necesario realizar periódicamente tareas de Co-localización entre las técnicas instaladas en el terreno del OFA.

Desde 2013 hasta la fecha se han realizado cuatro Co-localizaciones con el objetivo de determinar los vectores de vinculación entre las técnicas geodésicas espaciales instaladas en el predio de la sede central del OFA. La determinación de estos vectores en 3D, se ha realizado satisfactoriamente en lo que respecta a la precisión lograda en la materialización del centro óptico instrumental y la precisión alcanzada en la determinación de las medidas, ya que están dentro de la estipulada por el International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) como tolerancia máxima para este tipo de trabajos (3 mm).

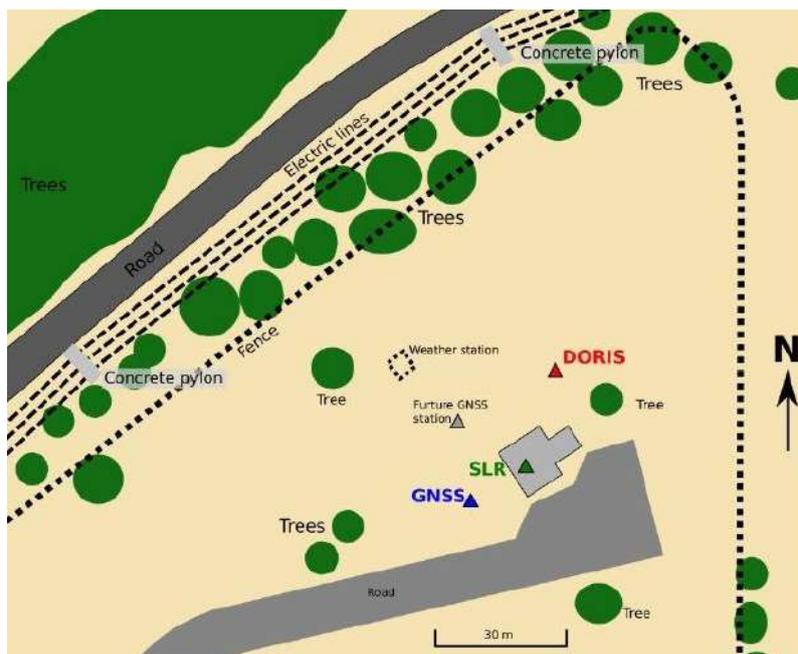


Figura 1: Distribución de las Técnicas Geodésicas en el predio del OIFA.

En este trabajo se compararán las cuatro Co-localizaciones realizadas en el Observatorio Astronómico Félix Aguilar, como así también se mostrarán los resultados obtenidos con el instrumental empleado en cada caso.

Referencias

- Podestá, R. C., Sales, J. L., Márquez, R. A., & ZhiQiang, Y. (2013). Co-localización de las técnicas espaciales satelitales satellite Laser Ranging (SLR) y Global positioning system (GPS) en el Observatorio Astronómica Félix Aguilar (OIFA), para integrar esta estación al International Terrestrial Reference Frame (ITRF)
- Pacheco, A. M., Quinteros J., Podestá R., Alvis Rojas, H., Adarves, S., Jinzeng, L., Weidong, L., Saunier, J., Navarro, A., Millán, A., y Tapia, J.M. (2019). Avances de la Geodesia Espacial en San Juan.
- Quinteros, J., Pacheco, A.M., Podestá, R., Alvis Rojas, H., Weidong, L., Pesce, D., Saunier, J. (2019). Proceso de actualización de la estación geodésica OIFA – San Juan, Argentina.

DETERMINACIÓN DE EOPS A PARTIR DE INFORMACIÓN SLR A SATÉLITES LAGEOS Y ETALON.

R. Galván^{1,3}, M del R. Etchegoyen², F.E. Toledo¹, M. Carbonetti², M.F. Häfner^{1,4}, M. Gende^{1,3}

1. Observatorio Argentino Alemán de Geodesia – AGGO - CONICET.
2. Instituto Geográfico Nacional – IGN.
3. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP.
4. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie – BKG.

rgalvan@aggo-conicet.gob.ar; metchegoyen@ign.gob.ar

SLR (Satellite Laser Ranging) es una técnica de medición en la cual desde un telescopio óptico en una estación en tierra se emite un pulso láser, se refleja en retroreflectores a bordo de satélites y regresa en la misma dirección nuevamente a la estación. A partir del tiempo de ida y vuelta del pulso láser, es posible medir las distancias entre la estación en tierra y los retroreflectores colocados en satélites.

SLR es una de las cuatro técnicas geodésicas espaciales fundamentales que contribuyen a la determinación precisa de la forma geométrica de la Tierra y las posiciones y velocidades sobre la misma, por medio de la estimación de parámetros de orientación terrestre (EOP), en particular la determinación del movimiento del polo instantáneo de rotación (X_p e Y_p) y la longitud del día (LOD).

LAGEOS y Etalon son satélites esféricos pasivos diseñados exclusivamente para mediciones SLR. Sus órbitas fueron definidas para reducir las perturbaciones orbitales causadas por el *drag* atmosférico y la atracción del campo de gravedad terrestre, entre otros. A partir de los datos SLR obtenidos por medio de dichas misiones satelitales es posible estimar elementos orbitales y EOP para un período temporal dado.

En el año 2017 el Instituto Geográfico Nacional (IGN) argentino, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia Alemana (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie- BKG) firmaron un acuerdo tendiente al establecimiento de un programa científico y técnico conjunto para el uso de la información producida por AGGO (Observatorio Geodésico Argentino-Alemán) y al desarrollo profesional del personal técnico del Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas (CIGA). Para honrar dicho convenio se han realizado en los últimos 3 años avances conjuntos en el procesamiento de información SLR de las misiones satelitales LAGEOS y Etalon.

En este trabajo se muestran los resultados alcanzados en la determinación de los EOPs a partir de la información recolectada por todas las estaciones SLR del globo durante el período comprendido entre agosto del 2021 y julio del 2022, sumando en su conjunto un año de datos procesados. Los resultados alcanzados fueron comparados con los valores de la solución combinada C04 provista por ITRF. Se ha logrado un acuerdo del orden de 0.25-0.30 ms para las componentes de polo y 0.2-0.4 ms para LOD. Adicionalmente dichas soluciones fueron comparadas con las obtenidas por los Centros de Análisis oficiales pertenecientes al ILRS BKG, DFGI y GFZ, con la intención de validar los resultados obtenidos. En los tres casos se ha obtenido un buen acuerdo con las mismas.

Palabras clave: SLR, EOP, AGGO, IGN, CIGA, Bernese

INTEGRACIÓN DE RECEPTORES GNSS DE BAJO COSTO PARA APLICACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

Luciano P.O. Mendoza^{1,2}, Andreas Richter^{1,2}, Eric Marderwald^{1,3}

1. Laboratorio de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
3. Estación Astronómica Río Grande (EARG).

lmendoza@fcaglp.unlp.edu.ar

En el marco de proyectos de investigación en curso se integraron receptores GNSS de bajo costo, con bajo consumo de energía y con gran capacidad de almacenamiento de observaciones. El equipamiento fue diseñado específicamente para permitir el monitoreo continuo de parámetros de interés geocientífico, asociados a múltiples fenómenos (tectónica, terremotos, atmósfera, etc.). Además, estos receptores GNSS también pueden ser adaptados a aplicaciones prácticas como el guiado de maquinaria, la generación de modelos digitales de elevación, entre otras.

Antes de comenzar el desarrollo e integración de estos receptores do-it-yourself (DIY), se fijaron los objetivos y características a alcanzar. Además de apuntar al menor costo de construcción posible, fue imprescindible asegurar la compatibilidad de los nuevos receptores DIY con el instrumental complementario ya disponible, fundamentalmente las antenas geodésicas preamplificadas y de alta precisión del laboratorio (incluyendo modelos Trimble Microcentered L1/L2, Trimble Compact L1/L2 y Trimble Zephyr 2 Geodetic), pero también con los cables de alimentación y los de radio frecuencia (RF), todos con conectores específicos.

Otras características buscadas incluyeron: alta capacidad de almacenamiento de datos (más de un año, con observaciones a 1 Hz), empleo de memorias removibles (tarjetas, para acelerar la recolección de datos en el campo), el respaldo in situ de las observaciones (en caso de daño en la memoria), reinicio automático en caso de pérdida de energía, detección instantánea de pérdida de energía (disparando el cierre de emergencia del sistema de ficheros en la memoria), simplicidad de uso (cero botones), configuración a priori por medio de ficheros de texto (tasa de muestreo, identificación del sitio, máscara de elevación, etc.) y tablero de indicación de estados para el operador (LEDs indicadores).

En primer lugar, se seleccionó para el desarrollo el módulo GNSS de bajo costo u-blox ZEN-F9P (<https://www.u-blox.com/en/product/zed-f9p-module>). Este fue uno de los primeros módulos GNSS de bajo costo, de doble frecuencia y multi GNSS, en salir al mercado y es empleado en varios receptores GNSS económicos comerciales (ej., <https://www.ardusimple.com/product/simplertk2b/>). Además de tener un muy bajo consumo de energía incorpora varias interfaces de comunicación (UART, USB, I2C, SPI), lo que simplifica su integración y permite incluso, de ser necesario, el control y la transmisión en tiempo real de las observaciones, por ejemplo, para aplicaciones del tipo real time kinematic (RTK). En particular se empleó el módulo SparkFun GPS-RTK2 Board (<https://www.sparkfun.com/products/15136>) que ya incluye conectores de alimentación, comunicación y RF, así como el regulador de voltaje necesario (de 5 V a 3.3 V).

Basados en nuestras experiencias previas, la elección del microcontrolador para el receptor DIY se circunscribió a dos posibilidades: o desarrollarlo alrededor de la plataforma Raspberry Pi (RPi, https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi) o alrededor de la plataforma Arduino (<https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>). Ambas plataformas presentan ventajas y desventajas para este tipo de desarrollo. Si bien cualquier modelo de RPi es infinitamente más potente que los microcontroladores Arduino, estas mayores

capacidades de cómputo y de RAM no son necesarias aquí. Por otra parte, las RPi requerirían o bien el desarrollo de la aplicación de control a correr sobre un sistema operativo completo (por defecto GNU/Linux) o bien la programación de un módulo específico para el kernel de Linux. Ambas posibilidades son inherentemente más lentas e inestables (i.e., propensas a fallar) que un pequeño firmware específico corriendo en un Arduino u otro microcontrolador similar. El factor determinante aquí es la posibilidad, muy real, de que el receptor DIY se vea sujeto a decenas o incluso cientos de intentos de booteo (i.e., arranques) y apagados abruptos, por día, cuando la provisión de energía sea baja o inestable. En la práctica se optó entonces por emplear un microcontrolador Arduino MEGA 2560 (<https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>), lo que permite controlar el módulo GNSS, monitorear la provisión de energía y almacenar de forma conveniente las observaciones con una tasa de muestreo igual o superior a 1 Hz, conservando la posibilidad de acceder en tiempo real a las observaciones (i.e., data stream).

Se brindarán detalles del desarrollo del hardware y del software de los receptores, así como una reseña de la primera aplicación científica de los mismos como estaciones GNSS semi permanentes (multi anuales) en la Patagonia.

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEOFÍSICOS Y ORBITALES A PARTIR DE OBSERVACIONES LÁSER A SATÉLITES (SLR)

Nicolás Rezzano¹ y Luciano P.O. Mendoza^{1,2}

1. Laboratorio MAGGIA, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

nicorezzano@fcaglp.unlp.edu.ar

En el presente trabajo se procesaron observaciones SLR (electromagnéticas en el rango óptico) realizadas por parte de la red de estaciones del ILRS¹ a los satélites LAGEOS-1 y LAGEOS-2, ambos diseñados con el fin de realizar estimaciones de alta calidad de algunos parámetros característicos de la geodesia espacial (y particularmente satelital). Las observaciones procesadas abarcan el intervalo temporal que comienza en Mayo de 2012 y culmina en Julio de 2022, incluyéndose los extremos. El procesamiento se realiza con el Bernese (GNSS) Software², en su versión 5.2, adquirido por la UNLP³ bajo la licencia de investigación ofrecida; se utilizan además los servidores de cómputo del laboratorio MAGGIA⁴ (FCAG⁵, CONICET⁶). A grosso modo, el esquema de procesamiento consiste en 1) la generación de una órbita estándar a partir de las órbitas predichas típicamente ofrecidas para los satélites mencionados; 2) la realización de una primera estimación (mejora de parámetros a partir de valores a priori y utilizando el método de mínimos cuadrados) de resolución diaria de los parámetros de interés, seguida por 3) el apilamiento de los mencionados parámetros de resolución diaria (más específicamente de los sistemas de ecuaciones normales correspondientes) para la subsecuente estimación de los mismos bajo una resolución temporal semanal (Mendoza, 2021).

A partir del mencionado procesamiento se producen estimaciones de resolución semanal de los siguientes parámetros: elementos orbitales (osculantes y empíricos, incluyéndose en el segundo caso pulsos pseudo-estocásticos) de ambos satélites; parámetros de orientación terrestre (coordenadas del polo y longitud del día principalmente); coordenadas de las estaciones de la red del ILRS; coordenadas del centro de masas terrestre; y range biases (sesgos característicos de la técnica) potencialmente dependientes de cada par satélite-estación en el tiempo. Los parámetros se expresan en el marco de referencia SLRF2020, la derivación del ITRF2020 particular de la técnica SLR; se adoptan además (mayoritariamente) las convenciones del IERS del año 2010, y se cumple con prácticamente todos los estándares internacionales adoptados por el ILRS (referidos por ejemplo a modelos previamente establecidos para los range biases, o a la corrección que desplaza las observaciones al centro de masas del satélite; o referidos a períodos de estaciones con datos defectuosos que no deben utilizarse, entre otros ítems).

Obtenida la estimación de los parámetros mencionados a partir del procesamiento de las observaciones, se pone el foco en el centro de masas terrestre (geocentro) y se realiza un análisis del mismo en profundidad; la elección de este parámetro se debe no sólo a su interés geofísico y particularmente geodésico (una buena estimación del

¹ <https://ilrs.gsfc.nasa.gov/>

² <https://www.bernese.unibe.ch/>

³ <https://unlp.edu.ar/>

⁴ <https://www.maggia.unlp.edu.ar/>

⁵ <https://www.fcaglp.unlp.edu.ar/>

⁶ <https://www.conicet.gov.ar/>

geocentro resulta en órbitas satelitales más precisas, impactando por lo tanto en todos los productos que se deriven a partir de observaciones a satélites; entre ellos, por ejemplo, estudios del nivel medio del mar en el tiempo: ver Wu et al., 2012, entre otros), sino también a que la estimación del geocentro es usualmente utilizada para evaluar -indirectamente- la calidad de los resultados obtenidos en el procesamiento de observaciones satelitales, ya que su baja amplitud (milimétrica) posiciona su estimación a la vanguardia de la geodesia de alta precisión (Wu et al., 2012). En función de la elección de este parámetro para el análisis, y teniendo en cuenta trabajos previos en la literatura, se realizaron varios procesamientos de las observaciones empleando diferentes “opciones”: por ejemplo, la definición geodésica del datum se introdujo en cada uno de estos procesamientos a partir de distintos condicionamientos aplicados a las coordenadas de (conjuntos de) las estaciones. Es importante destacar aquí, también considerando posibles trabajos a futuro, que se realizó -pero no se analizó en detalle, pues no se incluye en este caso una estimación explícita del geocentro, un procesamiento adicional en línea con los resultados típicamente presentados por los centros de análisis del ILRS, el cual ofrece la posibilidad de una comparación más consistente con los productos estimados por estos centros.

Luego de cubrir las definiciones, las causas y los diferentes métodos para la estimación del geocentro, en todos los casos se realizaron comparaciones con estimaciones del parámetro de libre acceso provistas por otros autores e institutos; y más allá de la comparación directa de series temporales, se puso el foco en la componente anual del (movimiento del) geocentro: está establecido en la literatura que ella es la más factible de recuperarse en la estimación a partir de observaciones satelitales, ofreciendo además la mayor consistencia entre estimaciones de distintas técnicas y aquellas provistas por modelos. Se analiza y detalla su extracción (en forma de un valor de amplitud y otro de fase) en los resultados de este trabajo, los cuales son luego comparados con los obtenidos en otros trabajos (a partir de datos SLR o de otras técnicas, por ejemplo DORIS, GNSS o GRACE); y se concluye a partir de esto que los resultados del presente trabajo son adecuados, situándose en todos los casos en los rangos definidos por los resultados externos, y acercándose además a los “mejores” (GRACE, ITRF2020) valores empleados en la comparación.

Referencias

- Mendoza L. (2021) SLR Data Analysis and Applications. Escuela Regional “Nuevas técnicas geodésicas para América Latina y El Caribe”, La Plata, Argentina.
- Soñnica K. (2014) Determination of Precise Satellite Orbits and Geodetic Parameters using Satellite Laser Ranging. University of Bern.
- Wu X., Ray J., van Dam T. (2012) Geocenter motion and its geodetic and geophysical implications. *Journal of Geodynamics* 58 (2012) 44-61.

MODELO DE GEOIDE LOCAL PARA EL GRAN SAN MIGUEL TUCUMÁN BASADO EN DATOS GPS Y DE GRAVEDAD

Dulci, Ariana¹; Golbach, J. Rodolfo¹ y Durand, J. Marcelo¹

1. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Departamento de Geodesia y Topografía.

jmdurand@herrera.unt.edu.ar

Los modelos de geoide global y regional fueron mejorados sustancialmente en función de los avances tecnológicos y en virtud de la continua recopilación y combinación de datos de distintas fuentes. El empleo de técnicas de posicionamiento satelital posibilitó realizar determinaciones altimétricas, en conjunto con observaciones gravimétricas, de manera sencilla y rápida en comparación con las técnicas convencionales para la obtención de alturas, como ser la nivelación geométrica o trigonométrica.

Este trabajo presenta la obtención de dos modelos de geoide local para el Gran San Miguel, que incluye la Capital de la Provincia de Tucumán, ciudades circundantes y las Sierras de San Javier. Los modelos fueron generados a partir de observaciones GPS y gravimétricas en 76 puntos distribuidos en la zona de estudio. Para la medición de la gravedad se empleó un gravímetro relativo LaCoste & Romberg modelo G (precisión ± 0.01 miligal).

Las lecturas de gravedad fueron corregidas por deriva del instrumento y por efecto de mareas, esto último se realizó mediante las ecuaciones de Longman (1959) que suponen un modelo de Tierra sólida y rígida.

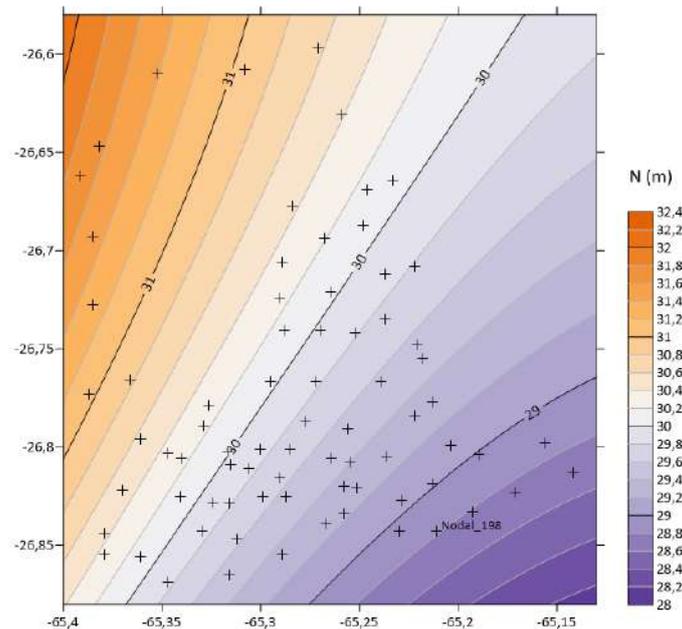


Figura 1: Mapa de contorno del geoide local obtenido en la zona de estudio a partir de observaciones GPS, gravimetría y las ondulaciones del GEOIDE.Ar16 (N). Las cruces representan los puntos medidos. La equidistancia es de 0.2 metros.

A partir de la relación entre la altura elipsoidal h , la altura ortométrica H y la ondulación del geoide N que se expresa como $H = h - N$ (Heiskanen & Moritz, 1967), se realizó el traslado de la cota ortométrica, en el Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16), del Nodal 198 ($\varphi = -26.8329^\circ$, $\lambda = -65.1933^\circ$) a los demás puntos observados utilizando las alturas elipsoidales obtenidas con GPS y las ondulaciones geoidales del modelo regional argentino GEOIDE-Ar16, desarrollado por el Instituto Geográfico

Nacional (IGN), y el modelo global EGM2008, desarrollado por la Agencia Geoespacial Norteamericana (NGA). Las observaciones gravimétricas fueron utilizadas para corregir los desniveles por efectos del campo gravitatorio terrestre.

A partir de estos datos se generaron dos modelos de geoide local para el área de estudio mediante el método de Kriging que interpola las ondulaciones obtenidas en los puntos observados y realizando luego un ajuste con una superficie de tendencia cuadrática. Los modelos obtenidos, que abarcan una superficie de aproximadamente 893 km², presentan variaciones en las ondulaciones en un rango de 4 metros.

Para evaluar la calidad del método elegido, para realizar estimaciones precisas de ondulaciones, se llevó a cabo una validación cruzada cuya desviación estándar es de 2.4 centímetros para el modelo obtenido empleando el geoide regional y 3.8 centímetros con el geoide global. Las diferencias obtenidas entre el modelo local generado y el modelo que se utilizó para su construcción son de hasta 4 centímetros en el caso del GEOIDE-Ar16 y de hasta 23 centímetros en el caso del EGM2008.

Palabras claves: Geoide, Nivelación GPS, gravedad, GEOIDE-Ar16, EGM08.

Referencias

Heiskanen, W. A., & Moritz, H. (1967). *Physical geodesy*. San Francisco.

Longman, I.M. (1959). Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun. *Journal of Geophysical Research*, 64, 2351-2355.

CARACTERIZACIÓN GRAVIMÉTRICA Y MAGNETOMÉTRICA DEL SISTEMA DE VENTANIA, BUENOS AIRES, ARGENTINA

Lexow, Maximiliano¹; Bahía, Marcos E.^{1,2}; Scivetti, Nicolás³; Benedini, Leonardo^{2,4}

1. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Física, Bahía Blanca, Argentina.
2. Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Bahía Blanca, Argentina.
3. Instituto Patagónico de Geología y Paleontología (IPGP), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT CENPAT, Puerto Madryn, Argentina.
4. Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Geología, Bahía Blanca, Argentina.

maxilexow@gmail.com

Las Sierras Australes conforman un conjunto de cadenas montañosas ubicadas en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, constituyendo un orógeno curvo u oroclino, orientado en sentido NO-SE, con unos 180 km de longitud y un ancho máximo de 60 km. La presente contribución pretende progresar en el conocimiento de la distribución de fallas y estructuras de corrimiento a partir del uso de los métodos gravimétrico y magnético de exploración, que se basan en la medición de pequeñas variaciones de los campos gravitatorio y magnético terrestre causadas por heterogeneidades laterales de densidad y susceptibilidad magnética, respectivamente, dentro del subsuelo. La utilización de estos métodos permitiría reconocer el ascenso posible de bloques de basamento en sectores hasta el momento no identificados, entender las relaciones espaciales de las estructuras geológicas presentes y establecer una cronología relativa en la evolución estructural y tectónica del Sistema de Ventania (Harrington, 1980).

Para tal fin, se seleccionó un área localizada dentro del Sistema de Ventania, entre los meridianos 62° y 62°30' W y los paralelos 37°40' y 38°20' S, la cual presenta una geometría rectangular, de 47 km en sentido longitudinal por 73 km en sentido latitudinal y 3.400 km² de superficie, aproximadamente. Se realizaron 133 mediciones gravimétricas y 140 de magnetismo por rutas y caminos disponibles, con una distancia entre estaciones promedio de 7 km. El equipo utilizado para la adquisición de los datos gravimétricos fue un Lacoste & Romberg modelo G, el cual tiene una precisión de 0,1 mGal, mientras que los datos magnéticos se obtuvieron con un magnetómetro Geometrics G-856, el cual mide con una precisión de 0,01 nT. Los datos de topografía fueron obtenidos a partir de un Modelo Digital de Elevaciones provisto por el Instituto Geográfico Nacional. Luego, se crearon grillas 2D interpolando mediante el método de mínima curvatura.

Con el fin de obtener el mapa de la Anomalía de Bouguer (AB), los datos fueron corregidos por latitud, Aire Libre, Bouguer y terreno. En el caso de magnetismo, se obtuvo el mapa de intensidad de campo total, corrigiendo por el campo de IGRF y posteriormente se le realizó la reducción al polo. Estas anomalías fueron procesadas para eliminar los efectos regionales no deseados de longitud de onda larga. Para realizar este procesamiento de manera efectiva y disminuir la incertidumbre de los resultados, a partir del uso de la transformada de Fourier se llevaron a cabo distintas pruebas mediante el uso de dos técnicas de filtrado en el dominio de las frecuencias y una en el dominio espacial: la continuación analítica ascendente para distintas alturas de continuación, un filtro Butterworth que actúa como pasa bajos y el método de ajuste polinomial variando el orden del polinomio. De esta manera, se obtuvo el mapa de anomalía residual mediante el cual se acentuaron los efectos superficiales de longitud de onda corta y se suavizaron los efectos producidos por cuerpos profundos (Hinze, 2013).

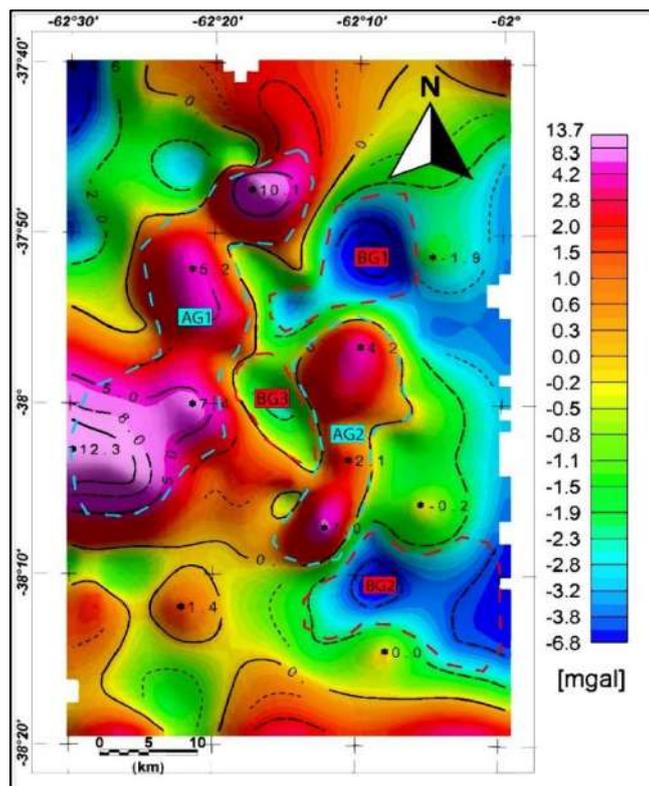


Figura 1: Anomalía gravimétrica residual calculada a partir del filtro de continuación analítica ascendente.

Fueron elegidos dos altos y dos bajos gravimétricos para ser analizados. El alto gravimétrico 1 (AG1), puede ser asociado a un alto de basamento. La parte norte del AG2 es asociado al cerro Pan de Azúcar, mientras que su parte sur está relacionada a un alto de basamento. En el sector este de la zona de estudio, tiene lugar la profundización de la cuenca, dando lugar a los bajos gravimétricos BG1 y BG2. Por otro lado, el bajo local BG3 se puede relacionar con un pequeño depocentro ubicado al este de Colonia San Martín, que se continúa más al sur.

Por último, se construyeron dos modelos 2-D, utilizando el método directo, basados en el mapa anomalía gravimétrica residual de la Figura 1, los cuales permitieron proponer la presencia de tres estructuras de fallamiento de rumbo NNW- SSE en las cuales estaría involucrada el basamento del Sistema de Ventania, y caracterizar la geometría de dicho basamento en el área de estudio (Dimieri L et al., 2005).

Referencias

- Harrington HJ. Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. In Segundo Simposio de Geología Regional Argentina (Vol. 2, pp. 967-983). Academia Nacional de Ciencias Córdoba (1980).
- Hinze WJ et al. Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications. Cambridge University Press (2013).
- Dimieri L et al. Estructura de las Sierras Australes de Buenos Aires. In Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires. 16 Congreso Geológico Argentino, Relatorio (pp. 101-118) (2005).

**VALIDACIÓN DE VARIACIONES DE GRAVEDAD OBSERVADAS CON GRACE-FO
A PARTIR DE OBSERVACIONES DEL GRAVÍMETRO SUPERCONDUCTOR SG038
INSTALADO EN EL OBSERVATORIO ARGENTINO-ALEMÁN DE GEODESIA
(AGGO)**

Pedro M. Granovsky¹, Ezequiel D. Antokoletz¹, Claudia N. Tocho^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - UNLP, Argentina.
2. Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Argentina.

pedrog@fcaglp.unlp.edu.ar

Las misiones satelitales de gravedad en las últimas décadas han permitido el estudio de variaciones del campo de la gravedad a escalas regional y global, lo que no es posible únicamente a través de observaciones de gravedad terrestre. En particular, las misiones satelitales de gravedad GRACE y GRACE-FO han además provisto información sobre las variaciones temporales del campo de la gravedad terrestre, aportando así información acerca de cambios hidrológicos, tectónicos o por rebote post-glacial, entre otros.

En este trabajo de tesis se propone comparar y validar series temporales de gravedad provistas por la misión GRACE-FO con aquellas provistas por el gravímetro superconductor SG038 instalado en el Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO), localizado en las cercanías de la ciudad de La Plata, Argentina. Los SG, aunque proveen información en forma puntual, permiten obtener series temporales de variaciones de gravedad precisa y estable que facilita la validación de observaciones satelitales, dado el tratamiento de las mediciones y el procesamiento realizado sobre estas últimas.

A través de la comparación de ambas series temporales y el análisis de componentes principales fue posible discernir si las correcciones y metodologías de procesamiento entre ambas técnicas son compatibles, así como también qué tipo de filtros aplicados a la técnica satelital son los que representan en forma más fehaciente las variaciones observadas por el SG038.

ANÁLISIS GEODÉSICO DE LA CALDERA CERRO BLANCO, CATAMARCA

Pereira, Ailin^{1,2,3}; Alcácer, Juan Manuel^{1,4}; Miranda, Silvia^{1,4}; Viramonte, José Germán^{1,5}; Pereira, Ayelén^{1,3}; Pacino, María Cristina^{1,3}

1. Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).
2. Área de Geodinámica y Geofísica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
3. Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario (AGG FCEIA UNR).
4. Instituto de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan (INGEO FCEFYN UNSJ).
5. Instituto de Bio y Geociencias del NOA, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta (IBIGEO FCN UNSA).

apereira@sec.conae.gov.ar

El Complejo Volcánico Cerro Blanco (CVCB) en Argentina constituye un sistema de calderas anidadas que incluye la Caldera Cerro Blanco (CCB) y la Caldera Robledo, siendo uno de los complejos de calderas más jóvenes de los Andes Centrales del Sur. La subsidencia registrada en la CCB ha mostrado una desaceleración en la velocidad de deformación desde 1992 (2.6 cm/año) hasta 2020 (0.7 cm/año).

En este estudio, el objetivo es analizar la deformación del suelo en la CCB a lo largo de campañas de relevamiento, aplicando mediciones GNSS y gravimétricas. Para ello, se llevó a cabo una actualización del estado de deformación de la CCB mediante el procesamiento de datos GNSS de las campañas anteriores 2013 y 2015 con la más reciente del 2021, junto con un análisis gravimétrico de la última campaña como herramienta complementaria, con el fin de confirmar la continuación del fenómeno de subsidencia de la caldera.

Los resultados preliminares muestran una deformación relacionada con la subsidencia centrada en la CCB durante todo el período bajo análisis.

PRESENTACIÓN LIBRO: “EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS: SISTEMAS DE COORDENADAS”

Gabriel Álvarez

gabriel.alvarez@gisycad.com.ar / gavryel@gmail.com
<https://www.linkedin.com/in/lic-gabriel-alvarez/>

Este libro está destinado a los geocientistas del ámbito de oil & gas que deseen conocer más sobre el riesgo subyacente que representan las coordenadas de los datos, referidas a uno u otro marco de referencia geodésico.

Pero también está destinado a los profesionales de sistemas, científicos y administradores de datos, geomáticos y geotecnólogos, a los que les permitirá disponer de los conceptos básicos del negocio de los hidrocarburos.

El título apropiado para este libro debería ser algo así como “los sistemas de referencia de las coordenadas de los datos temáticos y estratégicos usados en la exploración y el desarrollo de hidrocarburos”. Entendiéndose por datos temáticos a los procedentes de los estudios realizados por las ciencias geológicas, tales como contactos litológicos, líneas estructurales, cuencas sedimentarias, buzamientos, plays. Y por datos estratégicos a los necesarios para que funcione exitosamente el negocio de los hidrocarburos. Como ejemplos son los esquineros y polígonos que delimitan permisos de exploración o concesiones de explotación, los puntos que representan pozos, los shotpoints que definen líneas sísmicas, los esquineros de polígonos sísmicos 3D.

Pero ese título era demasiado extenso, por lo cual se decidió por: “Exploración de hidrocarburos: Sistemas de coordenadas”.

Las geociencias dedicadas a la exploración, en general no le prestaban demasiada atención a un aspecto fundamental, que hace a la exactitud y precisión en la adquisición y recolección del dato desde la superficie topográfica. Es decir, a la red geodésica de referencia desde la cual fueron tomadas sus coordenadas.

Cualquier dato, al estar vinculado a la superficie terrestre se convierte en un dato georreferenciado (o geodato). Mientras que una red geodésica es un conjunto de puntos con coordenadas de muy alta precisión, sobre los cuales se apoyan las mediciones y localizaciones de cualquier objeto que se necesite identificar.

El intérprete (geólogo, geofísico) puede disponer de todos los elementos necesarios para efectuar la propuesta de un pozo exploratorio con posibilidades ciertas de ser exitoso. Pero si esos elementos, tales como, un mapeo geológico detallado, la hipsometría (curvas de nivel), la planimetría sísmica existente, la delimitación del área de estudio, la imagen satelital y un modelo de elevación digital de la zona, se hallan en sistemas geodésicos no especificados, y por lo tanto, no conocidos por el usuario; y en el peor de los escenarios, que cada uno de esos elementos hayan sido georreferenciados en sistemas distintos, es obvio que el objetivo formacional para alcanzar un probable yacimiento hidrocarburífero puede resultar completamente erróneo, implicando la pérdida del dinero invertido en la perforación del pozo.

El problema central radica en el hecho de atribuir casi siempre el fracaso de un pozo exploratorio que resultó seco, al riesgo exploratorio de la zona. De esta manera se lo está justificando con fundamentos geológicos perfectamente válidos, que se desprenden de los correspondientes análisis de riesgo.

En el entorno de la geología del petróleo es bien sabido que, aunque los indicadores de riesgo sean bajísimos, no se conocerá a ciencia cierta lo que hay en profundidad hasta que no se perfora. Es decir, si el hidrocarburo está aún en la estructura que muestra la sísmica, o ha migrado. No obstante, no se puede considerar una razón válida desde el punto de vista del riesgo exploratorio, cuando el pozo resulta seco por error en su ubicación en superficie, a causa de usar un marco de referencia geodésico inapropiado o desconocido, o por negligencia respecto del mismo. Pero

lamentablemente cuando ocurre este hecho siempre pasa inadvertido y disimulado como parte del riesgo exploratorio, causando erogaciones innecesarias que podrían ahorrarse e invertirse en propuestas con los sistemas geodésicos perfectamente verificados.

Por las razones expuestas, el objetivo de este libro va desde hacer una breve historia de los hidrocarburos en el mundo, hasta aclarar conceptos geodésicos, describir los sistemas y marcos de referencia de varios países donde hay intensa actividad exploratoria. Para finalmente poner de manifiesto la importancia “subyacente” que tienen los sistemas geodésicos que determinan las coordenadas en la exploración de hidrocarburos. Y en definitiva, para contribuir a reducir al máximo la incidencia que tiene un “riesgo” habitualmente no contemplado y dificultosamente cuantificable, en la actividad exploratoria.

El contenido del libro se compone de los siguientes capítulos:

Capítulo 1 - Breve historia de los hidrocarburos

1.1 Orígenes del petróleo

Capítulo 2 - Historia de la exploración en Argentina

Capítulo 3 - Métodos de exploración

3.1 La Geología

3.2 Geología del Petróleo

3.3 Prospección geológica

3.4 Exploración

3.5 La Geofísica

3.6 Evolución de la Geofísica

3.7 Antecedentes históricos de la aplicación de la Geofísica

3.8 Métodos actuales de Exploración Geofísica

3.9 Finalización del proceso exploratorio

3.10 Perforación de pozos

3.11 Reservorios no convencionales

Capítulo 4 - Las Geociencias

4.1 Definición de Geociencias

4.2 Definición de Geodesia

4.3 Objeto de la Geodesia

4.4 Divisiones de la Geodesia

4.5 Geodesia Superior, Teórica, o Científica

4.6 Geodesia Cartográfica, Geométrica, o Matemática

4.7 Geodesia Astronómica

4.8 Geodesia Dinámica

4.9 Definición de Cartografía

4.10 Aspectos de la Cartografía

4.11 Relación entre la Geodesia y la Cartografía

Capítulo 5 - Conceptos de geodesia clásica

5.1 Cronología histórica

5.2 La Tierra

5.3 El Geoide

5.4 El Elipsoide

5.5 El Datum

5.6 Red Geodésica

5.7 Organizaciones Geodésicas

Capítulo 6 - Sistemas y redes geodésicas continentales

- 6.1 Datum Europeo 1950 (ED 50)
- 6.2 Datum Provisional Sudamericano 1956 (PSAD 56)
- 6.3 Datum Sudamericano 1969 (SAD 69)
- 6.4 Datum Norteamericano 1927 (NAD 27)

Capítulo 7 - Conceptos de geodesia satelital

- 7.1 Elipsoides geocéntricos
- 7.2 Datum geocéntrico
- 7.3 Sistemas de referencia geocéntricos
- 7.4 Marcos de referencia geocéntricos
- 7.5 Red de Estaciones de Monitoreo Satelital GNSS

Capítulo 8 - Sistemas de posicionamiento satelital

- 8.1 Introducción
- 8.2 Cronología histórica
- 8.3 El advenimiento del GPS
- 8.4 Descripción y concepto GPS
- 8.5 Las Constelaciones
- 8.6 Organizaciones de geoposicionamiento

Capítulo 9 - Sistemas de proyección cartográfica

- 9.1 Introducción
- 9.2 Antecedentes históricos
- 9.3 Proyección cartográfica
- 9.4 Clasificación de las Proyecciones Cartográficas
- 9.5 Proyecciones más utilizadas

Capítulo 10 - Sistemas de referencia en Argentina

- 10.1 Antecedentes históricos
- 10.2 La red del sistema Chos Malal
- 10.3 La red del sistema Pampa del Castillo
- 10.4 La red del sistema Aguaray
- 10.5 La red del sistema Tapi Aike
- 10.6 La red del sistema Ministerio de Marina
- 10.7 La red del sistema Hito XVIII
- 10.8 La red de Campo Inchauspe
- 10.9 El marco Posgar 94
- 10.10 El marco Posgar 98
- 10.11 El marco Posgar 2007

Capítulo 11 - Países con producción de petróleo

Capítulo 12 - Sistemas de referencia en países del mundo

- 12.1 EPSG
- 12.2 En países de América
 - Bolivia
 - Brasil
 - Chile
 - Colombia
 - Ecuador
 - EE.UU
 - Guyana
 - Paraguay
 - Perú

Uruguay
Venezuela
12.3 En países de África
Angola
Argelia
Camerún
Kenia
Libia
Marruecos
Mauritania
Mozambique
Nigeria
Sierra Leona
12.4 En países de Asia
Arabia Saudita
Emiratos Árabes Unidos
Indonesia
Irán
Kazajstán
Malasia
12.5 En el offshore

Capítulo 13 - Sistemas de coordenadas

13.1 Definición de Coordenada
13.2 Sistemas de coordenadas
13.3 Coordenadas cartesianas
13.4 Sistema de coordenadas cilíndricas
13.5 Sistema de coordenadas esféricas
13.6 Sistema de coordenadas geográficas
13.7 Sistema de coordenadas rectangulares
13.8 Sistema de coordenadas polares
13.9 Proyección de coordenadas
13.10 Conversión de coordenadas
13.11 Transformación de coordenadas
13.12 Métodos de transformación de coordenadas
13.13 Precisión y Exactitud en las coordenadas
13.14 Aproximación en las coordenadas

Capítulo 14 - Conceptos de altimetría

14.1 Definición de Altimetría
14.2 Clasificación de los métodos de Nivelación
14.3 Glosario altimétrico básico
14.4 Tipos de Altura
14.5 Relación entre alturas Ortométrica, Geométrica y Elipsoidal
14.6 Superficie de Referencia Altimétrica
14.7 Primeros trabajos de nivelación en Argentina
14.8 Punto Altimétrico de Referencia Normal (PARN)
14.9 Red de Nivelación de Alta Precisión (o de Primer Orden)
14.10 Red de Gravimetría
14.11 Marco de Referencia Vertical Unificado
14.12 SIRGAS-GTIII (Datum vertical)

Capítulo 15 - Aplicaciones prácticas en la exploración de hidrocarburos

15.1 Problemas en las capas de datos
15.2 Problemas en los softwares

15.3 Ejemplos de casos

15.4 Gestión de calidad

Bibliografía y Documentación consultadas

UN MODELO DE REDISTRIBUCIÓN DE MASA OCEÁNICA COMO HERRAMIENTA PARA LA PROYECCIÓN DEL NIVEL DEL MAR

A. Richter^{1,2}, F. Suad Corbetta^{1,2}, A. Romero^{1,2}, A. Juárez^{1,2}, E.R. Marderwald^{1,3}

1. Laboratorio MAGGIA, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad
2. Nacional de La Plata
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
4. Estación Astronómica Río Grande

arichter@fcaglp.unlp.edu.ar

La predicción de cambios del nivel del mar y la mitigación de sus consecuencias constituyen, en nuestros tiempos de intensos cambios climáticos y ambientales, un desafío importante para la sociedad y los tomadores de decisiones. Aparte de la intensidad de eventos extremos (ondas de tormenta) es el aumento relativo del nivel medio del mar (NMM) que amenaza nuestras costas. Este cambio relativo es producto de la superposición del cambio del nivel del mar con respecto a una referencia geocéntrica y de deformaciones corticales verticales en la costa. El aumento del NMM geocéntrico es el efecto combinado de dos procesos simultáneos: un aumento de masa de agua contenida en los océanos y la expansión estérica del agua por el calentamiento del océano. Ambas contribuciones varían en su intensidad sobre el océano global. Estudios recientes sugieren que, en promedio global, los efectos de masa oceánica y expansión estérica contribuyen al actual aumento del nivel del mar en una proporción de aproximadamente 2:1 (Horwath et al. 2022).

El presente trabajo se enfoca en el efecto del aumento de masa sobre escalas de tiempo de meses a décadas, representadas por datos satelitales. Este efecto considera la redistribución de masa de agua proveniente de los continentes de manera tal que el NMM se ajusta a una superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre, dando lugar a una interacción compleja. Por ejemplo, una pérdida de masa de hielo continental resulta, en promedio global, en un aumento del NMM debido al incremento de masa de agua oceánica liberada por el deshielo (efecto eustático). Al mismo tiempo, la redistribución de masa desde el sistema glacial hacia el océano representa una señal de carga superficial que produce deformaciones de la tierra sólida y de las superficies equipotenciales. En cercanía del foco del deshielo la descarga causa un levantamiento cortical y una depresión de la superficie equipotencial, ambos reduciendo la altura de la columna de agua oceánica, resultando en un descenso regional del NMM relativo. Sobre las partes más distantes del océano, el aumento de masa provoca el efecto opuesto (depresión de la superficie de la tierra sólida y levantamiento de la superficie equipotencial), aumentando aún más el NMM relativo.

Considerando esta interacción compleja se busca resolver en forma consistente la así llamada ecuación del nivel del mar (ENM; en inglés: sea-level equation; Farrell & Clark 1976). Aquí se adopta el formalismo propuesto por Clarke et al. (2005) que permite hallar una solución de la ENM a una redistribución arbitraria de masa sobre la superficie terrestre, adoptando un modelo de tierra elástico. La solución es formulada en el dominio cuasi-espectral a través de coeficientes armónicos esféricos y se obtiene en forma iterativa. Por otro, lado se lograron en los últimos años, impulsado por la gravimetría satelital, avances importantes en la calidad y consistencia de modelos regionales del cambio de masa de hielo para los principales sistemas glaciares, así como modelos globales del almacenamiento de agua continental. Se presentarán resultados preliminares del modelado de variaciones espacio-temporales de masa oceánica durante el período diagnóstico 2002-2022. La resolución del modelo es mensual y de 100 Km. La interpretación de los resultados enfocará en la tasa de cambio de masa oceánica a lo largo de las costas de Sudamérica. En particular, nuestros resultados

permiten identificar entre las diversas fuentes de masa oceánica introducidas aquellas que más impacto tienen sobre nuestras costas. Nuestro análisis permite, además, validar modelados y proyecciones globales, como las publicadas por la NASA en base a escenarios climáticos de IPCC, específicamente para las costas argentinas.

Referencias

- Clarke, P.J., Lavallée, D.A., Blewitt, G., van Dam, T.M., Wahr, J.M. (2005). Effect of gravitational consistency and mass conservation on seasonal surface mass loading models. *Geophys. Res. Lett.* 32: L08306. doi:10.1029/2005GL022441.
- Horwath, M., Gutknecht, B.D., Cazenave, A., Palanisamy, H.K., Marti, F., Marzeion, B., Paul, F., Le Bris, R., Hogg, A.E., Otsuka, I., Shepherd, A., Döll, P., Cáceres, D., Müller Schmied, H., Johannessen, J.A., Nilsen, J.E.Ø., Raj, R.P., Forsberg, R., Sandberg Sørensen, L., Barletta, V.R., Simonsen, S.B., Knudsen, P., Andersen, O.B., Rannald, H., Rose, S.K., Merchant, C.J., Macintosh, C.R., von Schuckmann, K., Novotny, K., Groh, A., Restano, M., Benveniste, J. (2022). Global sea-level budget and ocean-mass budget, with a focus on advanced data products and uncertainty characterisation. *Earth System Science Data* 14:411-447. doi: 10.5194/essd-14-411-2022
- Farrell, W.E., Clark, J.A. (1976). On Postglacial Sea Level. *Geophysical Journal International* 46(3):647-667. doi:10.1111/j.1365-246X.1976.tb01252.x

EFFECTOS DE LOS CALENTAMIENTOS ESTRATOSFÉRICOS SÚBITOS (SSW) EN LAS VARIACIONES A LA ROTACIÓN TERRESTRE

Fernández, Laura I.^{1,2}

1. Laboratorio de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

lauraf@fcaglp.unlp.edu.ar

Los calentamientos estratosféricos repentinos o súbitos (SSW, Sudden Stratospheric Warming) son eventos que ocurren en la región polar de la estratosfera terrestre (~10-50 km), normalmente muy fría durante el invierno y con fuertes vientos del oeste que contienen un área de baja presión denominada vórtice polar.

Durante un SSW, la temperatura estratosférica en la región polar durante el invierno aumenta bruscamente hasta 50° C en términos de una o dos semanas. Esto ocasiona que los vientos disminuyan su velocidad de manera dramática e inviertan su giro soplando desde el este, comportamiento similar al esperable en el verano (Baldwin et al., 2021). Como consecuencia se afecta la estructura del vórtice polar, a menudo con una ruptura o su debilitamiento temporal.

Dado que este es un evento extremo, los cambios resultantes en la circulación estratosférica estarán asociados a cambios en la corriente chorro polar, en las trayectorias de las tormentas, con efectos sobre las precipitaciones y las temperaturas a latitudes mayores, provocando olas de frío y temporales de vientos severos (Baldwin et al., 2021).

Los SSW fueron descubiertos en la década de los años 50, son mucho más comunes en el hemisferio norte donde es mayor la actividad de las ondas planetarias, y muy poco frecuentes en el hemisferio sur. Se clasifican en mayores y menores según criterios definidos por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, World Meteorological Organization).

Se ha vinculado a los SSW con los fenómenos del El Niño y la Oscilación Austral (ENSO), la Oscilación Casi-Bienal (QBO).

La QBO refiere a un cambio periódico en la dirección de los vientos zonales (i.e, de este a oeste), de la estratosfera tropical. Tiene un período aproximado de 28 meses, en los que se alternan las fases positivas (QBOe, vientos del este) y negativas (QBOW, vientos del oeste).

La QBO modula la propagación de ondas planetarias hacia la estratosfera, que son las responsables de los SSW. En particular, la probabilidad de un SSW en el hemisferio norte será mayor durante la fase positiva de la QBO y los SSW que se produzcan durante esa fase serán más intensos (Charlton y Polvani, 2007). Por lo anterior, la fase de la QBO determinará la frecuencia, la intensidad y la dinámica de los SSW, lo que a su vez tiene un impacto en la circulación atmosférica global.

Por otro lado, el fenómeno ENSO involucra cambios en la temperatura de la superficie del mar (SST, Sea Surface Temperature) en el Océano Pacífico tropical, e influye en los patrones climáticos en todo el mundo, incluyendo la precipitación, la temperatura y los vientos. Según los valores de la SST, se pueden discriminar dos fases: El Niño (incremento SST o calentamiento) y La Niña (decrecimiento SST o enfriamiento). Los vínculos conocidos entre los SSW y las fases ENSO nos indican que durante El Niño los SSW son más intensos y frecuentes, registrándose una correlación entre la intensidad de ambos fenómenos (Charlton y Polvani, 2007). Por otro lado, los SSW son menos frecuentes y menos intensos durante La Niña.

Por lo anterior, los eventos SSW, ENSO y QBO son fenómenos climáticos interconectados que modulan la circulación atmosférica global y por lo tanto afectarán

al Momento Angular Atmosférico (AAM, Angular Atmospheric Momentum) influyendo así en las variaciones observadas a los parámetros de la rotación terrestre (ERP, Earth Rotation Parameters). Recordemos que los ERP son un subconjunto de tres parámetros (las coordenadas del polo instantáneo de rotación en el sistema terrestre (x_p , y_p) y los cambios en velocidad angular de rotación de la Tierra) de los Parámetros de la Orientación Terrestre (EOP, Earth Orientation Parameters).

Neef et al. (2014) analizaron los efectos de los SSW en los cambios del AAM calculado a partir de valores de los modelos numéricos de re-análisis (ERA-40 y ERA-Interim del ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) para un periodo aproximado de 50 años. Luego, a partir de los cambios en las componentes AAM, analizan el efecto de los SSW en los ERP. Las conclusiones de este estudio sostienen que los SSW son precedidos por anomalías en las tres componentes de la AAM y también enfatiza que algunos de sus resultados varían mucho dependiendo del evento SSW particular de estudio.

En este trabajo se estudiará la influencia de cuatro eventos SSW mayores ocurridos en el hemisferio norte durante el período 2006-2019 en las variaciones a la rotación terrestre a partir de los cambios en las componentes AAM. Los eventos fueron escogidos de tal modo que representen distintos escenarios posibles del vínculo entre los SSW y las fases QBO y ENSO.

Además, dado que el año 2019 se produjo un SSW en el invierno boreal y otro SSW en el invierno austral, se compararán ambos resultados.

La potencia espectral y la coherencia ondeleta se utilizan como herramientas para el análisis de la influencia de los distintos eventos SSW seleccionados, dado que permiten analizar eventos no estacionarios, identificar y caracterizar los componentes de frecuencia y estudiar la sincronización de los eventos, así como la relación entre distintas series temporales.

Referencias

- Baldwin, M. P., Ayarzagüena, B., Birner, T., Butchart, N., Butler, A. H., Charlton-Perez, A. J., et al. (2021). Sudden stratospheric warmings. *Reviews of Geophysics*, 59, e2020RG000708. <https://doi.org/10.1029/2020RG000708>.
- Charlton, A. J., & Polvani, L. M. (2007). A new look at stratospheric sudden warmings. Part I: Climatology and modeling benchmarks. *Journal of climate*, 20(3), 449-469.
- Neef, L., S. Walther, K. Matthes, and K. Kodera (2014), Observations of stratospheric sudden warmings in Earth rotation variations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 9666–9678, doi:10.1002/2014JD021621.

MARCOS DE REFERENCIA GEODÉSICOS DE SOLUCIONES CON RESTRICCIONES EN LA COMPENSACIÓN DE UNA RED LIBRE DE TRILATERACION 2D

José Luis Vacaflor¹

1. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.
Cátedra de Geodesia Geométrica. Departamento de Geodesia y Topografía.

joseluisvacaflor@gmail.com

En este trabajo se investiga el marco de referencia de la solución de la compensación con restricciones de una red libre de trilateración bidimensional constituida por “ k ” puntos físicos P_i , donde “ n ” distancias s_{ij}^{obs} , $i < j$, $i = 1 \dots k$, $j = 1 \dots k$ fueron observados.

Considérese que las posiciones de los puntos de la red están definidas en un Sistema de Referencia Geodésico de Coordenadas Cartesianas (x, y) : $GRS(x, y)$ que se caracteriza por: a) convención de la “regla de la mano derecha” para los ejes, b) el origen “ O ” es un punto P no especificado de la Tierra; c) los ejes positivos ox y oy respectivamente no tienen orientaciones especificadas, d) la escala o longitud definida por los vectores unitarios a lo largo de ox y oy es el metro (SI) y es realizada por las distancias observadas en la red de trilateración, y sean:

$y_{n \times 1}$ = Vector de las observaciones (incrementos); $A_{n \times m}$ = Matriz de diseño (“Jacobiano”)

$$y_{n \times 1} = [y_{ij}] = [(s_{12}^{obs} - s_{12}^0), (s_{13}^{obs} - s_{13}^0), \dots, (s_{ij}^{obs} - s_{ij}^0), \dots, (s_{k-1,k}^{obs} - s_{k-1,k}^0)]^T$$

$$s_{ij}^0 = \sqrt{(\Delta x_{ij}^0)^2 + (\Delta y_{ij}^0)^2}, \quad i = 1 \dots k, \quad j = 1 \dots k, \quad i < j, \quad \Delta x_{ij}^0 = x_j^0 - x_i^0, \quad \Delta y_{ij}^0 = y_j^0 - y_i^0$$

$$A_{n \times m} = [\alpha_{12} \quad \dots \quad \alpha_{ij} \quad \dots \quad \alpha_{k-1,k}]^T; \quad \alpha_{ij} = [0, \dots, -\Delta x_{ij}^0, -\Delta y_{ij}^0, \dots, \Delta x_{ij}^0, \Delta y_{ij}^0, \dots, 0] \cdot (1/s_{ij}^0)$$

Vector de parámetros incógnitas (incrementos de coordenadas); $\xi_{m \times 1} = X_{m \times 1} - X_{m \times 1}^0$

$X_{m \times 1}$ = Vector de coordenadas incógnitas (x_i, y_i) de los puntos P_i del Marco Geodésico

de Referencia: $GRF(x, y)$, expresado en el $GRS(x, y)$; $X_{m \times 1} = [x_1, y_1 \dots x_k, y_k]^T$

$X_{m \times 1}^0$ = Vector de coordenadas conocido (x_i^0, y_i^0) de P_i “a priori” ó “aproximado”

$GRF(x_0, y_0)$, expresado en el $GRS(x_0, y_0)$; $X_{m \times 1}^0 = [x_1^0, y_1^0 \dots x_k^0, y_k^0]^T$

$$\xi_{m \times 1} = [dx_1, dy_1 \dots dx_k, dy_k]^T; \quad dx_i = x_i - x_i^0; \quad dy_i = y_i - y_i^0, \quad i = 1 \dots k, \quad m = 2k$$

La falta de definición del origen y orientación del $GRS(x, y)$ causa un defecto de datum y una deficiencia de rango $m - q = 3$ en la matriz de diseño $A_{n \times m}$ con $d = m - q = 3$, d = número de defectos de datum. (Vacaflor, 2008).

El objetivo de este trabajo es caracterizar el Sistema de Referencia que realiza el Marco de Referencia Geodésico $GRF(x_K, y_K)$ de la solución $\hat{\xi}_K$ RLESS (Restricted LEast Square Solution) por mínimos cuadrados pesados con restricciones de la compensación de la red libre de trilateración bidimensional dada por (Vacaflor, 2008); (Schaffrin, 1985)

$$: \hat{\xi}_K = N_K^{-1}c + N_K^{-1}K^T [KN_K^{-1}K^T]^{-1}[x_0 - KN_K^{-1}c], \quad N_K := (N + K^T QK) \text{ regular; } N := A^T P A,$$

$$c := A^T P y, \quad x_{03 \times 1} = K_{3 \times m} E_{m \times 3}^T P T_{3 \times 1}^*, \quad Q_{m-q} : \text{cualquier matriz positiva-definida, del modelo}$$

$$\text{singular de Gauss-Markov (SGMM): } y - e = A\xi, \quad r(A) =: q < m < n, \quad d =: m - q = 3,$$

$$e \sim (0, \sigma_0^2 P^{-1} =: D\{y\}), \text{ con restricciones: } K\xi = x_0, \quad o(K) = 3xm, \quad r(K) = l = m - q = 3,$$

$$R(K^T) = \{K^T \alpha / \alpha \in \mathfrak{R}^l\}, \quad R(K^T) \subset \mathfrak{R}^m, \quad \dim R(K^T) = r(K) = m - q = 3$$

$$R(A^T) = \{A^T \alpha / \alpha \in \mathfrak{R}^l\}, R(A^T) \subset \mathfrak{R}^m, \dim R(A^T) = r(A) = q, E_{3xm} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ -y_1^0 & x_1^0 & \dots & -y_k^0 & x_k^0 \end{bmatrix}$$

$$r[A^T, K^T] = m; r \begin{bmatrix} A \\ K \end{bmatrix} = m; K := E_{3xm} S_{m \times m}, E_{3xm} S_{m \times m} \xi_{m \times 1} = E_{3xm} S_{m \times m} E_{m \times 3}^T PT_{3 \times 1}^*$$

$$, R(A^T) \oplus R(K^T) = \mathfrak{R}^m, AE^T = 0, o(E) = 3xm, r(E) = 3, R(A^T) \oplus R(E^T) = \mathfrak{R}^m, PT^* = [t_x^*, t_y^*, d\delta^*]^T, o(S) = m \times m, r = r(S) = m - q, m = 2k$$

$S := \text{Diag}(s_{dx_1}, s_{dy_1}, \dots, s_{dx_i}, s_{dy_i}, \dots, s_{dx_k}, s_{dy_k}), i = 1 \dots k$; S: Matriz de selección de diferencias de coordenadas.

PT^* = Valores numéricos convencionalmente adoptados de los parámetros de transformación de coordenadas entre el GRS (x,y) y el GRS (x₀,y₀): dos traslaciones t_x^* , t_y^* y una rotación diferencial $d\delta^*$ para definir el origen y orientación del $GRS(x, y)$ respectivamente.

La estructura de S es definida mediante la asignación de los valores “0” ó “1” a los elementos de su diagonal (Vacafloor, 2010). Luego de fijar los valores de la diagonal, quedan seleccionados en $E_{3xm} S_{m \times m} \xi_{m \times 1}$ las diferencias de coordenadas, $dx_{id} = x_{id} - x_{id}^0$, $dy_{id} = y_{id} - y_{id}^0$, $i = 1 \dots k$ de los puntos datum P_{id} (“d” significa datum), de la red de trilateración. Por ejemplo, si $s_{dx_i} = 1 \Rightarrow dx_{id} = x_{id} - x_{id}^0$ del punto datum P_{id} es seleccionado para la definición de datum, y si $s_{dx_i} = 0 \Rightarrow dx_i = x_i - x_i^0$ es excluido de la definición del datum representado por las restricciones mínimas $E_{3xm} S_{m \times m} \xi_{m \times 1} = E_{3xm} S_{m \times m} E_{m \times 3}^T PT_{3 \times 1}^*$. En consecuencia, luego de fijar PT^* y establecer la estructura de S, las restricciones mínimas definen el datum de la red de trilateración (Vacafloor, 2011), es decir:

a) Definen para una dada época, el origen y la orientación del $GRS(x, y)$ mediante la adopción en forma convencional de los valores numéricos de los parámetros de transformación $PT_{3 \times 1}^*$, b) Representan la realización práctica del origen y la orientación del $GRS(x, y)$ definidas en a), mediante la asignación de los valores numéricos de las diferencias de coordenadas seleccionadas $dx_{id} = x_{id} - x_{id}^0, dy_{id} = y_{id} - y_{id}^0, i = 1 \dots k$. Es decir, mediante la asignación de los valores numéricos a un conjunto de coordenadas datum seleccionadas $\xi_d := [\dots x_{id}, y_{id} \dots]^T, i = 1 \dots k$ (ya que x_{id}^0, y_{id}^0 son conocidos) de un Marco de Referencia Geodésico constituido por los puntos datum seleccionados $P_{id}, i = 1 \dots k$ y que es designado como: Marco de Referencia Geodésico elegido en la definición del datum: GRFd(x,y) de la red de trilateración. (Vacafloor, 2012)

En este contexto, la metodología empleada para caracterizar el Sistema de Referencia que realiza el $GRF(x_K, y_K)$ de la solución $\hat{\xi}_K$ RLESS, cuando diferentes puntos datum son seleccionados mediante S, es decir para diferentes GRFd (x,y), por ejemplo, para: $GRFd(x, y)_{\xi_{dx_1, y_1, x_2}}$, $GRFd(x, y)_{\xi_{dx_1, y_1, y_2}}$, $GRFd(x, y)_{\xi_{dx_1, y_1, x_3}}$ con $\xi_{dx_1, y_1, x_2} := [x_{1d}, y_{1d}, x_{2d}]^T$; $\xi_{dx_1, y_1, y_2} := [x_{1d}, y_{1d}, y_{2d}]^T$; ; $\xi_{dx_1, y_1, x_3} := [x_{1d}, y_{1d}, x_{3d}]^T$; y así sucesivamente, consiste en: 1) Luego de fijar PT^* , y elegir GRFd(x,y), obtener $\hat{\xi}_K$ RLESS y representar implícitamente el correspondiente $GRF(x_K, y_K)$ mediante los

valores numéricos de los parámetros de transformación de coordenadas con respecto al $GRF(x_0, y_0)$ designado PTK^* , obtenidos de un modelo de transformación de coordenadas de semejanza o de Helmert entre los marcos $GRF(x_K, y_K)$ y $GRF(x_0, y_0)$ de tres parámetros : $PTK^* = [t_{xK}^*, t_{yK}^*, d\delta K^*]^T = (EE^T)^{-1}E \hat{\xi}_K$; 2) Comparar PTK^* con PT^* .

Entre las principales conclusiones, se determinó que, cuando el datum se define mediante las restricciones mínimas anteriormente descriptas utilizando diferentes $GRFd(x,y)$ establecidos en la forma anteriormente descripta, entonces $PTK^* = PT^*$, es decir en todos los casos, los marcos $GRFd(x,y)$ y $GRF(x_K, y_K)$ realizan el mismo origen y orientación del $GRS(x,y)$. En el caso particular, que $PTK^* = PT^* = 0$, los marcos $GRFd(x,y)$ y $GRF(x_K, y_K)$ realizan el mismo origen y orientación del $GRS(x_0, y_0)$. Como ejemplo numérico, se aplica el método desarrollado para caracterizar el Sistema de Referencia que realiza el Marco de Referencia Geodésico $GRF(x_K, y_K)$ de la solución $\hat{\xi}_K$ RLESS de la compensación con restricciones de una red libre de trilateración bidimensional compuesta de seis puntos.

Referencias

- Schaffrin, B. (1985): Aspects of Network Design. En: Grafarend, E.W. y Sanso, F., *Optimization and Design of Geodetic Networks*. Springer-Verlag. ISBN: 3-540-15739-5. Section D, 74:122.
- Vacaflor, J.L. (2008): Marcos de referencia y parámetros de transformación en soluciones óptimas de la compensación de una red geodésica libre. *Mecánica Computacional*, Vol. XXVII, Alberto Cardona, Mario Storti y Carlos Zuppa (Eds). Asociación Argentina de Mecánica Computacional, ISSN: 1666-6070, pp. 2861-2875.
- Vacaflor, J.L. (2010): Geodetic datum and No Net Translation (NNT), No Net Rotation (NNR) conditions from transformation parameters, a reference frame and a selection matrix. *Mecánica Computacional*, Vol. XXIX, Eduardo N. Dvorkin, Marcela B. Golschmit y Mario A. Storti (Eds). Asociación Argentina de Mecánica Computacional. Editorial: Imprenta Macagno S.R.L. Santa Fe. ISSN: 1666-6070, pp. 2647-2653.
- Vacaflor, J.L. (2011): Weights and transformation parameters in the datum definition of a geodetic network. *Mecánica Computacional*. Vol. XXX. Oscar Möller, Javier W. Signorelli, Mario Storti (Eds). Asociación Argentina de Mecánica Computacional. Editorial: Imprenta Macagno S.R.L. Santa Fe. Rosario. Argentina. ISSN 1666-6070, pp.2421-2426.
- Vacaflor, J.L. (2012): Terrestrial Reference Frame in the datum definition of a free trilateration network. *Mecánica Computacional*. Vol. XXXI. Alberto Cardona, Paul H. Kohan, Ricardo D. Quinteros, Mario A. Storti (Eds). Asociación Argentina de Mecánica Computacional. Imprenta UNSa. Salta. Argentina. ISSN 1666-6070, pp.3285-3290.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS FFT Y GRILLADO DE ANOMALÍAS PARA MODELADO DE CUASIGEOIDE EN UNA REGIÓN DE ARGENTINA

Agustín R. Gómez^{1,2}, Claudia N. Tocho^{1,3}, Ezequiel D. Antokoletz¹, Hernán J. Guagni⁴

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
3. Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Argentina.
4. Instituto Geográfico Nacional (IGN), Argentina.

agusgomez@fcaglp.unlp.edu.ar

En este trabajo se presentan cuatro modelos de cuasigeoide calculados en una región de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El objetivo es comparar distintas estrategias utilizadas para la construcción de la grilla de anomalías de gravedad residuales y analizar su relevancia para la determinación de anomalías de altura mediante métodos basados en la Transformada Rápida de Fourier (FFT).

Los modelos de cuasigeoide consisten en grillas regulares de anomalías de altura. Las anomalías de altura se determinaron mediante la resolución del Problema de Valor de Contorno Geodésico (GBVP) escalar y libre siguiendo la teoría de Molodensky. En este GBVP se utilizan las anomalías de gravedad de aire libre superficiales, dadas como la diferencia entre la gravedad observada sobre la topografía y la gravedad normal generada por el elipsoide de referencia y calculada sobre el teluroide.

Todos los modelos de cuasigeoide fueron calculados mediante la técnica remover-calcular-restaurar (RCR). Esta técnica consiste en remover de las anomalías de gravedad superficiales los efectos de larga y corta longitud de onda, para construir anomalías residuales (remover). Estas anomalías residuales son utilizadas para calcular anomalías de altura residuales (calcular). Finalmente, los efectos de larga y corta longitud de onda son restaurados a las anomalías de altura residuales (restaurar). Las largas longitudes de onda fueron calculadas mediante un modelo geopotencial global (GGM), y las cortas longitudes de onda fueron determinadas mediante el Modelado Residual de Terreno (RTM).

En este trabajo, las anomalías de altura residuales se determinaron mediante métodos FFT, los cuales son eficientes computacionalmente, pero cuentan con la desventaja de que las anomalías de gravedad residuales deben estar dispuestas en una grilla. Se construyeron dos grillas de anomalías de gravedad residuales siguiendo distintas estrategias. Para la primera grilla se calcularon anomalías de gravedad residuales en las estaciones gravimétricas (anomalías residuales puntuales). Estas anomalías residuales puntuales fueron interpoladas para construir una grilla de anomalías residuales. En cambio, la segunda grilla se determinó calculando anomalías de Bouguer completas sobre los puntos con gravedad conocida, que luego fueron interpoladas para generar una grilla. Las anomalías de Bouguer grilladas se convirtieron a anomalías de aire libre, restaurando el efecto gravimétrico de la placa de Bouguer y la corrección topográfica en cada nodo. Finalmente, los efectos del GGM y RTM se removieron de las anomalías de aire libre en cada nodo para obtener una grilla de anomalías residuales.

Con las dos grillas previamente construidas se utilizaron dos métodos para obtener las anomalías de altura residuales: FFT esférico y FFT 1D, dando lugar a cuatro modelos de cuasigeoide, que luego fueron validados con puntos GNSS/Nivelación.

Los modelos de cuasigeoide fueron calculados con una resolución de 1'x1' en una región de topografía plana (con alturas físicas menores a 200 m), ubicada entre las latitudes 36°S y 32°S y longitudes 63°W y 61°W. El área de estudio posee una densa cobertura de 8018 estaciones gravimétricas referidas a la Red Gravimétrica Argentina (RG-Ar) separadas 4 km aproximadamente, y 58 puntos GNSS/Nivelación. Las alturas

elipsoidales están referidas al marco de referencia Posiciones Geodésicas Argentinas 2007 (POSGAR07). Las alturas normales fueron calculadas a partir de los números geopotenciales referidos al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16). El GGM utilizado fue XGM2019e [3] hasta grado y orden 760. El modelado RTM se realizó en el dominio espacial mediante el método de integración por prismas y utilizando el Modelo Digital de Elevaciones MDE-Ar v2.1, cuya resolución es de 30 m [1]. En ambos métodos FFT se aplicó una modificación de Wong-Gore hasta grado y orden 300. Los cálculos se realizaron con el paquete de programas GRAVSOFTE [2].

Los modelos A_SP y A_1D fueron generados mediante los métodos FFT esférico y FFT 1D, respectivamente y utilizando la grilla de anomalías construida a partir de la interpolación de anomalías residuales puntuales. Los modelos B_SP y B_1D se generaron aplicando FFT esférico y FFT 1D, respectivamente y la grilla de anomalías de aire libre construida a partir de la interpolación de anomalías de Bouguer completas. Los cuatro modelos de cuasigeoide fueron ajustados a los puntos GNSS/Nivelación mediante una transformación de siete parámetros.

La validación absoluta de los cuatro modelos de cuasigeoide (Tabla 1) muestra que el modelo que mejor se ajusta a los puntos GNSS/Nivelación es B_1D. Las mayores diferencias entre cada modelo se deben al tipo de anomalía de gravedad utilizada para el grillado. En cambio, las diferencias entre los modelos calculados mediante los métodos FFT son milimétricas pero esperables, puesto que FFT esférico, a diferencia de FFT 1D, utiliza aproximaciones teóricas para realizar el cálculo.

Tabla 1: Estadísticas de las diferencias entre las alturas elipsoidales, alturas normales y anomalías de alturas obtenidas con los cuatro modelos de cuasigeoide antes y después de ser ajustados a los puntos GNSS/Nivelación. h: altura elipsoidal medida con GNSS. H*: altura normal basada en SRVN16. ζ_{A_SP} , ζ_{A_1D} , ζ_{B_SP} y ζ_{B_1D} : anomalías de altura de los modelos A_SP, A_1D, B_SP y B_1D, respectivamente. Unidad: [m].

Diferencia		Media	Desv. est.	Min.	Max.
h - H* - ζ_{A_SP}	Sin ajustar	0.674	0.146	0.439	0.953
	Ajustado	0.0	0.141	-0.231	0.283
h - H* - ζ_{A_1D}	Sin ajustar	0.674	0.142	0.434	0.953
	Ajustado	0.0	0.139	-0.236	0.283
h - H* - ζ_{B_SP}	Sin ajustar	0.680	0.131	0.470	0.961
	Ajustado	0.0	0.128	-0.210	0.281
h - H* - ζ_{B_1D}	Sin ajustar	0.677	0.131	0.487	0.959
	Ajustado	0.0	0.128	-0.190	0.282

Referencias

- [1] Instituto Geográfico Nacional (2021). Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina versión 2.1. Reporte técnico, Argentina. https://www.ign.gob.ar/archivos/Informe_MDE-Ar_v2.1_30m.pdf
- [2] Tscherning, C., Forsberg, R., y Knudsen, P. (1992). The GRAVSOFTE package for geoid determination. Continued Workshop on the European Geoid.
- [3] Zingerle, P., Pail, R., Gruber, T., & Oikonomidou, X. (2020). The combined global gravity field model XGM2019e. *Journal of geodesy*, 94, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01398-0>

RELEVAMIENTO DE GRANDES ESTRUCTURAS CON LIDAR

S. Amalfi¹, C. Infante¹, D. Del Cogliano^{1,2}, J. Duro¹, D. Sandez¹, D. Gómez¹, L. Moya¹,
F. Bernasconi¹, B. Alaniz¹

1. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (S) 1912. Santiago del Estero.
2. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de La Plata. Paseo del Bosque s/n. La Plata.

santiagoamalfi@gmail.com

LIDAR (Light Detection And Ranging) es un sistema de medición masiva de posiciones (coordenadas) de forma remota, basado en un sensor de barrido laser en la región espectral del infrarrojo, que emite pulsos y registra los retornos luego de reflejarse en la superficie. Esta tecnología ha modificado sustancialmente la forma de generar información útil para inspeccionar terrenos y/o construcciones; recopilar datos geométricos durante las etapas de planificación de obras civiles y otras múltiples aplicaciones, de manera rápida y precisa.

La Universidad Nacional de Santiago del Estero ha adquirido recientemente un Escáner Laser 3D RIEGL VZ-400i, con características principales tales como rango de largo alcance (800 m); equipado con una unidad inercial y de navegación global por satélite (IMU/GNSS) integrada para uso en modo móvil. La alta frecuencia de repetición de pulsos laser de hasta 1,2 MHz permite la adquisición de datos de nube de puntos con atributos, de manera rápida con una precisión nominal de 5 mm.

El trabajo que se presenta consistió en el escaneo del Estadio Único Madre de Ciudades, ubicado en la ciudad de Santiago del Estero. La estructura de gran envergadura cuenta con un diseño moderno de forma cilíndrica, con diámetro aproximado de 210 metros y una altura de 37 m. La complejidad del diseño y las características geométricas de la estructura hacen que el relevamiento con esta tecnología sea ágil y eficiente, logrando un modelo 3D con elevado nivel de detalle.

La medición involucró 24 estaciones de escaneo sucesivas para cubrir la extensión del mismo, y garantizar una conveniente superposición entre las nubes de puntos de estaciones adyacentes. De este modo, en la etapa del procesamiento, es posible obtener una exitosa registración para conseguir un modelo 3D coherente.

El tratamiento más simple de los registros del escaneo permite obtener un resultado con posicionamiento absoluto gracias al equipo receptor GNSS integrado al equipo, en el que podemos evaluar la precisión relativa de la densa nube de puntos. Otra opción es integrar al procesamiento puntos de apoyo, definidos a partir de una poligonal cerrada alrededor de la estructura del estadio, para conseguir el modelo georreferenciado.

El análisis de los datos adquiridos se realizó con el software RiSCAN PRO, que permite la registración automática de las posiciones, el filtrado de los escaneos, la posibilidad de colorear las escenas, la generación de nubes de puntos, realizar cálculo de volúmenes y áreas, determinar deformaciones, crear modelos digitales de terreno, ortofotos, perfiles, vistas 3D, georreferenciar el modelo, entre otros.

El modelo obtenido (Figura 1) muestra un alto nivel de detalle y abarca la totalidad de la estructura.

El software proporciona un reporte con el grado de bondad en ajuste interno por autorregistación. Los residuos en distancia con respecto a los cambios en las posiciones de escaneo de todos los Plane Patches, son expresados a través de la desviación estándar, cuyos valores varían entre ± 3.6 y ± 7.8 mm. Estos valores son compatibles con los esperados de acuerdo con las características del scanner y resultan altamente propicios para diferentes aplicaciones de la ingeniería civil y la industria.

Como control externo del modelo se utilizaron Puntos Fijos (PF) determinados con anterioridad al relevamiento mediante una poligonal de apoyo plani-altimétrica que rodea a la estructura, medido con Estación Total, y georreferenciada con receptores GNSS bifrecuencia, con un error de cierre poligonal de ± 0.009 m. Las diferencias en distancia entre los PF puntos y sus homólogos del modelo tienen un valor promedio de 0.02 m en absoluto y un RMS de ± 0.013 m, que es consistente con la calidad de la poligonal de apoyo.

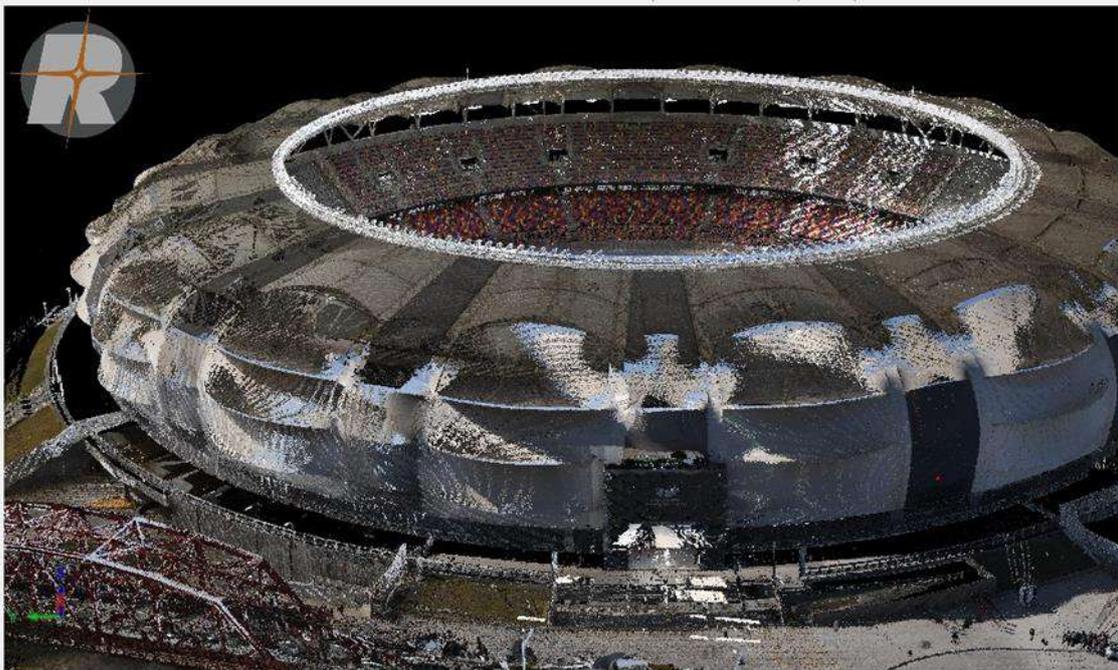


Figura 1: Modelo 3D generado del Estadio Único Madre de Ciudades (Santiago del Estero).

DEFLEXIÓN DE LA VERTICAL EN LA REGIÓN DEL RADIOTELESCOPIO CART. INFORME DE AVANCE

R.C. Podestá¹, A.M Pacheco¹, H. Alvis Rojas¹, J.E. Quinteros¹, A. Navarro¹, J. L. Navarro¹, V.N. Rivero², D.S. Calvo², A.R. García², & E.A. Juan²

1. Observatorio Astronómico Félix Aguilar, San Juan. FCFN – UNSJ.
2. Departamento de Geofísica, Física y Astronomía. FCFN – UNSJ.

ricardopodestaoafa@gmail.com

El radiotelescopio CART (Chinese Argentine Radio Telescope) de un diámetro de 40 metros que se está instalando en la estación Cesco del Oafa será el más grande de Sudamérica, y entre sus objetivos científicos potenciales se encuentra en primer lugar, el establecimiento y mantenimiento del ICRF e ITRF, por lo que se hace sumamente necesario la determinación precisa de parámetros geodésicos tales como la Deflexión de la Vertical (δ).

Este parámetro, definido como la diferencia angular entre la Vertical al geoide (V) y la Normal al elipsoide (N), es determinado mediante la diferencia de coordenadas astronómicas versus coordenadas geodésicas, obtenidas de la técnica GNSS.

En este trabajo se muestra la metodología en la determinación de la Latitud y Longitud astronómica por medio de observaciones de estrellas seleccionadas en el momento de sus tránsitos por el meridiano y por el primer vertical, para obtener luego las componentes sobre el meridiano (ξ) y el primer vertical (η) del ángulo de deflexión (δ).

Se presentan aquí los valores preliminares de acimuts, latitudes y longitudes astronómicas determinadas astrométricamente en dos puntos alejados entre sí treinta kilómetros al norte y al sur de la Pampa de El Leoncito, a su vez distanciados a unos veinte kilómetros del punto Dátum ubicado en el playón del radiotelescopio. También se muestran las determinaciones satelitales de los vectores y coordenadas geodésicas de este triángulo en sus tres puntos. Se espera producir datos definitivos de las componentes de la desviación de la vertical en un término de ocho meses de observaciones en diferentes épocas.

Con todos los parámetros astrónomo-geodésicos determinados, se espera que para el próximo año CART ya forme parte de las futuras materializaciones ITRF, en beneficio de la comunidad geodésica mundial.

ADVANCES IN THE DETERMINATION OF GEODETIC COORDINATES FOR NON-GEODETIC TELESCOPES WITHIN THE EVN BASED ON K BAND DATA

Gómez, Maria Eugenia^{1,2}; Charlot, Patrick³; Campbell, Robert⁴; Keimpema, Aard⁴; Kettenis, Mark⁴

1. Laboratorio MAGGIA, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
3. Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux – France.
4. Joint Institute for VLBI ERIC - The Netherlands.

megomez@fcaglp.unlp.edu.ar

The European VLBI Network (EVN) comprises geodetic (dual-frequency, S/X-band) telescopes that participate regularly in IVS (International VLBI Service for geodesy and astrometry) sessions, as well as non-geodetic telescopes. While the former have accurate coordinates, the situation differs for the latter. Inaccuracies in telescope positions can negatively impact observations conducted with the phase-referencing technique, which is used to image weak radio sources with the EVN since the full VLBI geometrical model, including source coordinates, Earth orientation parameters, and telescope coordinates is required for this purpose. To derive geodetic products with VLBI, a correlator capable of handling geodetic data is mandatory.

In the last years, in the framework of the JUMPING JIVE project, the EVN software correlator at JIVE (SFXC) was upgraded to handle geodetic sessions. These enhancements include the new capability to correlate observations in geodetic mode which involves the extraction of phase calibration tones, managing observations with subnetting, and creating files in vgosDB format, using standard geodetic software for this purpose.

The process, validated with an IVS-R1 session, was later applied to VLBI geodetic-mode sessions in K-band. These sessions are currently carried out with certain periodicity to provide and monitor coordinates of the non-geodetic radio telescopes of the EVN, such as Jodrell2, Sardinia, Torun, and those of the Korean VLBI Network (KVN).

In this work, we will present the advances concerning the determination of coordinates using data from the JIVE correlator, along with future perspectives.

AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE ORIENTACIÓN TERRESTRE A PARTIR DEL ANÁLISIS SEMI-AUTOMATIZADO DE SESIONES VLBI GEODÉSICO

Gomez, Maria Eugenia^{1,2} y Fernández, Laura I.^{1,2}

1. Laboratorio MAGGIA, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina.
2. CONICET, Argentina.

megomez@fcaglp.unlp.edu.ar

Dentro del conjunto de técnicas geodésicas espaciales, la técnica de interferometría de línea de base muy larga (VLBI, Very Long Baseline Interferometry) destaca por ser la única capaz de determinar todos los parámetros de la orientación terrestre (EOP, Earth Orientation Parameters), además de contribuir al sistema de referencia terrestre internacional (ITRF, International Terrestrial Reference Frame) a través de las coordenadas de sus estaciones y al sistema de referencia celeste internacional (ICRF, International Celestial Reference Frame) por medio de las coordenadas de las radiofuentes. Es decir, no solo materializa ambos sistemas, sino que, además, los vincula.

Las actividades VLBI en el marco de nuestras disciplinas son coordinadas por el servicio internacional VLBI para la geodesia y la astrometría (IVS, International VLBI Service for Geodesy and Astrometry). En este marco, se llevan a cabo distintas sesiones, entre las que se encuentran las de rápida respuesta (R1 y R4) que se suceden los días lunes y jueves de cada semana. Estas tienen una duración de 24 horas e incluyen entre 8 y 15 estaciones, con el objetivo de proveer parámetros de orientación en un plazo no mayor a dos semanas.

Dentro de la estructura del IVS conviven distintos centros, entre los que se destacan los centros de análisis, enfocados a proveer los resultados de estas sesiones, traducidos en archivos con formato vgosDB listos para uso de la comunidad geodésica. Cada centro utiliza distintos softwares, siguiendo siempre lineamientos generales como los estándares del Servicio Internacional de rotación de la Tierra y los sistemas de referencia (IERS, International Earth Rotation and Reference System Service). Entre los softwares disponibles, se encuentra VieVS (Böhm et al., 2018), desarrollado por la Universidad Tecnológica de Viena, el cual no sólo es de libre acceso sino también de código abierto.

En este trabajo nos propusimos analizar las sesiones R1 y R4 del IVS con el objetivo de estimar parámetros de orientación terrestre por medio de un procedimiento automatizado, utilizando VieVS.

Investigamos dos tipos de procesos, uno automatizado y otro semiautomático, de los cuales, el último resultó ser el único posible. Esto se debe a que, si bien es posible automatizar las corridas del software, existe cierta información no estandarizada, como por ejemplo la de calibración de cable, que ocasiona residuos muy altos y obligan a una inspección manual por parte del analista. Por otro lado, el objetivo no es determinar los parámetros por sesión, sino como resultado de una solución global que incluya la estimación de coordenadas de las estaciones, la cual también requiere también de intervención del analista.

Habiendo resuelto el tipo de proceso, analizamos los últimos tres años de sesiones R1 y R4 del IVS. En lo que respecta a las soluciones diarias, utilizamos ICRF3 e ITRF2020, como marcos de referencia celeste y terrestre, respectivamente, y parámetros de orientación acorde, como la serie combinada IERS C04_20. Esta última refiere a la serie de EOP producto de combinar las soluciones brindadas por las distintas técnicas geodésicas: GNSS, SLR, VLBI y DORIS.

La solución global incluyó la estimación de coordenadas tanto de radiofuentes como de estaciones junto con los parámetros de la orientación terrestre, excluyendo de esta solución a aquellas estaciones y radiofuentes que no alcanzaran un mínimo de participación.

El resultado obtenido fue comparado con las series de parámetros de orientación publicadas por otros centros de análisis operativos del IVS, tales como la agencia cartográfica alemana (BKG, [Bundesamt für Kartographie und Geodäsie](#)), el centro espacial Goddard (GSFC, Goddard Space Flight Center) y el observatorio naval de los Estados Unidos (USNO, U.S. Naval Observatory), los cuales utilizan software y estrategias de análisis diferentes. Además, cada solución fue comparada con la serie combinada de parámetros C04_20 del IERS.

Los resultados preliminares indican que la precisión de la solución obtenida se encuentra dentro de lo esperado para una solución global.

Referencia

Johannes Böhm, Sigrid Böhm, Janina Boisits, Anastasiia Girdiuk, Jakob Gruber, Andreas Hellerschmied, Hana Krásná, Daniel Landskron, Matthias Madzak, David Mayer, Jamie McCallum, Lucia McCallum, Matthias Schartner, Kamil Teke, Vienna VLBI and Satellite Software (VieVS) for Geodesy and Astrometry, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol.130 (986), 044503, 2018.

MODELADO BIDIMENSIONAL DE LA CORTEZA EN SECTORES DE SANTIAGO DEL ESTERO

Claudia Infante¹, María Alejandra Arecco² y Claudia N. Tocho^{3,4}

1. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
2. Universidad de Buenos Aires, Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas. Facultad de Ingeniería
3. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata
4. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

claudia.nfnt@gmail.com

El modelado gravimétrico permite inferir la forma y dimensiones de las estructuras o cuerpos discretos en el interior de la corteza terrestre, que sean consistentes con la geología del área de estudio y cuya respuesta gravimétrica se ajusta a los datos observados. El resultado muestra una representación simplificada de la distribución real de las masas fuentes de esas anomalías, aproximándose a la realidad tanto como el nivel de información geológica o geofísica lo permita.

En este trabajo, se realizó el modelado gravimétrico sobre tres perfiles que atraviesan la provincia de Santiago del Estero, a partir de anomalías de Bouguer esféricas completas determinadas en Puntos Fijos Altimétricos correspondientes a las líneas de nivelación del Instituto Geográfico Nacional (IGN), aplicando el algoritmo según Talwani et al. (1959). Los modelos fueron construidos sobre perfiles que atraviesan la provincia predominantemente en dirección W-E y han sido restringidos de acuerdo a antecedentes geofísicos y geológicos independientes, tales como, las líneas sísmicas Telares y las transectas relevadas por Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), como así también datos de un perfil de magnetotelúrica realizado por el grupo de Geofísica Aplicada del Instituto Nacional de Geología y Estudios Isotópicos (INGEIS), de la Universidad Nacional de Buenos Aires; y cartas geológicas del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), entre otros antecedentes. Asimismo, se consideró el espesor cortical determinado por las autoras, para la provincia como resultado de inversión gravimétrica.

En el Modelo bidimensional 1 (Figura 1), ubicado al N de la región de estudio, se identificó la cubierta sedimentaria conformando una cubeta entre el Alto Rincón Caburé y el Alto Chaco Pampeano, con un espesor total de aproximadamente 4 km, por debajo del cual se ubicó el basamento cristalino. El espesor cortical definido en este modelo resultó consistente con el Moho gravimétrico en ± 0.44 km. En el Modelo bidimensional 2 (Figura 1), desarrollado en el sector centro, se identificó la cubierta sedimentaria de espesor variable, determinando al E diversas fallas relacionadas con la cuenca del Río Dulce, como la falla de Huyamampa, mientras que al oeste se identificó la falla de lomadas de Otumpa, que representaría el encuentro entre el Cratón Río de la Plata y terrenos de Pampia (TP). El espesor cortical definido en este modelo resultó consistente con el Moho gravimétrico en ± 0.73 km. En el Modelo bidimensional 3 (Figura 1), desarrollado en el sector sur, se identificaron las unidades geotectónicas del Cratón Río de la Plata (CRP) y un arco magmático cámbrico al este, que es la continuación del Alto Chaco Pampeano. Asimismo, se modelaron fallas tanto en el basamento cratónico (BC) como en el orógeno pampeano (OP) y el arco magmático cámbrico (AMC). El espesor cortical definido en este modelo resultó consistente con el Moho gravimétrico en ± 0.22 km. En los tres modelos se pudieron distinguir unidades/bloques que presentan continuidad en la región, como el Alto Chaco Pampeano, identificado en el Modelo 1 y 2, y se continúa hasta el arco magmático identificado en el Modelo 3. Este alto representa la sutura del encuentro entre el cratón Río de la Plata y terrenos de Pampia de acuerdo con los antecedentes analizados. Los modelos gravimétricos resultaron muy

consistentes, con un ajuste de ± 2.5 mGal en la diferencia entre la gravedad observada y la calculada para cada modelo. De esta manera, el modelado bidimensional logró identificar estructuras en la corteza, diferenciar una corteza superior y otra inferior, zonas de fallas estructurales y distinguir suturas, proporcionando nueva información en la región.

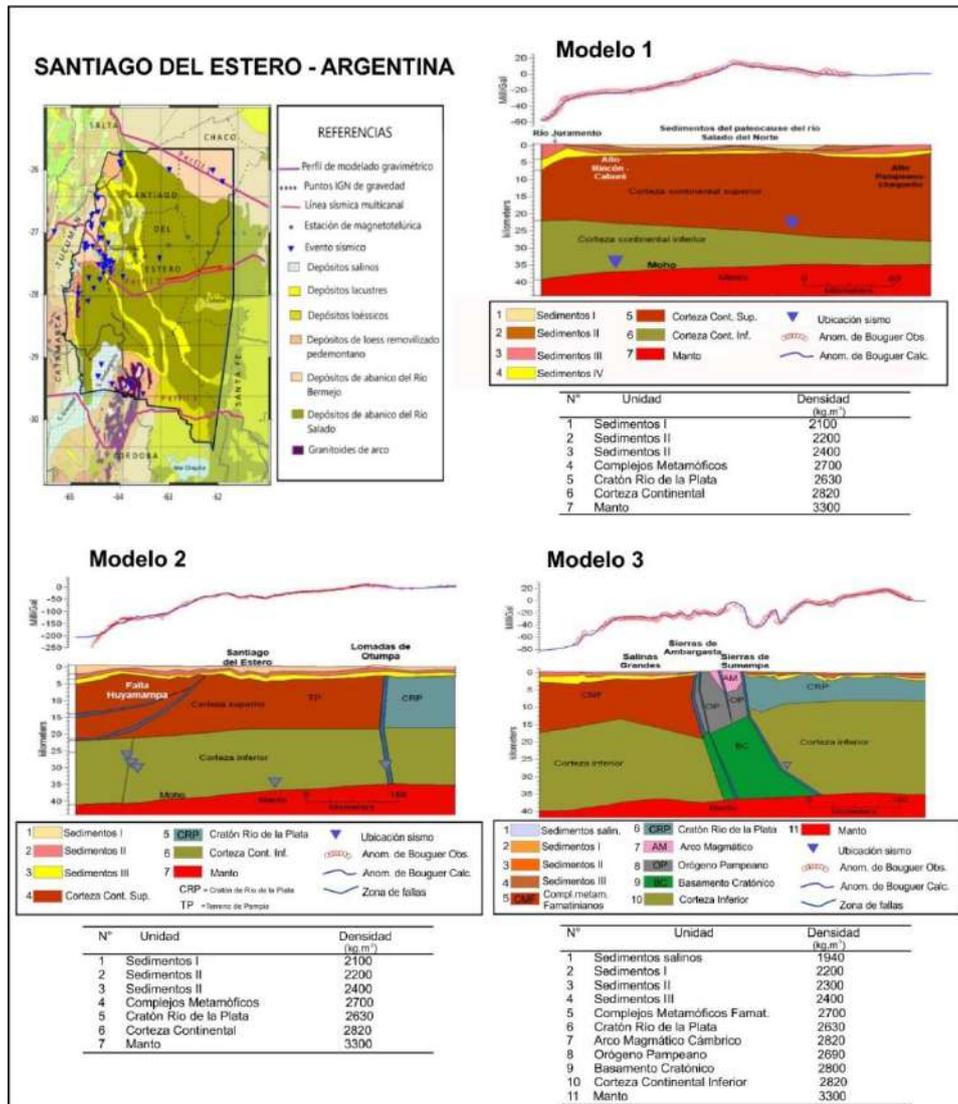


Figura 1: Modelado bidimensional sobre tres perfiles para la región de Santiago del Estero. TP: Terreno Pampa; CMF: complejo metamórfico famatiniano; AM: arco magmático cámbrico; OP: orógeno pampeano; BC: basamento cratónico; CRP: Cratón del Río de la Plata. Zonas de sutura (líneas azules)

Palabras clave: Modelado Bidimensional; Talwani; Anomalías Gravimétricas; Santiago del Estero.

Referencia

Infante, Claudia Livia (2023). Caracterización del espesor cortical a partir de interpretación gravimétrica en la provincia de Santiago del Estero. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Catamarca.

DETERMINACIÓN DE LA DEFORMACIÓN POR EFECTO DE CARGA OCEÁNICA MEDIANTE OBSERVACIONES GNSS

A. Juárez^{1,2}, A.J. Richter^{1,2}, A. Romero^{1,2}, E. Marderwald^{1,3}, L. Mendoza^{1,2}

1. Laboratorio de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA).
2. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG).
3. Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
4. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
5. Estación Astronómica Río Grande.

amilkr@fcaglp.unlp.edu.ar

En la superficie de la Tierra ocurren continuamente cambios y desplazamientos de masas. Parte de estos movimientos de masas tienen origen astronómico, debido a la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol. Estos provocan una deformación de la tierra sólida con períodos semidiurnos y diurnos.

Estos fenómenos se denominan marea terrestre y carga oceánica, ambos se pueden observar a través de sus múltiples efectos como deformaciones de la corteza terrestre, inclinaciones, extensiones y variaciones de gravedad. Las deformaciones corticales se reflejan en desplazamientos periódicos de puntos de medición, en las direcciones vertical y horizontal, observables mediante los sistemas globales de navegación por satélite (Global Navigation Satellite Systems, GNSS).

El modelado de efectos de carga oceánica normalmente introduce en el cálculo modelos puramente elásticos de respuesta de la tierra a las cargas superficiales, estos provienen de modelos sísmicos globales. Esto no es necesariamente correcto, los modelos globales no representan las propiedades elásticas en regiones anómalas, posiblemente relacionadas con estructuras tectónicas. Las heterogeneidades que presenta la litosfera influyen en los efectos observables de la carga oceánica.

En Europa occidental se detectó, mediante observaciones GNSS, una amplificación de la señal de deformación cortical por la carga oceánica, diferente al modelo puramente elástico debido a efectos de disipación, principalmente en la Astenósfera (Bos et al. 2015).

Las mareas lacustres, determinadas a partir de registros de mareógrafos de presión en los lagos Fagnano y Argentino, revelaron diferencias significativas entre las señales observadas y los efectos de carga oceánica predichos mediante un modelado convencional. Estos resultados muestran discrepancias entre efectos de carga oceánica observados y modelos de respuesta elástica y motivan la hipótesis que la Patagonia austral (Tierra del Fuego, Santa Cruz y sur de Chubut) comprenda una de las regiones donde la contribución anelástica a los efectos de carga oceánica sea significativa.

La carga oceánica tiene mayor grado de variabilidad espacial, debido a la complicada distribución de carga superficial. En nuestra región de estudio particularmente se destaca por una extraordinaria intensidad de las mareas oceánicas y, por consiguiente, de efectos de carga oceánica. En esta región se acumularon, en el transcurso de proyectos previos, registros continuos de observaciones GPS y GLONASS en más de diez puntos de observación. Además, el IGN (Instituto Geográfico Nacional) opera estaciones GNSS permanentes de la red RAMSAC, complementadas por estaciones de las redes IGS (Servicio Internacional GNSS) y CSN (Centro Sismológico Nacional). Estas observaciones ofrecen la posibilidad de determinar la señal de deformación por efecto de la carga oceánica. La comparación de esta señal observada con el modelo elástico permitirá confirmar o descartar nuestra hipótesis.

Se presentarán resultados preliminares de un procesamiento GNSS especializado con el fin de extraer parámetros de carga oceánica. Este procesamiento aplica la

estrategía del Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) en modo cinemático, utilizando el paquete de software PRIDE PPP-AR (Geng et al. 2018). Luego de una evaluación automatizada de la calidad y un filtrado de las series temporales de alta resolución de las coordenadas tridimensionales, se determinan parámetros para las principales componentes de mareas mediante el paquete TASK-2000 (Murray et al. 1964).

Se resumirán las primeras experiencias con respecto a las exigencias a los datos GNSS para una determinación precisa del efecto de la carga oceánica y la aptitud de los datos GNSS para este fin.

Referencias

- Bos, M.S., Penna, N.T., Baker, T.F., Clarke, P.J. (2015), Ocean tide loading displacements in western Europe: 2. GPS-observed anelastic dispersion in the asthenosphere, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 6540–6557, doi:10.1002/2015JB011884.
- Geng, J., Chen, X., Pan, Y., Mao, S., Li, C., Zhou, J., Zhang, K. (2019). PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. *GPS Solut* 23, 91 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0888-1>
- Murray, M. T. (1964). A general method for the analysis of hourly heights of the tide. *Int. Hydrogr. Rev.* 41:91-101.

SLR en AGGO: DESARROLLO Y MEJORAMIENTO

M.N. Mardegan¹, F.E. Toledo¹, R. Galván^{1,2}, M.F. Häfner^{1 3} y M. Gende^{1,2}

1. Observatorio Argentino Alemán de Geodesia – AGGO - CONICET.
2. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP.
3. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie – BKG.

mmardegan@aggo-conicet.gob.ar

El Observatorio Argentino – Alemán de Geodesia, AGGO, el único observatorio fundamental de geodesia en Latinoamérica cuenta entre sus principales equipos de la geodesia espacial con un sistema de medición de distancia hacia satélites (acrónimo SLR por sus siglas en inglés, Satellite Laser Ranging). Mediante la medición ultra precisa del tiempo de vuelo de un pulso de luz láser desde el sistema SLR hacia un satélite que orbita la tierra y de vuelta, se puede obtener la órbita muy precisamente y con satélites en órbitas muy estables, inferir con alta precisión la ubicación del sistema SLR con respecto al centro de masa de la tierra.

La particularidad del sistema SLR de AGGO consiste en su transportabilidad, la medición con luz láser en el infrarrojo (cercano a 847 nm, justo arriba de las primeras bandas de absorción del vapor de agua troposférico) y en la precisión de sus datos como fue demostrado durante 12 años de operación en el sitio de TIGO en Concepción, Chile.

El sistema SLR de AGGO construido en los años 90 y después de una historia de más de 25 años de operación, requirió en partes significativas del sistema una actualización. En esta contribución se presentarán las mejoras más importantes de las diferentes partes del sistema SLR que se han realizado en AGGO así como también como afectan dichas mejoras a la performance del sistema.

En primer lugar, el suministro eléctrico en el sitio de AGGO en una zona alejada de la ciudad se ha mostrado deficiente por lo cual no era posible conectar el equipamiento ultrasensible de SLR sin exponerlo a alto riesgo de daño. Para resguardar los equipos y alimentarlos con energía continua y limpia se diseñó un sistema de UPS de 40 kVA que respalda el sistema SLR entero y asegura su funcionamiento ininterrumpido. Para la seguridad del sistema UPS y para acondicionarlo de manera que fuera independiente de los factores externos se confeccionó además un contenedor que presta las condiciones óptimas para su operación.

A fin de generar una mejor performance y extensión del tiempo de vida del sistema mecánico, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- renovación de engranajes azimut y elevación.
- rediseño e integración del cart y domo que conforma la estructura externa que rodea y protege al telescopio.
- rediseño del cableado del sistema y nuevo control telescopio basados en controladores lógico-programables (PLC por sus siglas en inglés) industriales robustos y fácilmente extensibles mediante módulos compatibles a través de un protocolo industrial basado en Ethernet.

Respecto al telescopio, se llevó a cabo una reparación y puesta a punto de los engranajes de elevación y de azimut. Este paso fue fundamental, sobre todo en el caso del engranaje de elevación, ya que debido al terremoto que sufriera el equipo estando en Chile, era necesario llevar a cabo dicha manutención. Se renovó en gran parte la estructura exterior que contiene al telescopio, reemplazando el sistema que permitía la movilidad completa de la estructura, para pasar a una estructura fija y más resistente considerando la nueva instalación permanente en Argentina. También se modernizó y reemplazó la estructura del domo que cubre el telescopio.

La modernización y mejoramiento del sistema de control de los motores del telescopio y subsistemas relacionados (diferentes sensores de medición de

temperatura, nivel, posición, encoders, subsistemas de tiempo y circuitos específicos) consistió en la adaptación del sistema previo a nuevo hardware estandarizado industrial basado en PLC y sus módulos compatibles: módulos I/O digitales, módulos I/O analógicos, módulos de comunicación serie con protocolos industriales (RS232-RS485), y módulos para lectura de sensores. Este enfoque basado en hardware estandarizado modular fue esencial para resolver la cuestión de la modernización de un sistema con un cableado extenso, conexiones y circuitería complejas, permitiendo reutilizar gran parte de dichos componentes y adaptarlos fácilmente al nuevo hardware. En el proceso se solucionaron problemas relacionados a la corrección de fallas en el cableado hacia el nuevo hardware, y se reemplazaron sensores, conectores y se realizaron ajustes de soldaduras.

El nuevo hardware se estructuró en dos grandes bloques funcionales, cada uno comandado por un PLC: Telescope Control Unit (TCU) y Ranging Control Unit (RCU). Por un lado, la TCU se encarga de todas las tareas de tiempo real relacionadas con la orientación y el seguimiento de satélites haciendo de interfaz con todos los dispositivos asociados a dicha tarea: los encoders de los ejes de elevación y azimut y sus motores, y el sistema de tiempo. Por otro lado, la RCU es responsable de todas las tareas de control en tiempo real relacionadas con el alcance, la seguridad general del sistema y el mantenimiento. Interactúa con todos los dispositivos asociados con la tarea de medición de distancia: el láser, los dispositivos de control en la trayectoria óptica, el subsistema de medición del intervalo de tiempo.

Acompañado de la modernización mencionada anteriormente, respetando la estructura del nuevo hardware se llevaron a cabo algunas cuestiones clave para el funcionamiento del sistema SLR aumentando la precisión y estabilidad del mismo:

- controlador del oscilador: con la estabilidad de la energía eléctrica garantizada, se procedió a poner en funcionamiento el sistema láser, donde se debió reemplazar el sistema de control completo del oscilador debido a falla y a la ausencia de soporte por parte de la empresa desarrolladora, por un nuevo controlador láser de diseño propio, utilizando dispositivos estandarizados y con alto soporte, logrando una mejora sustancial en el control PID de la temperatura alrededor del valor deseado. Además, de un nuevo soporte de comunicación vía protocolos industriales permitiendo el manejo del controlador a través del PLC de la RCU.

- Se ha reparado un dispositivo llamado Generador de retardo de pulsos (PDG por sus siglas en inglés), parte fundamental para la generación láser.

- Adaptación y actualización del software Labview: Se llevaron a cabo diversas actualizaciones de los sistemas de control de los distintos instrumentos. Modernización de los sistemas de software obsoleto y la modernización del software de control para operación (software de 1995).

- Digitalización de la cámara cmos: Se desarrolló la digitalización de la cámara CMOS en el ocular del telescopio con software de desarrollo propio. Esta tecnología permitió demostrar las capacidades actuales respecto al control antiguo, por ejemplo, se llevó a cabo el seguimiento de Júpiter, probándose una precisión mejor a 1" de arco, y diferentes modelos de montura mediante observación de estrellas.

- Incorporación de tarjeta GUIDETECH: se agregó con la idea de contar con un instrumento adicional para la medición de los tiempos de vuelo hacia los satélites. Se desarrolló el software requerido para esta aplicación.

- Sumado al nuevo control del sistema láser, se llevó a cabo una modernización durante la reinstalación del sistema óptico. Se reemplazaron diferentes piezas ópticas fundamentales (aislador Faraday, espejos del sistema lineal, filtros ND de atenuación, sistema de beam splitter para el láser de bombeo, etc.), pero también se diseñó y desarrolló un sistema nuevo de entubamiento del camino óptico exterior tanto como medida de seguridad como para lograr una mayor estabilidad por aislamiento del sistema.

- Se han sumado tecnologías de seguridad: sistema de recepción de ADS-B, más sistemas de monitoreo en tiempo real, consistentes en una cámara fijada al tubo del telescopio. Parte de estos desarrollos están en proceso actualmente.

A futuro, se planea desarrollar un nuevo sistema de medición de tiempo de vuelos utilizando una matriz de compuertas lógicas programables en campo (FPGA por sus siglas en inglés) que será desarrollo exclusivo de AGGO. Otro proyecto a futuro es desarrollar un controlador basado también en FPGA para generar pulsos a partir de una señal de referencia proveniente del oscilador láser a una frecuencia sincronizada con las señales generadas de los retornos de los pulsos desde los satélites.

SLR EN AGGO: DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS PRELIMINARES

F.E. Toledo¹, M.N. Mardegan¹, R. Galván^{1,2}, M.F. Häfner^{1,3} y M. Gende^{1,2}

1. Observatorio Argentino Alemán de Geodesia – AGGO - CONICET.
2. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP.
3. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie – BKG.

ftoledo@aggo-conicet.gob.ar

La técnica de Satellite Laser Ranging (SLR) es una de las técnicas fundamentales de la geodesia espacial. La misma consiste en la determinación precisa de la distancia entre una estación en la Tierra y un satélite que orbita en el espacio (misiones satélites, Luna, Space Debris) habitualmente equipado con retroreflectores. La determinación precisa de esta distancia se lleva a cabo midiendo con exactitud el tiempo de vuelo de ida y vuelta de un pulso de luz láser, el cual es generado en la estación en Tierra y que se emite a través de un telescopio óptico que apunta hacia el satélite. Los retroreflectores ubicados en el satélite devuelven parte de ese haz reflejándolo hacia la estación nuevamente, donde detectores especiales de fotones permiten captarlos. Se determinan entonces las épocas de salida del pulso láser y de llegada de los fotones únicos mediante un reloj ubicado en la estación en Tierra. Esta técnica basada en un reloj preciso que mide el tiempo de vuelo de la luz ida y vuelta hacia el satélite, es la medición por excelencia para determinar con la mayor precisión la órbita de un satélite y, así, conforma un pilar del International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

El sistema SLR del Observatorio Argentino – Alemán de Geodesia (AGGO) se caracteriza por ser un sistema óptico compacto y robusto que permite gran velocidad y precisión en el seguimiento de los diferentes satélites. El mismo está compuesto por un telescopio refractor galileano de 50 cm de apertura, con camino óptico Coudé formado por prismas y espejos dobladores, así como, una unidad de transmisión y recepción que permite alinear el sistema óptico, dirigir precisamente los pulsos láser hacia el telescopio, recibir los fotones de regreso del satélite y dirigirlos hacia el sistema de detección. La detección de los fotones regresando del satélite se realiza a través de detectores de fotones únicos de diodos en avalancha (C-SPAD). El sistema láser está basado en un oscilador Titanio-Zafiro (Ti:Sa), que genera pulsos en una longitud de onda de 847 nm y una duración de 35 ps. Con una tasa de repetición de 100 Hz, se amplifica uno de estos pulsos hasta obtener una energía final de 15 mJ por pulso. Para determinar con precisión el efecto de la refracción troposférica en la medición, el equipo AGGO-SLR puede realizar mediciones de distancia en dos colores simultáneamente, en 423.5 nm y 847 nm.

El camino de la luz láser hacia el satélite y de vuelta, se determina mediante el tiempo de vuelo entre un fotodiodo al inicio de la generación del pulso (señal “Start”) y los detectores C-SPAD (señal “Stop”) mediante un contador de eventos de tiempo (Pico Event Timer, PET) con exactitud de aproximadamente 1,2 picosegundos (correspondiente a 0,3 mm). Este tiempo de vuelo, mediante la velocidad de la luz y modelos de refracción troposférica, esta traducido en distancia geométrica (slant range) entre el punto de referencia del sistema SLR y el centro de masa del satélite. El sistema AGGO-SLR realiza mediciones de distancia a satélites de orbitas de entre unos cientos de km y más de 20mil km en caso de constelaciones GNSS con una exactitud total de unos pocos mm. La operación de este equipo debe sostenerse 24/7, en tanto las condiciones climáticas lo permitan.

La calibración a un target de distancia conocida es una parte fundamental de la técnica SLR. Ya que permite relacionar los tiempos de sistema localmente en el momento de la medición, permitiendo ajustar los datos de las mediciones subsiguientes a los satélites. Las calibraciones se realizan rutinariamente, cada periodos de tiempo

cortos, y las mismas se incluyen en el reporte que se envía a los sistemas internacionales.

En particular, el sistema SLR de AGGO consta de un espejo retroreflector que se coloca mecánicamente en el camino óptico del haz, dentro del telescopio. Este retroreflector está a una distancia conocida, por construcción, del punto invariante del telescopio (el cruce de los ejes de elevación y azimut), de esta manera, determinamos el tiempo que le toma al haz láser viajar desde el fotodiodo que emite la señal de start al pico-event timer y la llegada de los retornos a los detectores SPAD. Esta determinación es el inicio de las mediciones SLR.

El sistema SLR de AGGO fue diseñado y desarrollado en la década del 90. Tras un extenso periodo de prueba en el sitio de Wettzell en Alemania, el mismo fue instalado en Concepción en Chile, donde formó parte del entonces Observatorio TIGO desde el año 2002, y durante 12 años. En este periodo demostró su potencial, dentro de los hitos más destacables se incluyen: la primera medición SLR del desplazamiento en las cercanías al epicentro de un Mega-Terremoto (80 km del epicentro del Terremoto de Maule el 27.02.2010, 8.8 MW) y las primeras mediciones hacia los Satélites del sistema Galileo en 2011.

En 2015 el sistema fue trasladado a su actual destinación formando permanentemente parte del Observatorio Argentino – Alemán de Geodesia, ubicado en el Parque Pereyra Iraola entre las ciudades de La Plata y Capital Federal.

En AGGO se ha llevado a cabo una renovación fundamental incluyendo el perfeccionamiento del sistema mecánico, la innovación del control electromecánico y la actualización de la gestión del sistema.

En esta presentación se hará énfasis en una breve descripción de la técnica SLR seguida tanto de una descripción del sistema AGGO-SLR, como de su historia operativa para presentar finalmente los primeros resultados experimentales obtenidos con este sistema en AGGO, haciendo hincapié en las mencionadas calibraciones a un target de distancia conocida.

ACTIVITIES IN ABSOLUTE GRAVIMETRY AT THE ARGENTINEAN-GERMAN GEODETIC OBSERVATORY (AGGO)

A. Pasquare¹, E. Brachmann², E.D. Antokoletz², A. Lothhammer², H. Wziontek², M.F. Häfner^{1,2} y M. Gende^{1,3}

1. Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO), Argentina.
2. Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG), Germany.
3. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP), Argentina.

apasquare@aggo-conicet.gob.ar – alfpas@gmail.com

La Gravimetría es la disciplina que se encarga de medir la aceleración de la gravedad cerca o sobre la superficie terrestre, y estudiar el campo de gravedad que ésta genera. Las mediciones absolutas de gravedad se basan en la observación directa de las constantes fundamentales de la aceleración de un cuerpo en caída libre: distancia y tiempo. A partir de la corrección por variaciones temporales, es posible obtener el valor convencional de la aceleración de gravedad en un dado punto.

El gravímetro absoluto FG5-227 es operado por la Agencia Federal para la Cartografía y la Geodesia de Alemania (BKG), en colaboración con CONICET en el Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO), y contribuye al establecimiento de una estación de referencia en Argentina del futuro Marco de Referencia Internacional de Gravedad Terrestre (ITGRF) de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG). Previamente, el gravímetro fue operado en el Observatorio Geodésico Wettzell (Alemania), donde se cuenta con una referencia de gravedad absoluta estable basada en observaciones realizadas con gravímetros absolutos y los resultados de comparaciones regionales e internacionales de gravímetros. Recientemente, el gravímetro participó en el CCM.G-K2.2023 Supplemental Study llevado a cabo en 2023 en el Observatorio Gravimétrico Table Mountain (TMGO) en Boulder, CO, EEUU, y además participará de la comparación regional EURAMET.M.G-K3 2024 en Wettzell este año. De esta manera, el laboratorio de gravimetría de AGGO se encuentra vinculado a la referencia global de gravedad absoluta. Por otra parte, a partir de la combinación de las observaciones del FG5-227 y la operación continua del gravímetro superconductor SG038 en AGGO, es posible establecer la función de referencia de gravedad que permite el control y la compatibilidad entre gravímetros absolutos en todo momento. Además, dos pilares adicionales en el laboratorio de gravimetría permiten realizar comparaciones de gravímetros a escala regional en América del Sur y provee acceso al ITGRF a distintas organizaciones e instituciones.

En este trabajo, se presenta una descripción de las actividades llevadas a cabo con el FG5-227 desde el comienzo de su operación en AGGO en 2018, y se detallan las posibilidades del observatorio de convertirse en una estación de referencia del futuro ITGRF.

Palabras clave: AGGO, Gravimetría absoluta, ITGRF.

Abstract

Gravimetry is the discipline in charge of measuring the acceleration of gravity on the Earth's surface or very close to it, and studying the gravitational field that it generates. The measurement of absolute gravity is based on the direct observation of the fundamental quantities of acceleration of free fall which are: distance and time. Applying corrections for the temporal gravity variations, the conventional quantity acceleration of gravity vector at a specific point is derived.

The absolute gravimeter FG5-227 is operated by the Federal Agency of Cartography and Geodesy (BKG) in collaboration with CONICET at the Argentinean-German Geodetic Observatory (AGGO) and contributes to the establishment of a reference

station in Argentina in the upcoming International Gravity Reference Frame (ITGRF) of the International Association for Geodesy (IAG). The gravimeter was before operated at the Geodetic Observatory Wettzell (Germany) where a stable absolute gravity reference is available, based on repeated absolute gravity observations and the results of international and regional gravimeter comparisons. Recently, the gravimeter participated in the CCM.G-K2.2023 Supplemental Study conducted in 2023 at the Table Mountain Gravity Observatory (TMGO), Boulder, CO, USA, and it is planned to take part in the EURAMET.M.G-K3 2024 in Wettzell, Germany this year. By this, the gravimetry laboratory of AGGO is well linked to the global absolute gravity level. In combination with the continuous operation of the superconducting gravimeter SG038 at the station, a gravity reference function is established that allows to check the compatibility of absolute gravimeters at any time. Two additional pillars allow to carry out comparisons of absolute gravimeters on a regional scale in South America and provide access to the ITGRF for other institutions and organizations.

In the present study, an overview of the activities carried out with the FG5-227 since the start of its operations at AGGO in 2018 is presented and the capabilities of the observatory to become a reference station of the future ITGRF are described.

Keywords: AGGO, Absolute gravimetry, ITGRF.

ANÁLISIS DE LOS 25 AÑOS DE EVOLUCIÓN DEL MODELO IAU-IUGG PARA LA NUTACIÓN DE LA TIERRA: PERSPECTIVAS FUTURAS

Marta Folgueira-López¹ y Laura I. Fernández^{2,3}

1. Universidad Complutense de Madrid, España.
2. Laboratorio de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)–Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la pcia de Bs As., Argentina.
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

lauraf@fcaglp.unlp.edu.ar

El estudio de las variaciones en la rotación terrestre deducidas a partir de las variaciones observadas en los parámetros de la orientación terrestre (EOP), constituye un problema fundamental de la Geodesia. Los EOPs están formados por cinco parámetros: las coordenadas del polo instantáneo de rotación en el sistema terrestre (x_p , y_p), los cambios en velocidad de rotación axial del planeta (ΔLOD) y dos parámetros adicionales que cuantifican la diferencia modelo – observación para la nutación terrestre (dX , dY). Los modelos de precesión y nutación describen la posición y trayectoria de la Tierra en el espacio. Por todo lo anterior es fácil ver que los EOPs proveen del vínculo esencial y necesario en la transformación entre los sistemas de referencia celeste (ICRS) y terrestre (ITRS).

En 2000 y 2003, la Unión Astronómica Internacional (IAU) y la Unión Internacional de Geofísicos y Geodestas (IUGG) adoptaron, respectivamente, un nuevo modelo para la nutación terrestre. Este modelo se basa en el modelo MHB2000 de Mathews et al. (2002), que a su vez se basa en las series de nutación de la Tierra rígida REN2000 de Souchay et al. (1999). Este estudio multidisciplinar de la dinámica de rotación terrestre, realizado por especialistas en diversas áreas como la Astrometría, la Geofísica y la Geodesia, logró reducir las diferencias entre el modelo teórico y las observaciones obtenidas mediante la técnica de Interferometría de muy larga base (VLBI), al orden de magnitud de las milésimas de segundo de arco.

Entre las disciplinas del ámbito de las Ciencias de la Tierra y del Espacio involucradas en los estudios de la dinámica de la rotación terrestre destacamos las siguientes: i) En la parte correspondiente a la nutación de la Tierra rígida, se aplicaron técnicas y métodos proporcionados por la Mecánica Celeste, la Astrometría y la Geodesia; ii) En la parte relacionada con las series de nutación de una Tierra no rígida (formada por un manto inelástico, un núcleo interior elástico, un núcleo externo líquido) se aplicaron métodos, datos y resultados que provienen de la Geofísica del interior terrestre. También se incluyeron en dicho modelo los efectos atmosféricos y oceánicos sobre la rotación de la Tierra; iii) La comprobación de mejora del modelo MHB2000 respecto al precedente de Wahr (1981) se realizó analizando las diferencias modelo – observación a partir de datos proporcionados, en su mayor parte, por la Geodesia espacial y la Astrometría. Todas estas etapas y fases en la creación del modelo de nutación terrestre se apoyaron en métodos, formulaciones y resultados de diversas ramas de las Matemáticas.

Este artículo explora los avances en la modelización del movimiento de rotación terrestre durante los últimos 25 años, desde la perspectiva de las diversas disciplinas. Se basa en el modelo MHB2000 y analiza las mejoras matemáticas introducidas desde su adopción como modelo oficial IAU-IUGG. Finalmente, se presentan propuestas para aumentar la precisión de dicho modelo y reducir las diferencias entre teoría y observación a menos de una milésima de segundo de arco, de tal modo que se cumplan los requerimientos del Sistema Global de Observaciones Geodésicas (GGOS) y se mejore la precisión entre las transformaciones de los sistemas de referencia ITRS e ICRS.

Referencias

- Mathews P.M., Herring, T.A., Buffett B.A. (2002). Modeling of nutation-precession: New nutation series for nonrigid Earth, and insights into the Earth's Interior, *J. Geophys Res.*, 107, B4, 10.1029/2001JB000390.
- Souchay, J., Loysel, B., Kinoshita, H., Folgueira, M. (1999). Corrections and new developments in rigid Earth nutation theory: III. Final tables REN-2000 including crossed-nutation and spin-orbit coupling effects, *Astron. Astrophys. Supp. Ser.*, 135, pp. 111-131.
- Wahr, J. M. (1981). The forced nutations of an elliptical, rotating, elastic and oceanless Earth. *Geophysical Journal International*, 64(3), 705-727.

VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE PRODUCTOS DE SALINIDAD SUPERFICIAL SATELITAL EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÁNTICO SUDOCCIDENTAL

Basañes, S.^{1,2,3}; Ruiz-Etcheverry L.^{3,4,5} y Luz Clara M.^{1,2}

1. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), (2) Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (IIMyC - CONICET).
2. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y Oceanografía - Universidad de Buenos Aires (DCAO-UBA).
3. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CIMA-CONICET).
4. Instituto Franco-Argentino de Estudios sobre el Clima y sus Impactos (IFAECI) – IRL 3351 – CNRS-CONICET-IRD-UBA.

santi.basanes@gmail.com

La Plataforma Continental del Atlántico Sudoccidental (PCASO) es un área marítima de gran importancia para la Argentina. Su riqueza en recursos naturales, su gran biodiversidad y su rol como sumidero/fuente de CO₂ la convierten en un espacio de gran interés económico y científico para la región. La PCASO se encuentra dominada por aguas subantárticas de plataforma (ASaP), cuyas temperaturas no superan los 5°C y la salinidad se encuentra en un rango de (33.5, 34.2), a esto se le agrega la influencia del: 1) ingreso de aguas continentales a través de la descarga de ríos como el Río de la Plata (RdP), 2) frente de talud, originado en el encuentro de las ASaP con la Corrientes de Malvinas (CM), por donde se introducen aguas de bajas temperaturas, 3) la proximidad de la confluencia Brasil-Malvinas (CBM), dando lugar al ingreso de aguas cálidas con origen en la Corriente de Brasil (CB), y 4) su morfología característica, haciendo de la PCASO una región de gran complejidad para su estudio.

Conociendo el rol fundamental que juega la salinidad en la dinámica del océano y su importancia para la identificación de masas de agua, la comprensión de la circulación termohalina, el ciclo del carbono y la acidificación del océano, la disponibilidad de un producto de salinidad superficial satelital (SSS) validado en la PCASO es de gran relevancia para la comunidad. Bajo ese contexto, el objetivo de este trabajo es validar y evaluar distintos productos de salinidad superficial satelital (SSS) utilizando datos *in situ* de salinidad medidos y recopilados de la Base Regional de Datos Oceanográficos del INIDEP (BaRDO) entre 2010 y 2023.

BaRDO cuenta con observaciones realizadas con Botellas Niskin, CTD (Conductivity, Temperature and Density) y termosalinografo (TSG). Tanto para el CTD y las botellas Niskin el valor de salinidad superficial se estima como el promedio de los valores obtenidos hasta los 10 metros de profundidad. Para cada producto de SSS se interpolan linealmente las imágenes satelitales en las coordenadas espacio/temporal de las observaciones *in situ*, dando lugar a dos datasets por producto satelital asociados al CTD y TSG respectivamente. Además, las particularidades de la zona de estudio permitieron dividirla en siete subregiones considerando sus características físicas, su disposición geográfica (altas latitudes), la disponibilidad y densidad de datos y regiones preexistentes consideradas de interés.

Para definir un criterio que permita evaluar y comparar los distintos productos de SSS se calculan diversos estadísticos tales como correlación lineal, bias, error cuadrático medio, pendiente, entre otros, sobre cada uno de los datasets permitiendo determinar un producto óptimo por región y cada una de las subregiones. En algunos casos, se aplicaron diferentes estrategias de limpieza de datos, como suavizado de datos para

TSG y el eliminar valores atípicos (*outliers*) asumiendo distribuciones gaussianas, etc.

Hasta el día de la fecha se compararon los productos de SSS: SMOS CATDS Qualified (L2Q), SSS SMOS L4 OI - LOPS-v2021 y Multi Observation Global Ocean Sea Surface Salinity and Sea Surface Density. Los resultados muestran que para la región en su totalidad los valores de correlación, la raíz del error cuadrático medio, la pendiente y el bias varían considerablemente al ser comparados con las observaciones de origen en el TSG o de origen con el CTD. Para el SMOS CATDS Qualified (L2Q) y SSS SMOS L4 OI - LOPS-v2021 el comportamiento y la tendencia resultaron similares. En ambos casos se obtuvo una correlación de 0.27 y 0.28, respectivamente, cuando se los comparó con las observaciones de TSG, mientras que resultaron de 0.57 y 0.49, respectivamente, cuando se lo comparó con las observaciones de CTD. Para el caso en el que se eliminaron los *outliers*, no solo se vio modificada la tendencia, sino que también la correlación aumentó, con valores de 0.80 y 0.77 entre SSS SMOS L4 OI - LOPS-v2021 con TSG y CTD, respectivamente, y de 0.63 y 0.67 para el SMOS CATDS Qualified (L2Q). Para el caso del producto Multi Observation Global Ocean Sea Surface Salinity and Sea Surface Density se observó una correlación muy alta inicial (de alrededor de 0.7) pero una pendiente del ajuste lineal muy baja (de 0.15).

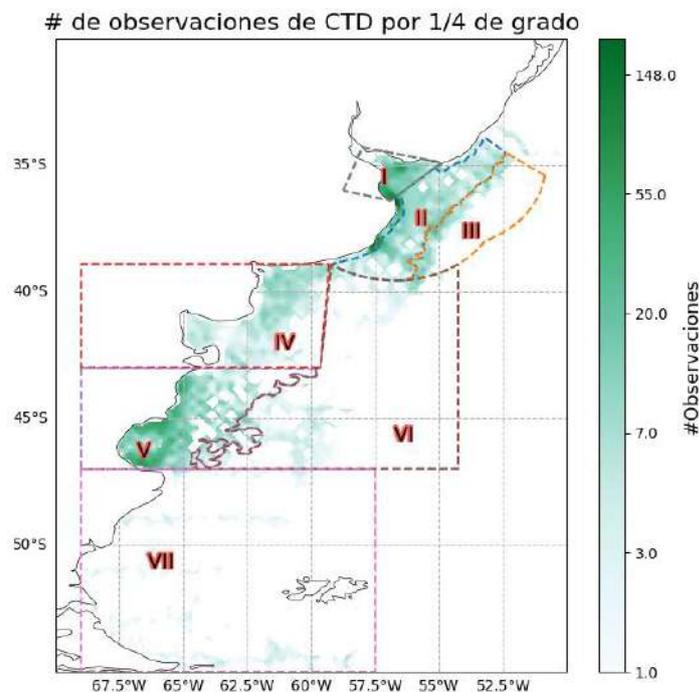


Figura 1: Mapa de la región de estudio. En la gama del verde se indica el número de observaciones que se tiene por cuarto de grado. Las líneas punteadas y los números romanos señalan cada una de las 7 subregiones definidas.

Se replicó el análisis sobre cada una de las siete subregiones. En este, se pudo notar como ante un mismo producto el comportamiento variaba considerablemente de región a región. Por ejemplo, para el producto Multi Observation Global Ocean Sea Surface Salinity and Sea Surface en las regiones II y VII (ver figura [\ref{fig:mapa}](#)) los valores del coeficiente de correlación con el CTD son de 0.54 y 0.89 y sus pendientes son de 0.12 y 0.55 respectivamente, análogamente para el caso del TSG, siendo 0.32 y 0.83 el coeficiente de correlación, 0.02 y 0.24 la pendiente para las regiones II y VII respectivamente.

En el trabajo se presentará un análisis más detallado por región y subregiones, considerando su dinámica particular, el origen de los *outliers* y las particularidades de cada producto SSS permitiendo así la elección del mejor de ellos y, en todo caso, señalando un camino para su optimización considerando las diversas dinámicas en el interior de la plataforma.

HIDRODINÁMICA EN UNA PLANICIE DE MAREA DURANTE UNA ONDA DE TORMENTA POSITIVA (ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA, ARGENTINA).

Camila Stempels Bautista^{1,2}, Gerardo M.E. Perillo^{1,2}, Diana G. Cuadrado^{1,2} y Mauricio M. Perillo³

1. Instituto Argentino de Oceanografía, UNS-CONICET, Bahía Blanca, Argentina.
2. Dpto. Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.
3. Exxon Mobil, Houston, Estados Unidos.

cstempels@iado-conicet.gob.ar

Las corrientes, las olas y la interacción de estas (flujos combinados) generan distintos tipos de formas de fondo. El objetivo del trabajo fue cuantificar las corrientes originadas por la marea y las olas en una planicie supramareal del estuario de Bahía Blanca en condiciones sicigia y onda de tormenta positiva, y analizar los cambios morfológicos que ocurrieron. El lugar de estudio fue Villa del Mar (38°51'25"S; 62°06'59"O), que se encuentra ubicada en la zona intermedia del estuario de Bahía Blanca. Desde el 9 de junio de 2023, en los mapas sinópticos (Modelo GFS) se observó un desplazamiento de un frente frío en dirección SO-NE, que generó ondas de tormenta positivas de hasta 1 m en la zona de estudio. Este centro de baja presión en el Océano Atlántico produjo fuertes vientos de dirección SO (ráfagas > 60 km/h), induciendo una sobre elevación del nivel medio del mar. Las condiciones de tormenta continuaron hasta el 11 de junio de 2023. Es importante destacar que durante estos días el estado de marea correspondió a sicigia, por lo tanto, actuó como un componente adicional a dicha sobre elevación.

Los datos de olas y corrientes se obtuvieron sobre una planicie de marea entre los días 8 y 12 de junio de 2023, con un correntómetro acústico de Doppler (ADV) Sontek que mide las tres componentes de la velocidad (u,v,w) en un punto. El mismo fue instalado sobre un tetrápodo y ubicado a 10 cm sobre la superficie de la planicie de marea y el volumen de medición se encuentra sobre esa superficie. El muestreo se realizó en ráfagas simples de 12 minutos con intervalos entre las mismas de 30 min, con una frecuencia de 10 Hz. Para esta presentación se consideran las 9 ráfagas correspondientes a las condiciones de tormenta y donde los datos superaban el 80% del coeficiente de correlación, que es una medición de la calidad de los datos de velocidad del ADV. Tres de las ráfagas se midieron en marea creciente, una en estoa y las cinco restantes durante marea bajante. Por otro lado, se tomaron fotos y se caracterizaron las geoformas antes y después del pasaje de la tormenta (8 y 12 de junio de 2023), para realizar un estudio comparativo e identificar el efecto de los flujos combinados. Además, se muestreó sedimento superficial del cual se determinó su granulometría con un Malvern-Mastersizer 2000 para partículas entre 0,2-2000 μm .

En los espectros de presión se observaron olas de generación local de 2-4 s que son las de mayor poder erosivo y, por lo tanto, ponen el sedimento en suspensión, y olas de mar de fondo entre 8 y 20 s. El esfuerzo de corte crítico del sedimento estéril (τ_{0c}) se calculó a partir del diagrama de Shields, obteniendo 1,62 dinas/cm² para iniciar el transporte de la arena fina superficial del área de estudio (200 μm). A partir del análisis de los esfuerzos de corte de los flujos combinados (τ_0), se observa que el τ_0 supera el τ_{0c} sólo en algunas ocasiones durante las ráfagas de marea creciente y con mayor frecuencia en marea bajante. En marea creciente los τ_0 que superan el τ_{0c} , en general, no superan las 10 dinas/cm², pero alcanza máximos de hasta 16 dinas/cm². En las ráfagas de marea bajante, se observa que el τ_0 alcanza mayores valores que en marea creciente, registrando máximos de 19 dinas/cm², indicando mayor turbulencia y transporte de sedimentos. Por último, en la ráfaga medida en estoa, se observa que el τ_0 es igual o supera el τ_{0c} en casi la totalidad del tiempo medido, alcanzando máximos

similares a los de marea creciente, pero en este caso, el esfuerzo de corte es generado por las olas, ya que el nivel del agua permanece constante durante toda la medición.

Consecuentemente, el fondo evidenció modificaciones. Antes de la inundación (8 de junio), la planicie presentaba partes significativamente lisas y ondulitas asimétricas 3D, de arena fina, que migran en sentido del refluo (Fig. 1A). Las mismas presentaron dimensiones de hasta 2 cm de altura y 7 cm de espaciamiento. Luego del pasaje de la tormenta (12 de junio) se observaron ondulitas asimétricas 3D de arena fina, que presentan crestas semi continuas, con orientación N-S, que migran en sentido del refluo (Fig. 1B). Las mismas presentaron las mismas dimensiones que las observadas antes de la inundación, pero éstas se formaron por encima de la planicie observada el 8 de junio de 2023.

Los cambios observados en las formas de fondo en la planicie supramareal de Villa del Mar, en conjunto a los resultados del esfuerzo de corte del fondo τ_0 , indican que las olas y corrientes tuvieron la energía necesaria para generar un transporte de sedimentos cuando el mar inundó la zona en condiciones de onda de tormenta positiva y marea de sicigia. Además, se registró que, en estoa, donde la velocidad de la corriente de marea tiende a cero, el transporte de sedimentos fue ocasionado fundamentalmente por las olas.



Figura 1: Planicie supramareal antes y después del pasaje de la tormenta. A) 8 de junio de 2023. B) 12 de junio de 2023.

LOUDINESS VARIABILITY AND LONG-TERM DECREASE OVER NORTHEASTERN ARGENTINA: INSIGHTS FROM SURFACE OBSERVATIONS AND SATELLITE-DERIVED DATA

Nadia Testani^{1,2,3}, Federico Robledo^{1,2,3}, Leandro Díaz^{1,2,3}

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO). Buenos Aires, Argentina. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.
2. Instituto Franco-Argentino de Estudios sobre el Clima y sus Impactos (IFAECI) – IRL 3351 – CNRS-CONICET-IRD-UBA. Buenos Aires, Argentina.

nadia.testani@cima.fcen.uba.ar

Clouds cover about two-thirds of the Earth and are a key element of the climate system, playing an important role in the Earth's energy balance and water cycle at both global and local scales. Clouds can also have a major impact on, for example, agricultural production. Although a slow but steady decrease in global total cloud cover (TCC) has been observed, with most of the decrease occurring in mid-latitude regions, few studies have examined the specifics of TCC changes in South America (SA), and none in the densely populated, highly productive sub-region of Southeastern South America (SESA).

Since the impacts of climate change are generally experienced at local and regional scales, and thus climate information at these spatial scales is considered to be more impact and risk-relevant climate change information, the objective of the present study is to present the climatology and the observed long-term changes and variability of TCC in Northeastern Argentina (NEA), a SESA sub-region of high economic and demographic importance, as it concentrates most of the country's agricultural production and population.

In this study, we present the climatology and observed long-term changes in TCC in the NEA. The analyses are based on two independent datasets: TCC ground-based (GB) observations and satellite-based estimates from the International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP). The datasets cover a common period, from December 1983 to November 2016 (satellite period), while the GB TCC observations extend further, from March 1961 to February 2021 (GB period). To facilitate a more comprehensive study of GB TCC, we introduce a novel cloud index (CI), expressed in a familiar unit (%), which allows the study of its temporal variations.

The TCC shows a distinct annual cycle and considerable spatial variability over the NEA, which is consistently evident in both satellite and GB datasets. Although spatially heterogeneous, negative seasonal trends for CI are observed throughout the satellite period, with the largest decreases in the months of March to April (MAM), followed by December to February (DJF). For the GB period, negative seasonal trends for CI are also observed, but the largest decreases are in December to February (DJF) followed by June to August (JJA). During the satellite period, CI seasonal trends did not show statistical significance for any season. We ensured the reliability of our results by comparing the two datasets, which showed similar temporal variability, although the ISCCP cloudiness values were larger than the GB TCC. The observed decrease in total cloud cover (TCC) in this study is consistent with the equatorward shift of the Hadley cell over South America over the last 60 years, which has led to an increase in the sinking motion over the subtropical latitudes of South America (SSA), including northeastern Argentina (NEA) (Saurral et al., 2017). Furthermore, the weakening of summer northerly winds over NEA in recent decades (Zilli et al., 2018) is also consistent with the decreasing trend in TCC observed in our study. Variations in local conditions (e.g. changes in land use) could also explain the TCC trends studied here.

In addition, our study examines the interannual variability of the Cloud Index (CI) over the NEA, both annually and seasonally. For this purpose, we estimated the linear regression between the CI and several ERA5 reanalysis variables over SA, including temperature, total precipitation, outgoing longwave radiation flux, horizontal moisture flux at 850hPa, vertical integrated moisture divergence, and geopotential height at 850hPa. The regression maps show that cloudiness variability in the NEA is mainly related to the regional dipole between the SESA and the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), which has been previously documented for other variables in the region (Vera et al., 2006; Grimm and Zilli, 2008). This signature is detected annually and in all seasons except the austral winter. In addition, we investigate the remote influence of SST anomalies on CI in the NEA, disentangling the influence of El Niño events on CI dynamics. This influence is found to be more important in the austral spring, in agreement with Grimm and Zilli (2008).

Overall, our results provide evidence for a consistent decrease in cloudiness over the NEA over the last six decades, based on ground-based and satellite information, and provide valuable insights into the complex interplay between cloudiness and regional climate dynamics. All this provides a basis for informed decision-making in a region of economic and agricultural importance in the context of a changing climate.

Keywords: Regional Climate Change; South-Eastern South America; Multiple Lines of Evidence; Total cloud cover; Climate Variability.

References

- Grimm, A. M., & Zilli, M. T. (2009). Interannual variability and seasonal evolution of summer monsoon rainfall in South America. *Journal of Climate*, 22(9), 2257-2275.
- Saurral, R.I., Camilloni, I.A., Barros, V.R., 2017. Low-frequency variability and trends in centennial precipitation stations in Southern South America. *International Journal of Climatology* 37, 1774–1793.
- Vera, C., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D., ... & Zhang, C. (2006). Toward a unified view of the American monsoon systems. *Journal of climate*, 19(20), 4977-5000.
- Zilli, M. T., Carvalho, L. M. V., & Lintner, B. R. (2018). The poleward shift of South Atlantic Convergence Zone in recent decades. *Climate Dynamics*. doi:10.1007/s00382-018-4277-1

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN MODELO SATELITAL DE RADIACIÓN SOLAR EN LA ESTACIÓN DE VILLA MARTELLI DE LA RED SAVER-NET

Anabela Rocío Lusi^{1,2,3}, Pablo Facundo Orte^{1,2,3}, Rodrigo Alonso-Suárez⁴, Elian Wolfram⁵

1. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CABA – Argentina.
2. Departamento de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (DEILAP), UNIDEF (CITEDEF-CONICET), Villa Martelli – Argentina.
3. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI), CNRS, IRD, CONICET, UBA, Buenos Aires – Argentina.
4. Laboratorio de Energía Solar, Departamento de Física del Litoral, CENUR Litoral Norte, UDELAR, Salto – Uruguay.
5. Servicio Meteorológico Nacional (SMN), CABA – Argentina.

anabelalusi@gmail.com

La evaluación precisa del recurso solar disponible es un elemento crítico para el éxito en el desarrollo de proyectos de plantas de energía solar fotovoltaica (PV) a gran escala. Dada la inversión económica inicial, resulta importante disponer de datos confiables sobre radiación solar. Esto permite prever de manera precisa el dimensionamiento y rendimiento de una planta, y gestionar de manera efectiva el riesgo financiero asociado [1]. Los modelos satelitales de radiación solar son una herramienta esencial para la planificación y el desarrollo de estos proyectos. Aunque las estimaciones satelitales ofrecen datos valiosos, su confiabilidad disminuye cuando carecen de verificación a través de mediciones precisas en tierra. Es por eso que resulta pertinente analizar el desempeño de modelos de radiación solar con datos medidos en tierra. En este trabajo se presenta la comparación de estimaciones satelitales de Irradiancia Global Horizontal (GHI) del modelo Physical Solar Model (PSM - NSRDB) [2] con datos terrestres del sitio de monitoreo Villa Martelli (34,58°S, 58,48°O, 25 m.s.n.m.), perteneciente a la red Argentina de radiación solar Saver-Net. El modelo PSM utiliza datos provenientes de mediciones de múltiples canales obtenidos del Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) del National Ice Center (NIC), y el Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) y el Modern Era Retrospective analysis for Research and Applications, versión 2 (MERRA-2), de la National Aeronautics and Space Administration (NASA). El PSM es un modelo físico de dos pasos. En el primer paso se derivan, recopilan y remuestran las propiedades de las nubes y los aerosoles, y luego, en el segundo paso, se introducen estas variables como entradas en un modelo de transferencia radiativa, el Fast All-sky Radiation Model for Solar applications (FARMS) [3]. La información disponible tiene una resolución espacial de 4 km y una resolución temporal de 30 minutos. Por otro lado, los datos de GHI terrestres fueron registrados con piranómetros Kipp&Zonen CMP-21 en el rango de onda corta en un plano horizontal con un tiempo de adquisición de un minuto. Las medidas se sometieron a un estricto control de calidad, para detectar anomalías o muestras alteradas por sombra, y asegurar que se cumplan con los estándares de calidad necesarios. El análisis se realizó durante los años 2019 y 2020, para resoluciones temporales de 10 minutos y 1 hora. Se encontró una alta correlación entre el modelo satelital y las observaciones terrestres, con coeficientes de Pearson de 0,96 y 0,97 para intervalos de 10 minutos y 1 hora, respectivamente (Figura 1). El sesgo relativo (rMBD) registró valores de -0,71% y -1,39%, y el desvío cuadrático medio relativo (rRMSD) presentó valores de 19,54% y 16,44% para los mismos periodos temporales. Finalmente, se identificaron 3 días particulares (16/11/19, 18/11/19 y 19/11/19) donde el modelo satelital presenta diferencias atípicas que impactan en el

desempeño del modelo, y se proponen como casos de estudio para investigaciones futuras.

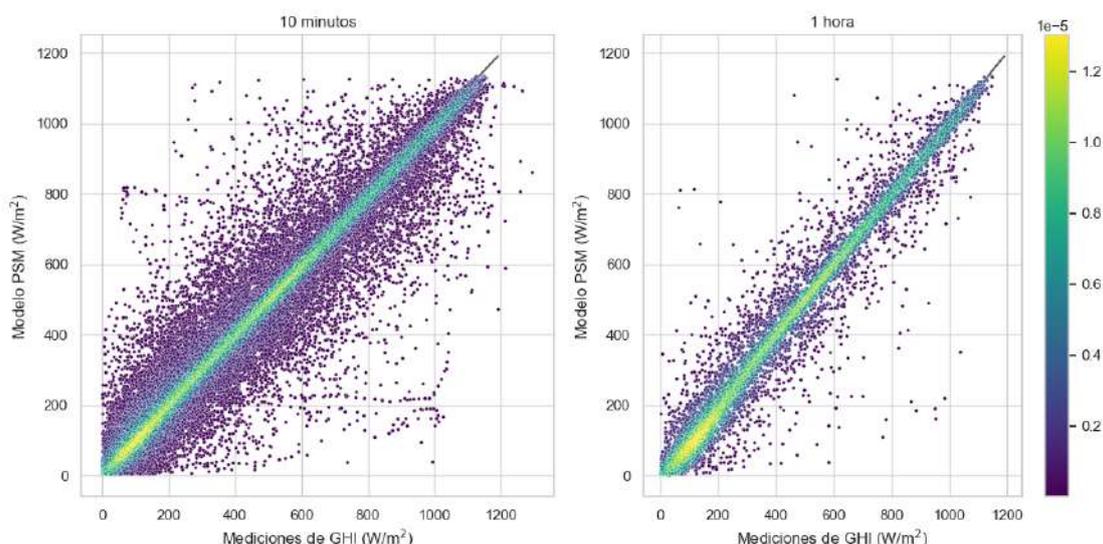


Figura 1: Diagramas de dispersión para los estimativos del modelo PSM (NSRDB) con las mediciones de GHI de la estación de Villa Martelli, Buenos Aires. La línea negra sigue la relación $x=y$, y la escala de color refleja la densidad de las muestras.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) por el financiamiento del proyecto Saver-Net y al SMN y CITEDEF por el mantenimiento y la operación instrumental en los nodos de monitoreo de la red. Este trabajo cuenta con la financiación de la Agencia I+D+i a través del Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica PICT-2020-SERIEA-02601. Anabela Rocío Lusi es estudiante del Doctorado en Ciencias Aplicadas Mención Ambiente y Salud (DCAAS, UNICEN, Argentina).

Referencias

- [1] A. C. McMahan, C. N. Grover, y F. E. Vignola, «Chapter 4 - Evaluation of Resource Risk in Solar-Project Financing», en *Solar Energy Forecasting and Resource Assessment*, J. Kleissl, Ed., Boston: Academic Press, 2013, pp. 81-95. doi: 10.1016/B978-0-12-397177-7.00004-8.
- [2] M. Sengupta, Y. Xie, A. Lopez, A. Habte, G. Maclaurin, and J. Shelby. The National Solar Radiation Data Base (NSRDB). *Renewable and sustainable energy reviews*, pages 51–60, 2018.
- [3] Y. Xie, M. Sengupta, y J. Dudhia, «A Fast All-sky Radiation Model for Solar applications (FARMS): Algorithm and performance evaluation», *Sol. Energy*, vol. 135, pp. 435-445, oct. 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.06.003.

ANÁLISIS DE ÍNDICE DE CONFORT TÉRMICO UNIVERSAL UTCI EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES EN CONDICIONES DE ALTO ESTRÉS TÉRMICO

Esteban Andrés Zuccaro¹, Mariana Barrucand^{2,3}, Agustina López Ramirez²

1. Servicio Meteorológico Nacional, ARGENTINA.
2. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA.
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ARGENTINA.

ezuccaro@smn.gob.ar

El estrés por calor influye negativamente en la salud de los seres humanos y conduce a una menor eficiencia en las actividades diarias. Existen diversos índices que analizan el confort térmico humano y permiten determinar cuál es el nivel de estrés al cual está sometida una persona que se encuentra realizando una actividad física, laboral o que está expuesta a las condiciones meteorológicas al aire libre. Entre estos índices se encuentra el Wind Chill, Thermal Work Limit (TWL), Physiologic Equivalent Temperature (PET) o Heat Index (HI) los cuales utilizan distintas variables y se aplican en diferentes situaciones a fin de representar la percepción del cuerpo humano ante la situación meteorológica reinante. En este estudio se analizó el índice de estrés térmico universal "Universal Thermal Climate Index" (UTCI), que utiliza 4 variables meteorológicas, a fin de determinar el nivel de estrés térmico percibido por el ser humano en un ambiente al aire libre. Se utilizaron datos horarios de temperatura, humedad relativa, intensidad de viento y nubosidad provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), correspondientes a la estación OCBA (Buenos Aires), en 5 horas diurnas (6, 9, 12, 15 y 18 hora local) del período 1981-2020. A partir de esta información, y luego de un análisis de consistencia de datos, se calculó el índice UTCI utilizando el programa RayMan pro (Matzarakis et al., 2010).

Este estudio se focaliza en el análisis de situaciones de estrés severo, representadas por un valor de UTCI > 32°C. Se analizaron las direcciones de viento predominante durante los días afectados con estas condiciones y se las comparó con los valores climatológicos. Para ello se calculó la frecuencia relativa predominante de la dirección del viento durante los meses de verano (diciembre, enero y febrero) del período 1981-2020, en la ciudad de Buenos Aires en las 5 horas principales antes mencionadas y la frecuencia relativa de la dirección del viento en los casos con valores de UTCI superior a 32°C. La comparación de estas frecuencias respecto de los valores climatológicos permite determinar comportamientos anómalos de la circulación del viento en superficie asociadas a los días con dichos valores de UTCI. Al analizar en particular la frecuencia de casos con situaciones de estrés severo o superior a este umbral se encontró un aumento de la frecuencia del viento norte para todas las horas. Durante la mañana se destaca el aumento de la componente oeste y disminución de la componente este del viento proveniente del norte, mientras que en horas de la tarde se observa un aumento del viento norte, noreste y noroeste.

Finalmente, se analizó un período excesivamente cálido ocurrido en el verano de 2023 (28/02 al 14/03/2023) en el que la temperatura máxima diaria se mantuvo por encima del percentil 90 durante varios días consecutivos. El percentil es calculado respecto de la distribución climatológica del semestre cálido octubre-marzo del período 1961-2010. Se calcularon series temporales de índice UTCI a lo largo de todo el período a fin de identificar los días y horas con mayor estrés térmico (figura 1). Si bien es raro observar situaciones de estrés térmico a las 6 de la mañana, durante este período se registraron dos días consecutivos en los que el UTCI alcanzó la condición de estrés moderado (11 y 12 de marzo). Para la hora 9 se registraron valores asociados a estrés moderado y severo con una disminución significativa en el día 7 de marzo en donde no se detectó una situación de estrés térmico. Ya para la hora 12 y 15, los valores

estuvieron asociados a condiciones de estrés severo y muy severo, con un UTCI máximo en el día 11 de marzo a las 15 horas cercano a los 45°C. Para las 18 horas, las condiciones fueron mayormente de estrés severo, con un mínimo el día 8 y 9 de marzo, con condiciones de estrés moderado. Este estudio muestra la situación de alto estrés térmico registrado en Buenos Aires entre el 28/2/23 y el 14/3/23, que llegó a ser muy severo entre las 12 y 15 horas (con el consiguiente riesgo para la salud), pero que también alcanzó valores significativos en horas de la mañana que no deben ser subestimados.



Figura 1: Evolución diaria del índice de estrés térmico UTCI en las horas 06 (arriba der.), 09 (arriba der.), 12 (centro izq.), 15 (centro der.) y 18 (abajo).

Agradecimientos: esta investigación fue financiada por los proyectos PICT2019-2019-02933, CONICET PIP 0333 (2021-2023), UBACyT 20020220200111BA.

Referencias

Matzarakis, A., Rutz, F. & Mayer, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *Int J Biometeorol* 54, 131–139 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>.

Fröhlich, D., Matzarakis, A. A quantitative sensitivity analysis on the behaviour of common thermal indices under hot and windy conditions in Doha, Qatar. *Theor Appl Climatol* 124, 179–187 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1410-5>.

Dogan, M., Vural, E., & AVCI, T. (2020). Determination of Comfort Areas According to the Wind Chill Index of the Central Anatolia Region. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 6(2), 84-94.

Veronica S. Miller, Graham P. Bates, The Thermal Work Limit Is a Simple Reliable Heat Index for the Protection of Workers in Thermally Stressful Environments, The

Annals of Occupational Hygiene, Volume 51, Issue 6, August 2007, Pages 553–561, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mem035>.

Eludoyin, O. M., Adelekan, I. O., Webster, R., & Eludoyin, A. O. (2014). Air temperature, relative humidity, climate regionalization and thermal comfort of Nigeria. *International Journal of Climatology*, 34(6), 2000-2018.

CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO vs. AEROSOLES ¿UNA ATMÓSFERA EN CONSTANTE INTERACCIÓN ELÉCTRICA?

Yasmin R. Velazquez^{1,2,4}, M. Gabriela Nicora^{2,4,5}, Vito S. Galligani^{1,3,4}, Elian A. Wolfram^{2,3,6}, Raúl L. D'Elia²

1. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
2. Centro en Láseres y Aplicaciones (CEILAP) CITEDEF y UNIDEF (MINDEF-CONICET).
3. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.
4. CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina.
5. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.
6. Dirección de Redes de Observación del SMN C1425GBE, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

yasmin_rv@outlook.com

Dentro del abanico de variables que se utilizan para estudiar la electricidad atmosférica se encuentra el campo eléctrico atmosférico o gradiente de potencial (PG). Esta variable medida en superficie es capaz de monitorear tanto la Actividad Eléctrica Atmosférica (AEA) en las cercanías del instrumento, como en días de buen tiempo las tormentas globales. Es por ello por lo que se suele dividir la serie de datos de PG entre días de Buen Tiempo (BT) y aquellos que no lo son. La primera categoría está asociada a días con poco viento, poca nubosidad y una humedad relativa que no implique condensación, y los días que no cumplen condiciones de BT se asocian a condiciones meteorológicas perturbadas en la cercanía del sensor, las cuales pueden provocar un cambio en PG de más de un orden de magnitud. Las variaciones observadas de PG también pueden estar asociadas a cambios en variables en las capas inferiores de la atmósfera, como por ejemplo los aerosoles presentes en el aire. Los aerosoles atrapan iones en suspensión, provocando variaciones en el PG dependiendo del tipo y concentración de aerosoles. Por ejemplo, en algunos trabajos se ha observado el efecto del smog sobre el PG, donde se detectan ciclos semanales, o diferencias de amplitud entre estaciones costeras y continentales, asociado al mismo. El efecto del polvo en suspensión sobre el PG, asociado al intercambio de cargas debido a colisiones entre ellas, también se ha observado en otros trabajos. En resumen, estos trabajos muestran que el PG es una variable que puede brindar información asociada a la presencia de aerosoles.

Este trabajo presenta un primer acercamiento al comportamiento de PG observado en una localidad de Buenos Aires frente a variaciones en el contenido de aerosoles. Para el análisis del comportamiento de PG frente a cambios en la concentración de aerosoles se utilizaron datos de la red AERONET (AERosol RObotic NETwork) administrada por la NASA para el monitoreo de aerosoles atmosféricos y magnitudes derivadas. A estos datos se suma el medidor de PG Campbell Scientific CS110 el cual permitió realizar un estudio de PG y las tormentas globales en días de BT (Velazquez y otros, 2023). Además, se contaron con datos de una estación meteorológica automática también de la empresa Campbell Scientific. Los datos analizados son los recabados entre inicios del 2017 y finales del 2019. Todos los instrumentos se hallan instalados en el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF) en Buenos Aires, Argentina. El primer paso fue aplicar la metodología de Bennouna y otros (2017) para separar los días en base a un umbral de Aerosol Optical Depth (AOD) en la

longitud de 440 nm ya que nos permite detectar aquellos días con valores por fuera de lo normal. A los días que superaban ese umbral se los denominó turbios. Esta clasificación fue utilizada para estimar los tipos predominantes de aerosoles (e.g., ceniza, polución, continental, marino y polvo) en base a productos de la red AERONET tanto en días turbios como en el resto de los días. Para el análisis en base al tipo de aerosoles se utilizaron los datos de AOD en 500 nm y el producto exponente de angstrom. El segundo paso fue identificar en la serie de PG aquellos días que fueran de Buen Tiempo (BT) en base al trabajo de Velazquez y otros (2023) para poder analizar si existe una diferencia en el comportamiento de PG si el día es de BT o no. El tercer paso fue seleccionar los días con detección de descargas (TD, del inglés thunderstorm day) en cercanías a CITEDEF por parte de la red World Wide Location Network (WWLN) y reportes synop en Aeroparque (Velazquez, 2021). Una vez realizado esto se procedió a entrecruzar las bases de datos para analizar los comportamientos de los aerosoles en conjunto con los de PG y descargas eléctricas.

Como primera consideración no encontramos una correlación entre días con AOD turbio y no turbios y la variable PG como se esperaba según la bibliografía (a mayor cantidad de aerosoles el PG debería aumentar). Esto podría estar asociado a que el AOD contempla lo que hay en la columna completa de atmósfera y el PG tal vez responde a lo que pasa en capas bajas. Tampoco observamos correlaciones entre el AOD y las series de PG en días de BT y aquellos que no lo son. Tal vez en este estudio preliminar no hayamos encontrado relaciones entre las variables estudiadas, pero era necesario analizarlo para poder comprender qué fenómenos impactan de forma significativa sobre el PG en CITEDEF.

Referencias

- Bennouna, Y. S., Cachorro, V. E., Mateos, D., Burgos, M. A., Toledano, C., Torres, B., & de Frutos, A. M. (2016). Long-term comparative study of columnar and surface mass concentration aerosol properties in a background environment. *Atmospheric Environment*, 140, 261-272.
- Velazquez, Y. R., Nicora, M. G., Galligani, V. S., Wolfram, E. A., Salio, P. V., & D'Elia, R. L. (2024). Exploring the global thunderstorm influence on the fair-weather electric field in Buenos Aires. *Atmospheric Research*, 299, 107182.
- Velazquez, Y.R., 2021. Estudio del Gradiente de Potencial (Campo Eléctrico Vertical) Atmosférico en la zona de Villa Martelli, sus implicancias locales y globales. Tesis de grado. Universidad de Buenos Aires. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31549.23522>.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RELACIÓN ENTRE LOS RENDIMIENTOS DE SOJA Y LOS ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN CONSIDERANDO DATOS OBSERVADOS, REANÁLISIS E INFORMACIÓN SATELITAL

Barberis J.G.¹ y Barrucand M.^{2,3}

1. Departamento de Educación Agropecuaria (FAUBA, UBA).
2. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA).
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET-UBA).

barberis@agro.uba.ar

La soja constituye el principal cultivo de la región pampeana por lo que resulta importante evaluar los factores que afectan su rendimiento. Uno de ellos es la precipitación. En este trabajo se investigó la relación entre el rendimiento del cultivo de soja y las precipitaciones integradas en distintas ventanas temporales a través del índice de precipitación estandarizado, utilizando tres fuentes de información: estaciones meteorológicas convencionales, reanálisis ERA5 e información satelital. El estudio se llevó a cabo para 18 departamentos de la Región Pampeana argentina, considerando la época de influencia del cultivo (septiembre a mayo) en el período 2003-2020.

Se trabajó con datos de precipitación diaria de 4 estaciones meteorológicas convencionales, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), ubicadas en la porción oeste de la Región Pampeana, para el periodo 2003 a 2020: Río Cuarto, Laboulaye, Pehuajó y Santa Rosa.

Se consideraron también datos de precipitación de los productos diarios IMERG (final run) correspondientes al pixel en el que se encontraba cada estación meteorológica.

Se calculó para cada estación meteorológica el índice de precipitación estandarizada de 1 y 3 meses (SPI1 y SPI3) correspondiente a los meses asociados al ciclo del cultivo (septiembre a mayo).

Por otro lado, se utilizaron los datos fenométricos de rendimientos de soja de primera de los departamentos bajo estudio suministrados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, a los que se le removió la tendencia para filtrar los cambios debidos a avances tecnológicos. Para evaluar la influencia de la precipitación integrada sobre distintas ventanas temporales sobre el rendimiento de soja se realizó una correlación de Pearson (r) entre todos los índices de precipitación estandarizada calculados dentro del período del cultivo y los datos de rendimientos. Los resultados fueron testeados estadísticamente con una prueba de dos colas para un nivel de significancia del 5% ($p \leq 0.05$)

Los resultados muestran correlaciones positivas significativas con el índice SPI1 calculado con todas las fuentes de información en todas las estaciones para el mes de enero, y en 3 de las 4 estaciones analizadas para el mes de marzo, pero con resultados significativos o no significativos según la base de datos utilizada (figura 1). En términos generales las correlaciones con el índice SPI3 resultaron positivas y significativas para enero, febrero y marzo (coincidente con el período crítico del cultivo), e incluso abril según la estación y base de datos considerada

El inicio y el final del ciclo de crecimiento del cultivo de la soja pueden presentar problemas por exceso hídricos. Así, los excesos hídricos al principio del ciclo podrían traer aparejados retrasos en las fechas de siembra y por lo tanto mermas en el rendimiento. Por su parte los excesos hídricos a cosecha traen problemas en la recolección como ser falta de piso para la misma y susceptibilidad a enfermedades que también traen aparejadas mermas en los rendimientos. Si bien se encontraron correlaciones negativas tanto al principio como al final de ciclo, esto no se dio con regularidad y muy pocas resultaron significativas y sin un patrón claro.

Localidad	SPI1		Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Río Cuarto	_Estación	SPI1	-0.24	<u>0.53</u>	-0.09	0.05	<u>0.79</u>	0.32	<u>0.49</u>	0.07	-0.26
Río Cuarto	_ERA5	SPI1	-0.32	<u>0.41</u>	0.27	0.05	<u>0.43</u>	0.27	<u>0.56</u>	0.16	-0.09
Río Cuarto	_Satelite	SPI1	-0.26	<u>0.39</u>	-0.04	0.16	<u>0.79</u>	<u>0.41</u>	0.33	0.22	-0.28
Laboulaye	_Estación	SPI1	<u>-0.46</u>	0.19	0.08	<u>0.56</u>	<u>0.53</u>	0.13	0.06	-0.02	-0.16
Laboulaye	_ERA5	SPI1	-0.29	0.32	<u>0.41</u>	0.33	<u>0.70</u>	0.19	<u>0.42</u>	0.11	-0.16
Laboulaye	_Satelite	SPI1	<u>-0.44</u>	0.23	-0.09	<u>0.59</u>	<u>0.55</u>	0.15	0.00	0.06	-0.21
Pehuajo	_Estación	SPI1	-0.27	0.14	0.15	<u>0.46</u>	<u>0.49</u>	0.17	0.32	<u>-0.52</u>	<u>-0.40</u>
Pehuajo	_ERA5	SPI1	-0.09	0.14	0.14	0.21	<u>0.44</u>	0.33	<u>0.47</u>	-0.37	-0.35
Pehuajo	_Satelite	SPI1	-0.30	-0.02	-0.03	<u>0.53</u>	<u>0.47</u>	0.37	<u>0.49</u>	<u>-0.39</u>	-0.31
Santa Rosa	_Estación	SPI1	-0.26	0.37	0.03	0.03	<u>0.60</u>	0.27	0.14	0.30	<u>0.40</u>
Santa Rosa	_ERA5	SPI1	-0.26	<u>0.47</u>	-0.06	-0.04	<u>0.49</u>	0.13	0.26	0.23	0.30
Santa Rosa	_Satelite	SPI1	-0.36	0.27	0.02	0.05	<u>0.43</u>	0.29	0.15	0.34	<u>0.54</u>
Localidad	SPI3		Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Río Cuarto	_Estación	SPI3	-0.17	0.27	0.13	0.24	<u>0.49</u>	<u>0.64</u>	<u>0.81</u>	<u>0.56</u>	0.19
Río Cuarto	_ERA5	SPI3	-0.20	0.14	0.28	0.35	0.36	<u>0.44</u>	<u>0.65</u>	<u>0.51</u>	0.32
Río Cuarto	_Satelite	SPI3	-0.18	0.15	0.13	0.31	<u>0.56</u>	<u>0.70</u>	<u>0.86</u>	<u>0.63</u>	0.19
Laboulaye	_Estación	SPI3	-0.19	0.00	-0.01	<u>0.44</u>	<u>0.61</u>	<u>0.60</u>	<u>0.42</u>	0.15	-0.03
Laboulaye	_ERA5	SPI3	-0.06	0.23	<u>0.43</u>	<u>0.60</u>	<u>0.75</u>	<u>0.61</u>	<u>0.58</u>	<u>0.41</u>	0.27
Laboulaye	_Satelite	SPI3	-0.22	0.06	-0.06	<u>0.44</u>	<u>0.62</u>	<u>0.67</u>	<u>0.42</u>	0.17	-0.06
Pehuajo	_Estación	SPI3	0.00	0.06	0.18	<u>0.50</u>	<u>0.70</u>	<u>0.81</u>	<u>0.52</u>	0.13	-0.13
Pehuajo	_ERA5	SPI3	-0.03	0.07	0.19	0.33	<u>0.50</u>	<u>0.60</u>	<u>0.50</u>	0.22	-0.11
Pehuajo	_Satelite	SPI3	-0.02	-0.07	-0.13	<u>0.37</u>	<u>0.67</u>	<u>0.84</u>	<u>0.60</u>	0.28	0.01
Santa Rosa	_Estación	SPI3	-0.13	0.13	0.23	<u>0.47</u>	<u>0.51</u>	<u>0.46</u>	<u>0.51</u>	<u>0.38</u>	<u>0.45</u>
Santa Rosa	_ERA5	SPI3	-0.16	0.19	0.23	0.23	0.10	0.27	<u>0.49</u>	<u>0.37</u>	<u>0.43</u>
Santa Rosa	_Satelite	SPI3	-0.27	0.00	0.05	0.31	0.25	<u>0.44</u>	<u>0.46</u>	0.36	<u>0.53</u>

Figura 1: Correlaciones entre los índices SPI1 y SPI3 y los rendimientos de soja, discriminando la fuente de datos utilizada para el cálculo del índice. En verde correlaciones positivas significativas al 0.05, en rojo, correlaciones negativas significativas al 0.05%. Se indica con punteado y subrayado la mayor correlación encontrada por estación y fuente de datos para el ciclo de cultivo.

Los resultados obtenidos por las distintas bases de datos fueron congruentes entre sí en lo que respecta a los cambios a lo largo del ciclo (etapas con baja y alta correlación), aunque dependiendo de la estación considerada, los mayores valores se obtuvieron con una u otra fuente de datos.

Se está trabajando en ampliar la cantidad de estaciones bajo estudio a fin de obtener resultados más robustos.

Palabras clave: Precipitación, ERA5, IMERG, SPI, Teledetección

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por los proyectos UBACyT 20020220200111BA, CONICET PIP0333 y PICT2019-02933.

IMPACTO DEL MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL DESARROLLO DE SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO ATUEL

J. Caragunis¹, J. Rivera², C. Gulizia^{1,3,4} y O. Penalba^{4,5}

1. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA/CONICET-UBA).
2. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CCT-Mendoza/CONICET.
3. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). CNRS – IRD – CONICET – UBA.
4. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN), Universidad de Buenos Aires (UBA).
5. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

jcaragunis@gmail.com

El objetivo de este trabajo es comprender la magnitud del impacto del manejo de recursos hídricos en el desarrollo de sequías hidrológicas sobre la cuenca del río Atuel. Para ello, se analizaron los registros diarios y mensuales de caudales en 2 estaciones de aforo río arriba (La Angostura) y abajo (Carmensa) de embalses y oasis de irrigación en el período 1985-2020. A fin de cuantificar las diferencias en el desarrollo de eventos de sequía hidrológica, se estableció un método de comparación, a escala diaria, de umbral variable Q70, Q80 y Q90 con ventana móvil a 30 días. A escala mensual, debido a la comparación de caudales con valores diferentes, se aplicó el Índice de Caudal Estandarizado con ventana a 3 meses (ICE3). Se emplearon métricas para su cuantificación, como la cantidad de eventos, duración y déficit volumétrico, entre otros. Los resultados bajo el método de umbral variable muestran que los eventos de sequía hidrológica sobre Carmensa son mucho más duraderos y más severos en déficit, en comparación a La Angostura. Para el método de ICE3, se halló que el 90 y 95% de los meses se encontraron por debajo del umbral de sequía para el aforo Carmensa. Estas marcadas diferencias denotan un claro efecto antropogénico que implica realizar un adecuado manejo y gestión de recursos hídricos en toda la cuenca.

Palabras clave: caudal, impacto antropogénico, comparación río arriba y abajo, sequía hidrológica.

Introducción

En la porción centro-oeste de la Argentina, sobre la Cordillera de los Andes Centrales, se ubica la cuenca del río Atuel (35°S-36°S; 68°O-70°O), cuyo río forma parte de un sistema de ríos que conforma la cuenca del río Colorado. Los recursos hídricos superficiales de la región provienen directamente de un régimen mayormente nival asociado a las precipitaciones sobre los Andes durante el invierno. En los últimos años, se produjo un desplazamiento hacia latitudes más altas del anticiclón semi-permanente del océano Pacífico sur, inhibiendo el pasaje de los sistemas frontales que generan precipitación y, consecuentemente, la acumulación de nieve. Esto impactó en el caudal de los ríos de los Andes Centrales, favoreciendo la ocurrencia de sequías hidrológicas. Adicionalmente, en el siglo XX diversas actividades económicas generaron un aprovechamiento del uso intensivo del agua en la porción media de la cuenca del río Atuel. Como consecuencia, el uso de agua para irrigación generó una reducción en la disponibilidad de agua en el tramo inferior del río, la cual derivó en una disputa histórica entre las provincias de Mendoza y La Pampa por el aprovechamiento hídrico a lo largo de la cuenca (Rojas y Wagner, 2016). Bajo este contexto, las características de las sequías hidrológicas pueden verse alteradas bajo la combinación de factores vinculados

a la variabilidad y el cambio climáticos, y a la influencia humana asociada al manejo de los recursos hídricos (Van Loon y otros, 2022).

Este trabajo propone cuantificar el rol de las actividades antropogénicas en la modificación de las características de las sequías hidrológicas considerando una comparación río arriba-río abajo en base a dos estaciones hidrológicas de referencia ubicadas en la cuenca del río Atuel.

Datos y metodología

Se utilizaron datos de caudales diarios y mensuales de dos estaciones de aforo pertenecientes a la cuenca del río Atuel, los cuales fueron provistos por el Sistema Nacional de Información Hídrica (<https://snih.hidricosargentina.gob.ar/>). La estación La Angostura posee registros desde 1903 y Carmensa desde 1985. Se estableció un período común (1985-2020) a modo de establecer comparaciones directas entre ambas series temporales. Las series de caudales diarios fueron sometidas a procedimientos de control de calidad y los datos faltantes, que en ningún caso superaron el 3% del total de las series temporales, fueron rellenados con aforos cercanos mediante técnicas estadísticas como la regresión lineal.

Para la cuantificación de las sequías hidrológicas se analizaron diferentes características, entre ellas: cantidad de eventos de sequía, duración media, máxima y total, déficit volumétricos medios, máximos y totales. Se aplicaron, por un lado, diferencias porcentuales para conocer la magnitud relativa de los cambios de caudal asociados al manejo de agua en la cuenca. Por otro lado, se calcularon las diferencias absolutas aritméticas entre las características de las sequías río arriba y río abajo para comprender, de manera integral, los cambios en las magnitudes entre ambos aforos.

A modo de ejemplo, la evaluación de los cambios en los déficits volumétricos medios relativos en Carmensa, respecto del aforo La Angostura, se calcula de la siguiente forma:

$$DVM(\%) = \frac{DVM_{Car} - DVM_{LA}}{DM_{Car}} \times 100$$

Se utilizaron dos metodologías para la determinación de sequías hidrológicas en base a umbrales de excedencia. La primera consiste en el método de umbral fijo, donde se fija un caudal de referencia para todo el período. La segunda métrica consiste en un umbral variable (contiene variaciones estacionales) con diferentes criterios de corte: Q70, Q80 y Q90, que corresponden a los caudales que son excedidos el 70, 80 y 90% del tiempo, respectivamente (Rivera et al., 2021). El método se aplicó tanto para la estación La Angostura como para la estación Carmensa. Los umbrales variables se calcularon a partir de los datos de caudales diarios, teniendo en cuenta promedios móviles con ventana de 30 días. Esta definición permite un suavizado de la evolución de los valores de corte en dichos umbrales, que pueden modificar la definición de eventos de sequía hidrológica en cada caso.

Por otra parte, se empleó el mismo análisis a partir del ICE3 (Vicente-Serrano y otros, 2012), esta vez teniendo en cuenta los valores de caudales medios mensuales. Se ajustaron los parámetros de entrada de la distribución log-normal a partir de estos datos de la estación La Angostura. De esta manera, se realizó la comparación de la serie temporal entre ambas estaciones y se calcularon las métricas relacionadas con la identificación de los eventos de sequías: cantidad de eventos, número de meses por debajo de sequías moderadas ($SSI3 \leq -1.0$), severas, ($SSI3 \leq -1.5$) y extremas ($SSI3 \leq -2.0$), severidad media y máxima e intensidad de sequía mensual máxima.

Resultados

La Figura 1 muestra las series de caudales mediante el método de umbral variable para las estaciones de La Angostura y Carmensa, teniendo en cuenta los criterios de corte Q70, Q80 y Q90. En particular, se muestra que la cantidad de eventos de sequía definidos para La Angostura para cada uno de los criterios de corte es 12, 11 y 11, respectivamente, mientras que para la estación Carmensa son 3, 4 y 4 respectivamente. Por otra parte, la duración media de eventos para La Angostura oscila entre los 9 y 11 meses, en comparación con Carmensa cuyas duraciones medias permanecen en el rango de 103 y 139 meses. Es decir, sobre el aforo Carmensa, en promedio, duran más de 10 veces relativo al aforo La Angostura. Por otra parte, el déficit volumétrico medio para La Angostura en los tres criterios de corte es de 54.6 hm³, 24.27 hm³ y 7.55 hm³, mientras que en Carmensa dichos valores son 843 hm³, 688 hm³ y 521hm³, respectivamente. Porcentualmente, se traduce en diferencias de 1445%, 2735% y 6806% para los tres criterios de corte. La duración del evento más extenso de sequía hidrológica resulta en 37, 30 y 30 meses para el caso de La Angostura, y 261, 202 y 202 meses para Carmensa, para cada uno de los criterios de corte, respectivamente.

A partir de aplicar el método del ICE3, se identifican 3 eventos de sequía hidrológica en la estación Carmensa, en comparación con los 7 hallados para La Angostura. Por otra parte, la severidad media es de -6.34 para Carmensa y de -0.69 para La Angostura. Finalmente, la cantidad de meses que se encuentran por debajo de los umbrales de sequía moderada, severa y extrema representa el 94.3%, 91.5% y 89.3% para el caso de Carmensa, y 18.2%, 5.2% y 3.3% para La Angostura, respectivamente.

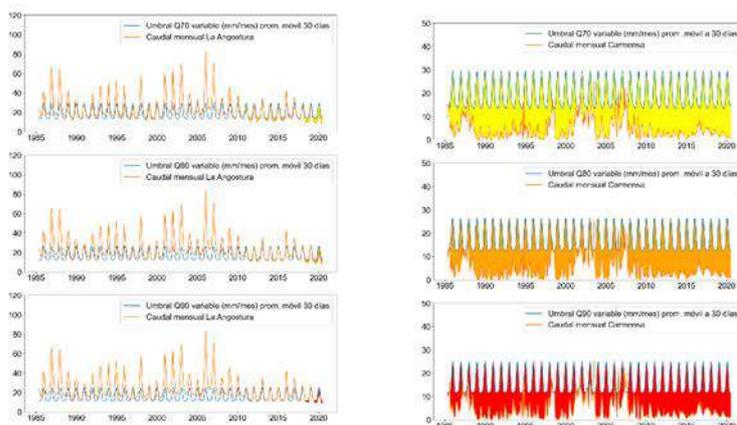


Figura 1: Evolución del caudal y definición de sequía hidrológica (sombreado) para las estaciones La Angostura (izquierda) y Carmensa (derecha), tomando como caudal de referencia los umbrales variables Q70 (panel superior), Q80 (panel central) y Q90 (panel inferior).

Conclusiones

Este trabajo permitió identificar el impacto del manejo de los recursos hídricos en el desarrollo de sequías hidrológicas en la cuenca del río Atuel. Para ello, se compararon dos estaciones de aforo con regímenes de caudal completamente diferentes: por un lado La Angostura, afectada únicamente por la variabilidad climática, mientras que Carmensa se encuentra adicionalmente impactada por el manejo de agua río arriba. Utilizando series de caudales de 35 años de extensión, se aplicó el método de umbral variable entre ambas estaciones a fin de poder obtener las características de las sequías hidrológicas y, posteriormente, compararlas entre sí. Por otra parte, se empleó el método del Índice de Caudal Estandarizado para el mismo análisis a escala mensual.

Los resultados de este estudio mostraron que, bajo diferentes índices de caudal y métricas utilizadas, las diferencias en las características de las sequías hidrológicas para las estaciones Carmensa y La Angostura son muy marcadas. En particular, todos los indicadores en Carmensa mostraron un agravamiento en las condiciones de sequía, en relación con lo que ocurre aguas arriba. Por ejemplo, la cantidad de eventos de sequía resultaron menores en Carmensa aunque con una mayor duración en relación a lo obtenido en La Angostura. En cuanto al análisis de severidad en las sequías identificadas, se observan déficits entre 10 y 100 veces mayores, dependiendo la

métrica utilizada. Este trabajo contribuye a una mejor comprensión de la problemática histórica del uso del agua en la región y aporta información relevante para la toma de decisiones en el aprovechamiento del recurso hídrico, especialmente en la cuenca inferior.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación por la provisión de los datos utilizados en el presente trabajo.

Referencias

- Rivera JA, Otta S, Lauro C y Zazulie N. 2021. A Decade of Hydrological Drought in Central-Western Argentina. *Front. Water* 3:640544. doi: 10.3389/frwa.2021.640544
- Rojas F, Wagner F. 2016. Conflicto por la apropiación del río Atuel entre Mendoza y La Pampa (Argentina). *HALAC VI*, n. 2: 278-297.
- Van Loon AF y otros. 2022. Streamflow droughts aggravated by human activities despite management. *Environ. Res. Lett.* 17 (2022) 044059. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5def>
- Vicente Serrano S, López Moreno J, Beguería S, Lorenzo Lacruz J, Azorin Molina C, Morán Tejeda E. 2012. Zaragoza, España. Accurate computation of a streamflow drought index. *American Society of Civil Engineers*. Vol.17, Issue 2.

INTERACCIÓN SUELO-ATMÓSFERA EN SUDAMÉRICA: CONTRIBUCIÓN DE LAS COMPONENTES DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Daira A. Rosales^{1,3,4}, Romina C. Ruscica^{2,3,4} y Anna A. Sörensson^{2,3,4}

1. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Argentina.
2. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Buenos Aires, Argentina.
3. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), Argentina.
4. CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI), Argentina.

daira.rosales@cima.fcen.uba.ar

En este trabajo investigamos la representación de la evapotranspiración en Sudamérica según cinco estimaciones diferentes durante el periodo 1981-2010. Principalmente, estudiamos la partición de la evapotranspiración en sus componentes: transpiración, evaporación desde la vegetación, y desde el suelo; y cómo éstas contribuyen a la interacción suelo-atmósfera en diciembre-enero-febrero. Encontramos regiones de interacción suelo-atmósfera que son reconocidas habitualmente en la literatura: el centro de Argentina y el noreste de Brasil, que son, además, regiones de transición entre climas secos y húmedos. Nuestro resultado principal es que la transpiración es la componente de la evapotranspiración que más contribuye a la interacción suelo-atmósfera.

INFLUENCIA DE LOS FORZANTES ATMOSFÉRICOS EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MODELADA

Daira A. Rosales^{1,3,4}, Romina C. Ruscica^{2,3,4} y Anna A. Sörensson^{2,3,4}

1. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Argentina.
2. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Buenos Aires, Argentina.
3. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), Argentina.
4. CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI), Argentina

daira.rosales@cima.fcen.uba.ar

En este trabajo analizamos la influencia que tienen los forzantes atmosféricos (precipitación, temperatura del aire en superficie y radiación de onda corta entrante en superficie) en la representación de la evapotranspiración según cuatro simulaciones provenientes de dos modelos de superficie. Encontramos que la incertidumbre de los forzantes atmosféricos fue mayor en la radiación que en la precipitación y la temperatura. Logramos adjudicar parte de la incertidumbre de la evapotranspiración modelada a la radiación. Además, hallamos diferencias en la representación de la evapotranspiración según el modelo de superficie utilizado. Concluimos que la representación de los forzantes atmosféricos es de gran relevancia para los resultados de los modelos de superficie.

AVANCES EN LA GENERACIÓN DE SERIES TEMPORALES HOMOGÉNEAS DE ZTD E IWV, DERIVADOS DE DATOS GNSS EN SUDAMÉRICA, PARA ESTUDIOS DE ASIMILACIÓN EN NWP

G.P. Anasimele ^{1,2}, L.P.O. Mendoza ^{1,2}, M.E. Dillon ^{2,3}, Y. García Skabar ^{2,3}

1. Laboratorio de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
3. Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

ganasi@fcaglp.unlp.edu.ar

El Retardo Cenital Total (ZTD, zenithal total delay) y el Vapor de Agua Integrado (IWV, integrated water vapour) constituyen parámetros de suma utilidad para la determinación del pronóstico del tiempo, dado que ambos observables pueden ser incorporados a modelos numéricos de pronóstico del tiempo (NWP, numerical weather prediction) mediante procesos de asimilación de datos (e.g., Giannaros et al., 2020). El impacto en el estado inicial de la predicción está asociado tanto a la distribución geográfica de las observaciones que se asimilen como a su tasa de muestreo, entre otras cosas.

Respecto a la información del perfil vertical atmosférico de humedad, ésta se puede obtener mediante el costoso lanzamiento regular de globos con radiosondas, que en Argentina cuenta con poca cobertura geográfica y baja tasa de muestreo (semidiurna). A su vez, existen estimaciones de estos perfiles utilizando datos de satélites polares, con distintos períodos de revisita (e.g. 4 días). Con lo cual, el procesamiento en tiempo casi real de señales GNSS, recolectadas por la infraestructura geodésica nacional y de los países vecinos, para obtener información del contenido de humedad es muy relevante en el país, ya que posee una densidad espacial y temporal distinta a la de las técnicas mencionadas (Aragón Paz et al., 2023).

Si bien el IWV derivado de observaciones GNSS ya es considerado como el valor real a la hora de evaluar otras técnicas de observación, la precisa cuantificación de la exactitud alcanzable, así como la magnitud de los errores sistemáticos introducidos, siguen siendo temas de estudio, sobre todo debido a las diversas metodologías utilizables para su cómputo a partir de las mismas observaciones GNSS. Mientras que el sistema de monitoreo troposférico a tiempo real que es operado actualmente por el laboratorio (Aragón Paz et al., 2023) emplea el método GNSS diferencial DD (double differences), el método GNSS de posicionamiento puntual preciso PPP (precise point positioning) tiene significativas ventajas (e.g., economía de cálculo, independencia de los marcos de referencia materializados en la corteza).

En este contexto se presentan los avances alcanzados en la producción de series temporales de ZTD e IWV multidecadales (de 2003 a 2023), homogéneas, aplicando el método PPP y empleando los productos satelitales de nivel repro 3 del IGS (International GNSS Service). Se busca completar el procesamiento de las observaciones GNSS de más de 600 estaciones distribuidas en el continente americano, desde Centro América y el Caribe hasta la Antártida Argentina, para lo cual se consolidó una significativa base de datos de observaciones GNSS en formato RINEX (más de 2 TB de observaciones en Chile, más 150 GB en Colombia, más 600 GB en Argentina, más 800 GB en Brasil, más 60 GB en Uruguay y más de 300 GB en el resto de Centro y Sudamérica y el Caribe). Además, se busca estudiar el impacto de diversas parametrizaciones del observable ZTD y sus gradientes espaciales, de la tasa de muestreo, de las diversas funciones de mapeo (para la componente húmeda y la hidrostática), de la máscara de elevación para los enlaces satélite-estación terrena y la influencia del tipo de presión

atmosférica (barométrica, empírica, de modelos numéricos) en el cómputo del Retardo Cenital Húmedo (ZWD, zenithal wet delay), ZTD e IWV.

Las series de tiempo de ZTD e IWV producidas permitirán, en el corto plazo, encarar de manera sólida el estudio del impacto de la asimilación de estas observaciones en NWP regionales. Se trabajará en casos de estudio de las últimas dos décadas, que presenten fenómenos de interés, y en particular, casos de eventos meteorológicos de alto impacto asociados con fenómenos de precipitación intensa, en los cuales una mejora en la representación de la humedad de la atmósfera puede impactar positivamente en la calidad de los pronósticos.

Referencias

- Aragón Paz, J. M., Mendoza, L. P. O., Fernández, L. I. (2023), Near-real-time GNSS tropospheric IWV monitoring system for South America, *GPS Solutions*, 27(2), 1-13, <https://doi.org/10.1007/s10291-023-01436-2>.
- Giannaros C., V. Kotroni, K. Lagouvardos, T. Giannaros, C. Pikridas, (2020), Assessing the impact of GNSS ZTD data assimilation into the WRF modeling system during high-impact rainfall events over Greece. *Remote Sens.* 12(3), 383, <https://doi.org/10.3390/rs12030383>.

IMPACTOS DEL DIPOLO DE OCÉANO ÍNDICO EN SUDAMÉRICA Y SU ACCIÓN COMBINADA CON EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR SOBRE EL CLIMA DE SUDAMÉRICA DURANTE LA PRIMAVERA

Luciano G. Andrian^{1,2}, Marisol Osman^{1,2,3}, Carolina S. Vera^{1,2,3}

1. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA).
2. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET-UBA).
3. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI) (CNRS – IRD – CONICET – UBA).

luciano.andrian@cima.fcen.uba.ar.

Los impactos de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) en el clima de primavera en Sudamérica (SA) y su predictibilidad han sido extensamente estudiados. Sin embargo, la influencia que pueden tener otros modos de variabilidad estacional, como el Dipolo del Océano Índico (IOD, por sus siglas en inglés), sobre el ENSO aún permanece poco estudiada. El IOD es un dipolo de anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) en sentido este-oeste sobre el océano Índico ecuatorial. Al igual que en el ENSO, estas anomalías en la TSM generan trenes de onda que pueden influir en el clima de SA. Los eventos IOD están asociados con anomalías positivas de precipitación en la Cuenca del Plata y anomalías negativas en el centro de Brasil durante su fase positiva. Sin embargo, los pocos y antiguos estudios sobre la influencia del IOD en SA aún dejan varios interrogantes, por ejemplo, qué sucede durante una fase negativa. Por otro lado, aunque el ENSO y el IOD a menudo ocurren simultáneamente, aún no sabemos cómo su acción combinada cambia la señal y la predictibilidad en la precipitación sobre SA. En este trabajo, estudiamos los impactos individuales y combinados de los eventos IOD y ENSO en la precipitación en SA durante septiembre, octubre y noviembre (SON), utilizando reanálisis, conjuntos de datos observados y el modelo CFSv2, junto con análisis de composiciones y regresión parcial.

Utilizamos datos de TSM del NOAA Extended Reconstructed SST v5 (ERSSTv5) para identificar los eventos ENSO e IOD, datos de reanálisis ECMWF Reanalysis v5 (ERA-5) para caracterizar la atmósfera, y datos de precipitación del Global Precipitation Climatology Centre v2020 (GPCC). Todo el análisis en el registro observado se realizó dentro del período 1940-2020. Estudios previos que se basaron únicamente en la metodología de composición para analizar los efectos atmosféricos del IOD enfrentan una limitación en la robustez de sus resultados debido al tamaño reducido de las muestras utilizadas. Por lo tanto, utilizamos el modelo CFSv2 para abordar el impacto de la incertidumbre de muestreo y permitir la detección de no linealidades en la respuesta a cada forzante. Usamos los pronósticos de TSM y altura geopotencial en 200hPa para SON inicializados 0, 1, 2 y 3 meses antes, es decir, de junio a septiembre, en el período que combina pronósticos retrospectivos (1982-2011) con pronósticos en tiempo real (2011-2020). Dado que el modelo CFSv2 tiene 24 miembros de ensamble, la muestra total cuenta con aproximadamente 3744 miembros para SON.

Se utilizaron los índices de monitoreo Oceanic Niño Index (ONI) y Dipole Mode Index (DMI) para identificar los eventos ENSO e IOD, respectivamente, tanto en las observaciones como en el modelo CFSv2. A partir de estos índices se identificaron aquellos eventos que ocurrieron de manera simultánea (Simultáneos) o de manera separada (Puros), se clasificaron según el signo del índice (Niño, Niña, IOD positivo y negativo). A partir de estas categorías se realizaron composiciones de anomalías de variables atmosféricas sobre el Hemisferio Sur y de precipitación sobre SA. En el registro observado, también se realizó una regresión lineal parcial entre las variables antes mencionadas y los índices ONI y DMI.

Los resultados para el IOD positivo son consistentes entre las diferentes metodologías

y conjunto de datos. En la fase positiva, el IOD tiene un impacto significativo en la circulación a gran escala en el Hemisferio Sur, capaz de modular la precipitación en SA en escalas temporales estacionales como se encontró en trabajos previos. Por otro lado, los IOD negativos no tienen una respuesta coherente como sus pares positivos. Los eventos negativos individuales presentan muchas diferencias entre sí, y en promedio la señal de la precipitación sobre SA no es significativa. Los resultados del modelo CFSv2 sugieren que estas diferencias entre las dos fases del IOD podrían deberse a que los IOD positivos observados tienen un dipolo de anomalía de SST más fuerte que los eventos negativos. Esto es fundamental para determinar el umbral de amplitud de los eventos de IOD que pueden afectar el clima de SA, independientemente de otros umbrales utilizados en otras partes del mundo. Por otro lado, es posible que existan causas dinámicas en las inmediaciones del océano Índico asociadas a la actividad del jet subpolar que pueden impedir la propagación de ondas de Rossby en algunos IOD negativos. Estos mecanismos pueden explicar la inconsistencia en la respuesta atmosférica de los IOD negativos.

En cuanto a la interacción ENSO-IOD, sólo estudiamos aquellos eventos que ocurren en la misma fase (El Niño - IOD positivo o La Niña - IOD negativo) ya que prácticamente no se observan eventos simultáneos en fases opuestas. Los resultados señalan que un IOD positivo puede fortalecer la circulación anómala inducida por El Niño en todo el Hemisferio Sur y, por lo tanto, intensificar los impactos de El Niño en SA. Esto lleva a anomalías de precipitación positivas más localizadas e intensas sobre el sudeste de SA y el centro de Chile, y anomalías negativas más extendidas e intensas sobre el centro-norte de SA. Al igual que para el IOD positivo, estos resultados son consistentes en las diferentes metodologías y conjuntos de datos. Por otro lado, aunque un IOD negativo por sí solo no tiene un impacto significativo en SA, en combinación con La Niña puede modular la posición de los centros de circulación anómalos en las cercanías del continente y modificar los impactos típicos de La Niña. Por otra parte, la respuesta de los eventos de ENSO-IOD varía según la intensidad y signo de los eventos. En los eventos ENSO-IOD positivos, la intensidad de la respuesta atmosférica y sobre SA aumenta conforme aumenta la intensidad de los eventos. Pero en los ENSO-IOD negativos la intensidad de la respuesta no guarda relación con la intensidad de los eventos, lo cual sugiere efectos no lineales.

En conclusión, nuestro estudio destaca la importancia de considerar al IOD en estudio y monitoreo del ENSO y sus impactos sobre SA durante la primavera. La acción combinada ENSO-IOD puede dar lugar a una respuesta diferente de la esperada, tanto en magnitud como en locación de los impactos.

ANÁLISIS DE LOS GRADIENTES TROPOSFÉRICOS DETERMINADOS A PARTIR DE OBSERVACIONES DE GNSS DURANTE EL DESARROLLO DE UN CICLÓN EN EL RÍO DE LA PLATA

Pablo L. Antico^{1,2}, Victoria Graffigna^{3,4}, Mauricio Gende^{1,2}, Michael Häfner¹

- 1 Argentinean-German Geodetic Observatory, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-Bundesamt für Kartographie und Geodäsie.
- 2 Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata
- 3 Grup de determinació Ionosfèrica i navegació per SATèl·lit i sistemes Terrestres, Universitat Politècnica de Catalunya.
- 4 Institut d'Estudis Espacials de Catalunya.

pablo.antico@aggo-conicet.gob.ar

Durante el período comprendido entre el 21 y 23 de mayo de 2021 tuvo lugar el desarrollo de un ciclón extratropical sobre el Río de La Plata. Durante su etapa de madurez el centro del ciclón pasó por encima del Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO) en donde se registró un mínimo de presión atmosférica de 987,9 hPa. La evolución del ciclón durante el período antes señalado se analizó mediante campos de presión atmosférica reducida a nivel del mar y el contenido total de vapor en la columna atmosférica obtenidos de los análisis atmosféricos ERA5. Simultáneamente, se analizaron los gradientes troposféricos horizontales derivados de observaciones GNSS distribuidos por el Laboratorio Geodésico de Nevada. El objetivo del presente trabajo consiste en diagnosticar el campo de gradientes troposféricos determinados a partir de observaciones GNSS en estaciones de la región y comparar su estructura y evolución con gradientes atmosféricos calculados exclusivamente a partir de datos meteorológicos. Los resultados muestran una correlación espacial entre la dirección de los gradientes troposféricos y los gradientes del contenido total de vapor, por un lado, y los gradientes troposféricos y los gradientes isobáricos por el otro. Asimismo, el análisis de la evolución simultánea de los gradientes troposféricos y los gradientes de ambas variables meteorológicas indican que la correlación tanto con la dirección del gradiente de vapor como con la del gradiente de presión no ocurre de manera simultánea. El comportamiento de ambos tipos de correlación depende de la posición relativa de las estaciones con respecto al centro del ciclón y de la etapa en la que éste se encuentra durante su evolución.

TEMPERATURA DEL AIRE EN SUPERFICIE Y HUMEDAD RELATIVA MEDIDAS EN EL OBSERVATORIO ARGENTINO-ALEMÁN DE GEODESIA (AGGO)

Pablo L. Antico^{1,2}, Michael Häfner¹, Mauricio Gende^{1,2}

1. Argentinean-German Geodetic Observatory, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-Bundesamt für Kartographie und Geodäsie.
2. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.

pablo.antico@aggo-conicet.gob.ar

En el AGGO se dispone de diferentes sensores que miden la temperatura del aire y la humedad relativa. Éstos difieren entre sí en cuanto al diseño y condiciones de exposición. A partir de la serie de datos más extensa desde el inicio de las operaciones de AGGO en el año 2016, se construye una serie consistente y homogénea que representa la mejor aproximación de ambas variables meteorológicas. Para ello se propone la aplicación de una técnica que completa la información faltante en la estación meteorológica primaria a partir de dos métodos de interpolación de datos. El primero consiste en una interpolación lineal entre los datos de la estación primaria, mientras que la segunda se basa en una función para calcular la temperatura a partir de los datos obtenidos en la estación secundaria.

ROL DE LA PRECIPITACIÓN Y LA EVAPOTRANSPIRACIÓN SOBRE LOS CAMBIOS DE LA ARIDEZ EN ARGENTINA

Blanco, Pedro Samuel^{1,2,3} y Doyle, Moira Evelina^{1,2,3}

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO). Buenos Aires, Argentina.
2. CONICET - Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.
3. Instituto Franco-Argentino de Estudios sobre el Clima y sus Impactos (IFAECI) - IRL 3351 - CNRS-CONICET-IRD-UBA. Buenos Aires, Argentina.

pedro.blanco@cima.fcen.uba.ar

El objetivo es cuantificar la contribución de la precipitación y la evapotranspiración a los cambios de la aridez en Argentina durante el período 1961-2020. Se utilizaron datos mensuales de temperatura media y precipitación de la base de datos CRU 4.06 para la Argentina continental durante el período de estudio. Con la temperatura media se calculó la evapotranspiración potencial con el método de Thornthwaite, para luego estimar el índice de aridez (IA) como el cociente entre la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETP). Se empleó la ecuación de Feng y FU (2013) para analizar las contribuciones de la P y ETP al cambio del IA. En general, las áreas con aumento (disminución) de P coinciden con aquellas que muestran aumentos (disminuciones) del IA. Sin embargo, ETP intensifica la disminución o atenúa el aumento del IA. A nivel anual, en el país predominan condiciones climáticas más áridas durante el período histórico, pero esta característica varía según la estación del año debido al ciclo estacional de las variables.

CAMBIO EN LAS TEMPERATURAS MEDIAS ESTACIONALES DEL NORTE DE MENDOZA EN 1983-1984

Cavagnaro, Martín¹; Araneo, Diego²; González Antivilo, Francisco³

1. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.
2. Centro Científico Tecnológico Mendoza, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
3. Universidad Nacional de San Juan, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

mcaavagnaro@fca.uncu.edu.ar

El análisis de cambio climático muestra a nivel global una tendencia sostenida de aumento de temperatura en numerosas regiones del mundo. Por ejemplo, para la región de Cuyo, de acuerdo con la Tercera Comunicación de Cambio Climático, se ha observado una tendencia significativa de las temperaturas medias de 0,83 °C por década, impulsada principalmente por el aumento de las temperaturas mínimas (+1,16 °C por década). Sin embargo, en ocasiones estos aumentos de temperatura pueden presentarse en forma de saltos a nivel local o regional, ya sea en valores medios o en variables relacionadas. En este trabajo se analiza un cambio significativo en la amplitud térmica anual media producido en los años 1983-1984 en la zona Norte de la Provincia de Mendoza.

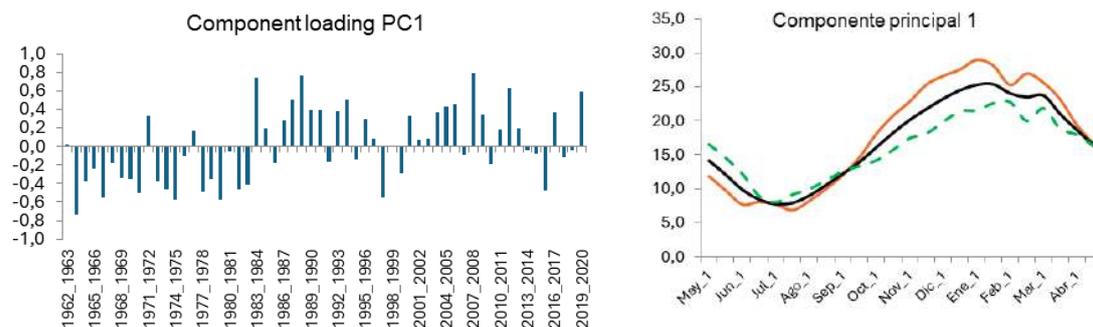
Las bases de datos utilizadas corresponden a las series de temperatura media diaria de las estaciones Mendoza AERO y San Martín del Servicio Meteorológico Nacional, para las cuales se calcularon las medias quincenales y se realizó el Análisis de Componentes Principales para las marchas medias anuales considerando los períodos mayo-abril. El análisis de las series de loadings correspondientes muestra un salto significativo para la CP1 (15,2% varianza explicada) en el año 1983-84, que representa un cambio de temperaturas con disminución en los meses de estación fría (mayo a septiembre) y aumento en los de estación cálida (octubre a marzo).

El análisis de temperaturas medias muestra que la mayor magnitud en el salto se observa en la estación cálida (media ponderada de +0,92 °C) respecto a la estación fría (-0,25 °C). En la diferencia de medias ponderadas entre ambas estaciones (amplitud térmica anual media) se puede observar un incremento o salto a partir de los años 1983-1984 de 1,072 °C, considerando ambos períodos (años previos y posteriores a 1983-84).

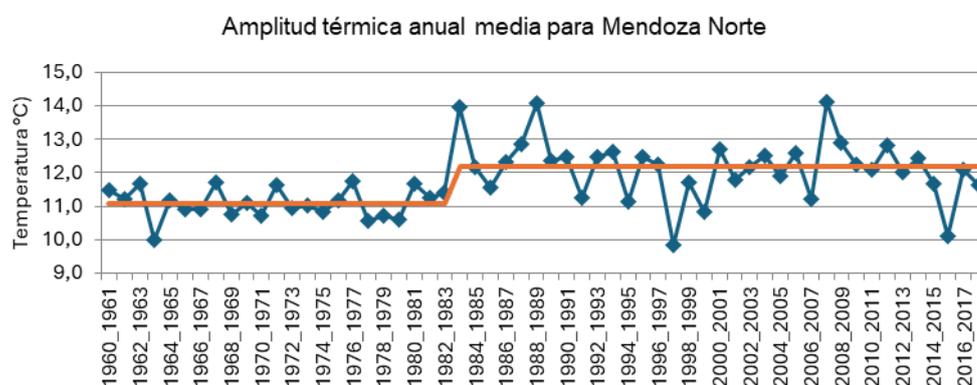
A fin de determinar los alcances a nivel regional de este salto se realizaron correlaciones entre la serie temporal de loadings correspondiente a la CP1 y las temperaturas de superficie (datos de reanálisis ERA5). El análisis muestra correlaciones significativas al 1%, positivas en la estación cálida y negativas en la estación fría para la zona de estudio y extendiéndose a toda la región centro-norte de Argentina y sur de Brasil. Este patrón podría estar relacionado con un cambio de circulación a nivel hemisférico, vinculado a la tendencia positiva observada sobre el Modo Anular del Sur.

a)

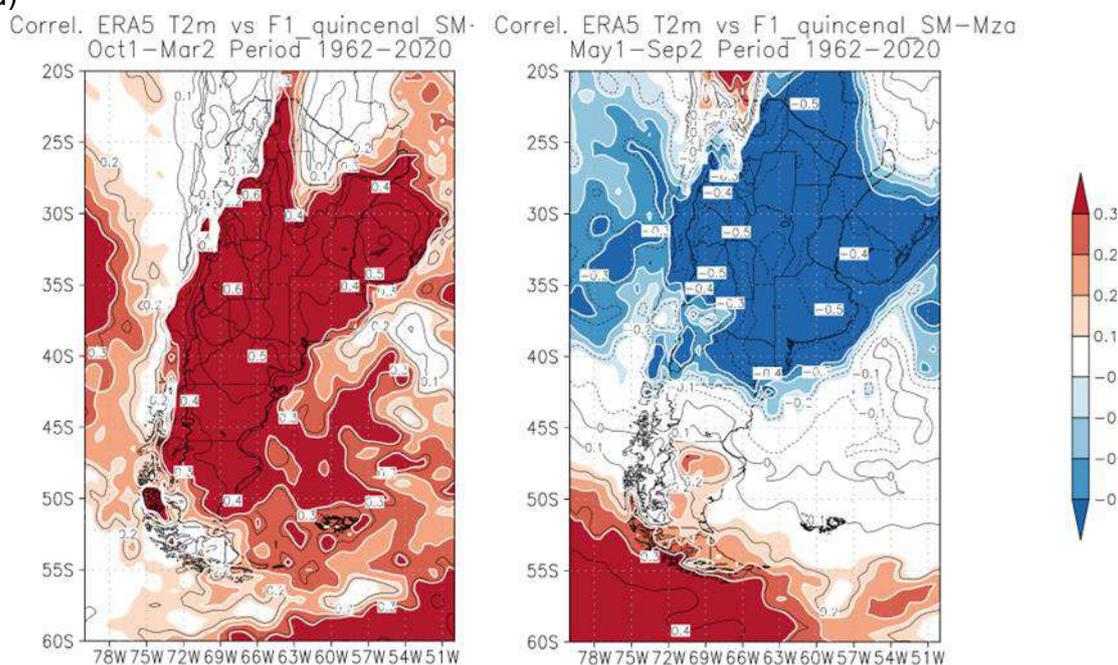
b)



c)



d)



a) y b) Loadings de la CP1 y sus valores para la marcha anual, respectivamente; c) Valores de amplitud térmica anual media (estación cálida menos estación fría); d) Campos de correlación entre serie temporal de loadings (CP1) y temperaturas de superficie (ERA5) para estación cálida (izquierda) y fría (derecha).

ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA VARIABILIDAD EN BAJA FRECUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL Y ESTACIONAL EN LA PLATA OBSERVATORIO

Andrés Cesanelli¹ y Lorenzo Ricetti^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – Universidad Nacional de La Plata.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

acesanelli@fcaglp.unlp.edu.ar

El comportamiento de la precipitación resulta relevante a la economía regional y la dinámica urbana en La Plata y alrededores. En este trabajo se evalúa la variabilidad de la precipitación anual y estacional mediante distintas técnicas, utilizando datos de la estación meteorológica La Plata Observatorio, considerando un período extenso de tiempo (1909-2013). Los resultados permitieron encontrar puntos de quiebres que dan cuenta de cambios en los regímenes de precipitación, tanto en la serie anual como en la serie de valores estivales, consistentes con lo documentado en la bibliografía. Asimismo, se hallaron periodicidades dominantes entre 4 y 8 años, coherentes con la incidencia de fenómenos de gran escala como El Niño Oscilación del Sur.

CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO COMO INDICADOR DE ESTRÉS TÉRMICO EN EL CENTRO Y NORTE DE ARGENTINA

Candela S. Glatstein¹, Rocio Balmaceda-Huarte^{1,2}, Maria L. Bettolli^{1,2}

1

1. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA).
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

candeglatstein@gmail.com

El estrés térmico afecta negativamente el bienestar de la población y sus actividades, es por eso, que el análisis de tales condiciones se vuelve clave para proteger y prevenir los impactos relacionados con el calor. En este estudio se caracterizó la Temperatura de Bulbo Húmedo (TwMAX) en el centro-norte de Argentina para su empleo como variable indicadora del estrés térmico. Los resultados encontrados evidencian condiciones de mayor calentamiento en el centro-norte de Argentina, con un crecimiento generalizado de la Tmax. Además, se identificaron tendencias en alza en la TwMAX durante el período analizado, que sugieren que el aumento de la temperatura también se acompaña de condiciones más húmedas. Los hallazgos de este estudio refuerzan la necesidad de abordar las condiciones de estrés térmico en el centro-norte de Argentina como un enfoque multivariado.

VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE EVENTOS COMPUESTOS CÁLIDOS Y SECOS EN EL SUR DE SUDAMÉRICA

Agustina López Ramirez¹, Mariana Barrucand^{1,2}, Soledad Collazo^{1,3}
a

1. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ARGENTINA.
3. Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, ESPAÑA.

alopez@at.fcen.uba.ar

En este trabajo se estudió la variabilidad espacio-temporal de eventos compuestos cálidos y secos en el sur de Sudamérica entre 1979 y 2018. Se exploró la ocurrencia simultánea y secuencial de olas de calor y sequías durante la estación cálida (octubre a marzo) utilizando la temperatura máxima y el índice de Precipitación Estandarizado (SPI) de 132 estaciones meteorológicas. Los resultados muestran que los eventos ocurren con una mayor frecuencia en el centro y noreste de Argentina. Además, en los casos secuenciales también se identificaron frecuencias máximas de olas de calor en el sur de Chile y la Patagonia oeste. Al dividir el periodo en dos subperiodos (1979-1998 y 1999-2018) se encontró que la frecuencia de eventos aumentó en más del doble en el período más reciente en algunas estaciones del norte de Argentina, Chile, Paraguay y Brasil. La comparación entre periodos también reveló un aumento en la extensión espacial de ambos tipos de eventos, especialmente en los simultáneos. Por último, el análisis de la variabilidad interanual evidenció un aumento significativo en el número de días involucrados en una ola de calor seca secuencial.

DESEMPEÑO DE LAS SIMULACIONES CLIMÁTICAS DEL CONJUNTO CMIP6 PARA LA REPRESENTACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL CENTRO-OESTE DE ARGENTINA

Georgina Marianetti¹, Juan A. Rivera¹, Maria Laura Bettolli²

1. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico (CCT), CONICET-Mendoza, Argentina.
2. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

gmarianetti@mendoza-conicet.gob.ar

Los modelos globales del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6) son una herramienta útil para ayudar a la toma de decisiones de adaptación, prevención y mitigación al cambio climático. Aun así, los mismos presentan dificultades en la representación de la climatología en regiones con topografía compleja, como el centro-oeste de Argentina. Por esto, el objetivo de este trabajo es la evaluación de los modelos climáticos del conjunto CMIP6 en representar la ocurrencia de valores extremos de la temperatura y precipitación en el centro-oeste de Argentina durante 1981-2010. Los datos diarios de las simulaciones históricas de temperatura se contrastaron con datos de ERA5, mientras que los de precipitación frente a ERA5, CPC y CHIRPS. Se calcularon 14 índices extremos de temperatura y 6 índices extremos de precipitación. Por medio del diagrama de cajas se evaluó la distribución y dispersión de los valores de los índices extremos, y mediante el Diagrama de Taylor se analizó la representación del patrón espacial. En general, los valores extremos son adecuadamente representados por las simulaciones históricas de temperatura y precipitación del conjunto CMIP6 en el centro-oeste de Argentina. Aunque, las simulaciones históricas presentan dificultades en el desempeño del rango y la mediana de algunos índices (R75p, TXx, TNx y FD), como así también en representar el patrón espacial de los índices CSDI y ETR, y en aquellos basados en percentiles.

Introducción

Los modelos climáticos globales son una buena herramienta para ayudar a la toma de decisiones de diferentes sectores afectados por el cambio climático. La última generación de modelos globales fue desarrollada en el marco del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6), coordinado por el Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP). Una de las falencias que presentan estos modelos se asocia a dificultades para caracterizar las condiciones climáticas en regiones con topografía compleja, como la región del centro-oeste de Argentina. Esta región se caracteriza por la presencia de la Cordillera de los Andes al oeste, superando alturas de más de 5.000 m.s.n.m., y llanuras extendiéndose hacia el este. Asimismo, se encuentra afectada por eventos extremos de temperatura y precipitación como olas de calor, heladas, sequías y precipitaciones extremas. La ocurrencia de eventos extremos impacta negativamente en salud, el medio ambiente y en la principal actividad económica de la región, la agricultura. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es la evaluación de la habilidad de los modelos climáticos del conjunto CMIP6 para representar la ocurrencia de valores extremos de la temperatura y precipitación en el centro-oeste de Argentina durante 1981-2010.

Datos y metodologías

Se utilizaron simulaciones históricas a escala diaria de temperatura máxima y mínima pertenecientes a 12 modelos climáticos del CMIP6. Asimismo, se utilizaron simulaciones de precipitación diaria de 24 modelos del mismo conjunto. Los modelos seleccionados

son los que mejor representan las variaciones climáticas medias en el centro-oeste de Argentina (Marianetti et al., 2024). Las simulaciones históricas de temperatura fueron contrastadas frente a los datos diarios de temperatura máxima y mínima del reanálisis ERA5. Para la evaluación de las simulaciones históricas de precipitación se utilizaron datos diarios de los conjuntos ERA5, CHIRPS y CPC. Se consideraron 14 índices extremos de temperatura: CSDI (índice de días de frío intenso), WSDI (índice de días de calor intenso), TXn (mínimo de la máxima temperatura diaria), TXx (máximo de la temperatura máxima diaria), SU (días de verano), TX10p (días fríos), TX90p (días cálidos), TNn (mínimo de la temperatura mínima diaria), TNx (máximo de la temperatura mínima diaria), TR (noches tropicales), FD (días de helada), TN10p (noches frías), TN90p (noches cálidas), y ETR (rango de temperatura extrema). Además, se analizaron 6 índices extremos de precipitación: R20mm (días de precipitación muy intensa), RX1day (máxima precipitación en un día), RX5day (máxima precipitación acumulada en cinco días), SDII (índice de precipitación intensa simple), R75p (eventos de precipitación que superan el percentil 75), CDD (máxima cantidad de días secos consecutivos).

La distribución y dispersión de los valores de los índices extremos se evaluaron mediante diagramas de cajas. El diagrama permite visualizar el rango intercuartílico, la mediana, la dispersión y los valores atípicos. Mientras que la representación del patrón espacial de los índices se analizó por medio del Diagrama de Taylor. El mismo se construye por medio de la desviación estándar, la raíz del error cuadrático medio y el coeficiente de correlación espacial entre las simulaciones y el dato de referencia.

Resultados

Considerando los resultados obtenidos para los índices extremos de temperatura, se observó mediante el diagrama de cajas que la mediana de las simulaciones históricas es similar a la obtenida a partir del conjunto ERA5 en la mayoría de los índices extremos. Como excepción se encuentran los índices TXx, TNn, TNx y TR, los cuales sobreestiman la mediana, y el índice FD, el cual la subestima. Además, se detectó que todos los índices extremos del conjunto CMIP6 presentaron una mayor variabilidad en comparación con ERA5, a excepción de TX10p y TX90p, los cuales exhibieron cierta similitud. Se destaca que los índices del conjunto CMIP6 basados en la duración de los eventos extremos (CSDI y WSDI) y en percentiles (TX10p, TX90p, TN10p y TN90p) fueron aquellos que presentaron una mayor cantidad de valores atípicos. Mediante el diagrama de Taylor, se observó que en general las simulaciones históricas del conjunto CMIP6 representan adecuadamente el patrón espacial de la mayoría de los índices extremos de ERA5. Como excepción se destacan los índices CSDI y los índices basados en percentiles (TX10p, TX90p, TN10p, TN90p). Considerando los índices de temperatura máxima y mínima, la mayoría de las simulaciones exhibieron mejores valores de correlación espacial.

De acuerdo con los resultados obtenidos para los índices extremos de precipitación, se obtuvo que todos los índices extremos de precipitación del conjunto CMIP6 presentaron una mayor variabilidad comparado con los datos de referencia (Figura 1). Considerando la mediana, los índices RX5 y R20mm se acercaron a la mediana de CPC y CHIRPS, pero subestimaron el valor obtenido a partir de ERA5. Además, el conjunto subestimó la media del índice CDD de los datos de CPC y CHIRPS, pero sobreestimó ERA5. Mientras que el índice de R75p del conjunto sobreestimó en gran medida la mediana de todos los datos de referencia. Contrariamente, considerando el índice SDII, el conjunto CMIP6 subestimó a todos los datos de referencia. Excepcionalmente, la mediana del índice RX1 de las simulaciones fue similar a todos los datos de referencia. Considerando el diagrama de Taylor, las simulaciones históricas capturaron adecuadamente el patrón espacial de los índices extremos de ERA5, CPC y CHIRPS. Particularmente, el conjunto tuvo mejor correspondencia con los datos de ERA5, seguido de CHIRPS y finalmente de CPC. Se destaca que el índice R75p fue el que tuvo peores valores de correlación espacial frente a los datos de referencia. La dificultad que presentaron los modelos en representar espacialmente algunos índices extremos

de temperatura coincide con lo observado por otros estudios (Fan et al., 2020; Cui et al., 2021). Mientras que la mala representación del índice R75p podría estar asociado a los pocos días de precipitación por año en la región, lo cual afecta a la interpretación del mismo.

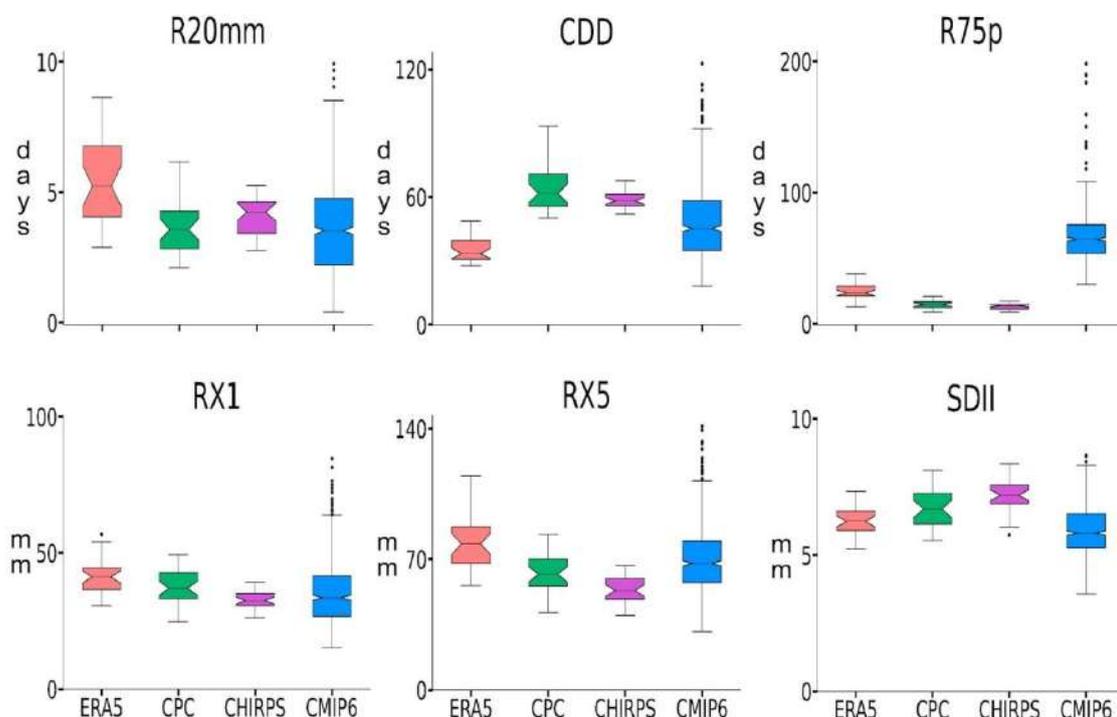


Figura 1: Diagrama de cajas de los índices extremos de precipitación en el centro-oeste de Argentina para el período 1981-2010. La caja rosada representa a los datos de ERA5, la caja verde a CPC, la caja violeta a CHIRPS y la caja azul al conjunto de los 24 modelos de precipitación pertenecientes a CMIP6.

Conclusiones

Se observó que las simulaciones históricas de temperatura y precipitación del conjunto CMIP6 representan adecuadamente los valores extremos para la mayor parte de los índices seleccionados en el centro-oeste de Argentina. Aun así, presentan dificultades en el desempeño del rango y la mediana de los índice R75p, TXx, TNx y FD. Asimismo, poseen falencias para representar el patrón espacial de aquellos índices basados en percentiles (TX10p, TX90p, TN10p, TN90p y R75p) y específicamente en los índices CSDI y ETR. Esta información climática resulta de importancia para la evaluación de las proyecciones climáticas en la región, y ayudar a la toma de decisiones para las medidas de adaptación, prevención y mitigación al cambio climático.

Referencias

- Cui T., Li C. y Tian F. (2021). Evaluation of Temperature and Precipitation Simulations in CMIP6 Models Over the Tibetan Plateau. *Earth and Space Science* 8(7): 1–20. <https://doi.org/10.1029/2020EA001620>
- Fan X., Duan Q., Shen C., Wu Y. y Xing C. (2020). Global surface air temperatures in CMIP6: historical performance and future changes. *Environmental Research Letters* 15(10): 104056. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb051>
- Marianetti G., Rivera JA., Bettolli ML. (2024). Evaluation and selection of CMIP6 GCMs for the characterization of temperature and precipitation in Central-Western Argentina. *Theoretical and Applied Climatology*. [en proceso de revisión]

EVALUACIÓN DEL PRODUCTO MOD17A2H PARA REPRESENTAR LA PRODUCCIÓN PRIMARIA BRUTA EN LA REGIÓN PAMPEANA

Merino, R.A.¹ y Gassmann, M.I.^{1,2}

- 1 Depto. de Cs. de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Oficina 2302, Piso 1, Edificio Cero + Infinito, Cdad. Universitaria, CABA, C1428EHA.
- 2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Godoy Cruz 2290, C1425FQB, CABA, Argentina.

rmerino@at.fcen.uba.ar

En el contexto del cambio climático, comprender la dinámica del carbono y representar correctamente los intercambios que ocurren entre la biosfera y la atmósfera resulta de gran relevancia. La producción primaria bruta (GPP) representa la asimilación de dióxido de carbono realizada por los ecosistemas a través del proceso de fotosíntesis. En este trabajo se evalúa la eficacia del producto MOD17A2H de MODIS para estimar GPP en la región pampeana Argentina, comparándolo con datos obtenidos mediante la técnica de covarianzas turbulentas (EC).

Los resultados muestran que MODIS estima adecuadamente el GPP en algunos sitios naturales homogéneos, explicando hasta el 77% de la varianza sobre una marisma salada en la costa bonaerense. Sin embargo, en sitios agrícolas y heterogéneos, las estimaciones presentan mayores limitaciones. Las diferencias se deben a la limitada extensión horizontal de algunos lotes con cultivos y a deficiencias en la calibración utilizada en MODIS, que podría no representar adecuadamente a los ecosistemas de nuestra región. En conclusión, las estimaciones de GPP de MOD17A2H deben interpretarse con cautela, asegurando que la señal del ecosistema de interés se comprenda correctamente. Por otro lado, se resalta la importancia de contar con observaciones in situ adicionales que permitan caracterizar de forma precisa los biomas presentes en la región estudiada.

Palabras clave: Ecosistemas, Dióxido de Carbono, Imágenes Satelitales

CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTERANUAL Y TENDENCIAS EN EL CENTRO DE ARGENTINA

Dalia V. Panza^{1,2,3}, Leandro B. Díaz^{1,2,3}, Carolina Vera^{1,2,3}

1. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Buenos Aires, Argentina. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.
2. CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina.

dalia.panza@cima.fcen.uba.ar

La región central de Argentina (que abarca principalmente las provincias de Córdoba, Santiago del Estero y el oeste de Santa Fe) ha experimentado en las últimas décadas cambios en los valores medios y extremos en la precipitación y la temperatura. El clima en esta región presenta un marcado ciclo anual en ambas variables, con los meses más secos y fríos durante el invierno y los más húmedos y cálidos en verano. Influenciada por la presencia de los Andes que actúa como una barrera al flujo húmedo hacia el oeste desde el Océano Pacífico, la región experimenta condiciones particularmente secas con flujos de humedad que ingresan desde el norte a lo largo de las laderas orientales de los Andes. Además, la rama occidental del Anticiclón del Atlántico Sur contribuye al flujo norte/noreste que transporta aire cálido y húmedo a la región subtropical de América del Sur, favoreciendo la inestabilidad.

Los cambios que ha experimentado el clima en el Centro de Argentina se combinan con la variabilidad natural presente en distintas escalas temporales. Es importante estudiar los cambios en el clima regional producidos por las actividades humanas y su combinación con la variabilidad natural del clima, ya que es información necesaria para tomar decisiones sobre cómo reducir los impactos adversos que ya se están generando y los que puedan generarse a futuro sobre las distintas actividades socioeconómicas que se llevan a cabo en la región. Allí se desarrolla producción agrícola-ganadera a gran escala, así como existen múltiples centrales hidroeléctricas cuya capacidad de generación de electricidad depende del caudal de los ríos. Sin embargo, son escasos los estudios que hayan profundizado en la descripción y entendimiento del clima de esta región en particular. Es por eso que el objetivo de este trabajo es profundizar la caracterización y el entendimiento de la variabilidad de baja frecuencia y el cambio climático en el Centro de Argentina en el período 1959-2020.

Para caracterizar el clima promedio, su variabilidad y sus cambios se utilizaron datos de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación provenientes de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional, de la base de datos desarrollada por la Unidad de Investigación Climática (CRU) basada en observaciones de superficie y de datos globales del reanálisis ERA5 del Centro Europeo de Pronóstico a Corto y Mediano Plazo (ECMWF) para el período 1959-2020.

Para estudiar los cambios a largo plazo se calcularon las tendencias lineales para cada variable en cada estación del año mediante el estimador de Theil-Sen, utilizando datos de CRU y de las estaciones meteorológicas del SMN. Luego para el estudio de la variabilidad interanual se llevó a cabo un Análisis Espectral Singular (SSA por sus siglas en inglés), mediante el cual se encontraron tendencias no lineales y ciclos irregulares que en su conjunto explican el comportamiento de cada variable, utilizando datos de CRU. Se evaluó la significancia de cada componente obtenida con SSA con un test de Monte-Carlo y aquellas componentes significativas fueron relacionadas con patrones de circulación de gran escala mediante una regresión lineal múltiple, utilizando datos de presión sobre nivel del mar, geopotencial y viento de ERA5.

Los resultados de la tendencia lineal para verano (Figura 1) muestran un marcado ascenso de la temperatura mínima en toda la región (Fig. 1b), para la temperatura máxima (Fig. 1a) se encontraron tendencias positivas al noroeste y negativas hacia el sudeste y, para la precipitación, no se observan cambios significativos en ninguna estación meteorológica (Fig. 1c). En otoño la temperatura máxima no presenta cambios significativos, mientras que para la temperatura mínima y la precipitación se observan tendencias positivas en algunas estaciones meteorológicas. En invierno la temperatura máxima presenta una leve tendencia positiva, la temperatura mínima no presenta tendencias significativas y la precipitación muestra tendencias negativas en toda la región, indicando un acentuamiento de la estación seca. Por último, en primavera solo la temperatura máxima y mínima muestran tendencias significativas que resultan positivas en toda la región.

El SSA de la temperatura mínima muestra una tendencia no-lineal positiva y oscilaciones fuertemente influenciadas por El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) con una periodicidad cercana a los 3 años. Por otra parte, en la temperatura máxima y la precipitación no se pudo detectar claramente la influencia del ENSO. Estas últimas dos variables se caracterizan por tener comportamientos interanuales opuestos, sugiriendo que el comportamiento de la precipitación modula el de la temperatura máxima. De manera similar a lo encontrado para otras regiones de Argentina, las variabilidades identificadas en la región para la temperatura y la precipitación están asociadas a alteraciones en la circulación atmosférica (descriptas a través de variables como la presión a nivel del mar o equivalentes) que se producen no sólo sobre el continente sudamericano sino también que se extienden sobre el hemisferio sur y en especial sobre los océanos Pacífico, Índico y Atlántico Sur, anomalías que se denominan “teleconexiones”. Las teleconexiones explican entonces cómo el fenómeno del ENSO que se desarrolla sobre el Pacífico ecuatorial influye sobre la variabilidad climática en Argentina.

Este estudio permite avanzar en conocimiento climático relevante a nivel local, de modo que puede contribuir para estudios de impacto y riesgo, así como para generar mejores proyecciones sobre los cambios que puedan ocurrir en el futuro.

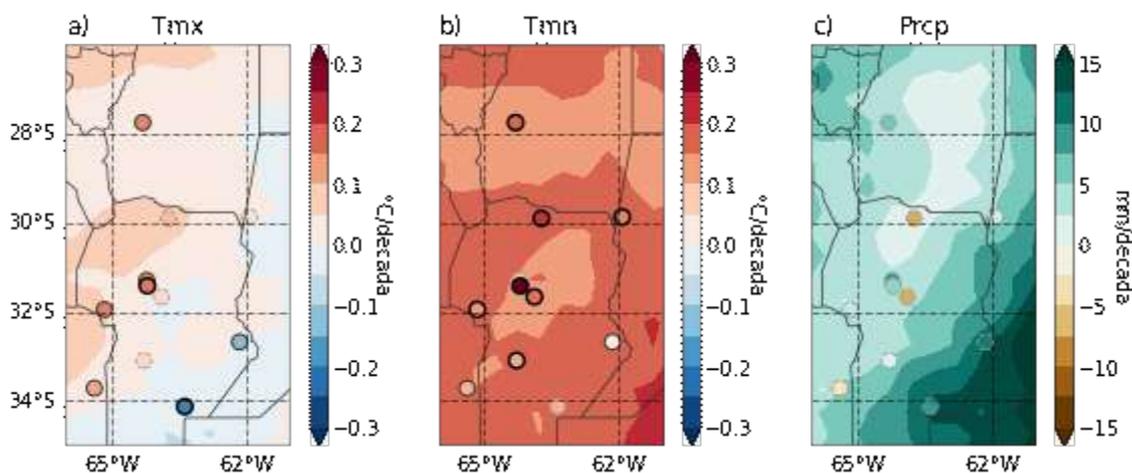


Figura 1: mapa de tendencias lineales de (a) la temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$), (b) la temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) y (c) la precipitación ($\text{mm}/\text{década}$) para el período 1959-2020 durante el trimestre de verano (diciembre-enero-febrero). Los círculos representan las estaciones meteorológicas y el sombreado la base de datos CRU. Los círculos con borde negro grueso representan tendencias significativas al 5%, los de borde negro fino al 10% y los de borde gris discontinuo representan tendencias no significativas.

EFECTO DE EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR SOBRE EL VÓRTICE ESTRATOSFÉRICO POLAR DEL HEMISFERIO SUR

Nahuel Gómez¹, Marisol Osman¹ y Carolina Vera¹

nahuel.gomez@cima.fcen.uba.ar

1. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Instituto Franco-Argentino del Clima y sus Impactos (IRL-IFAECI)/CNRS, CONICET, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) es reconocido por ser el modo de variabilidad climática más relevante en escala estacional a interanual y está asociado con cambios en la circulación atmosférica tropical y extratropical a nivel global. En particular, se ha observado que el ENSO está débilmente correlacionado con el Modo Anular del Sur (SAM), el principal modo de la variabilidad atmosférica en las latitudes altas del hemisferio sur (HS). El SAM es un patrón de los centros de presión con forma de anillo cuya polaridad positiva muestra menores presiones sobre la región antártica y más presiones sobre las latitudes medias y en su polaridad negativa viceversa. Se lo asocia a un movimiento latitudinal de la posición media del jet subpolar o Eddy-Driven Jet (EDJ).

El ENSO no es el único forzante de la Circulación Troposférica Extratropical (CTE). Durante las últimas décadas se ha acumulado evidencia tanto con observaciones como con modelos de la influencia que ejerce el estado del vórtice estratosférico polar (“el vórtice”) durante el invierno y la primavera sobre la CTE. En particular, Byrne et al (2017) mostraron que el rompimiento anual del vórtice entre noviembre y diciembre ejerce una influencia organizacional sobre la CTE. Específicamente mostraron que los vórtices debilitados están asociados con un adelantamiento de la transición entre el régimen primavera de la CTE (dominado por la coexistencia del EDJ y del jet subtropical) y el régimen de verano (dominado por un único jet); y por otro lado los vórtices fuertes están asociados con un retardo de dicha transición. Este proceso de modulación de la variabilidad de la CTE por el vórtice durante el fin de la primavera se lo conoce como Acoplamiento Troposfera-Estratósfera (ATE). El ATE se manifiesta como un patrón de perturbaciones persistentes y descendentes, que eventualmente se manifiestan en la tropósfera con una fuerte proyección sobre el SAM.

La influencia del ENSO y del ATE sobre el SAM abre una serie de interrogantes. En primer lugar, se podría plantear la posibilidad un efecto de confusión entre el ENSO, el vórtice y la CTE, donde el ENSO se asocie de manera independiente con cada nivel de la atmósfera y la asociación entre el vórtice y la CTE sea, en realidad, espuria. Una segunda consideración plantea la posibilidad de un efecto del ENSO sobre la CTE vía estratosfera, en donde el ENSO afecte a la estratósfera en primer lugar y luego esa influencia se manifieste en la tropósfera a través del ATE. Por último, una tercera posibilidad es que el ENSO y el estado del vórtice sean dos procesos físicos independientes y que actúen por separado sobre la CTE teniendo la posibilidad de interferirse destructiva o constructivamente, como plantean Osman et al (2022). Entonces, el objetivo de este trabajo fue explorar un posible efecto de confusión entre el ENSO, el vórtice y la CTE; la existencia de un posible efecto del ENSO sobre la CTE vía estratósfera y determinar la naturaleza de la relación entre el ENSO y el vórtice. Para esto se utilizaron datos del reanálisis ERA5.1 (1979-2022).

Para alcanzar los objetivos, se desarrolló un indicador para cuantificar el “régimen de anomalías estratosféricas persistentes y descendentes”. Para eso se definió un dominio en el espacio (*día-calendario, nivel-de-presión*) llamado “*estrato-caja*” que abarca los niveles de 100 a 1 hPa pero su ancho temporal depende del nivel vertical, variando desde el 1ro de agosto al 30 de noviembre en 1 hPa y desde 1 de octubre al 30 de

noviembre en 100 hPa. Esta forma de definir el dominio permite capturar la propagación hacia abajo de las perturbaciones estratosféricas que se manifiestan en invierno. A partir de este dominio se define al “strato-índice” (SI) como al indicador anual estandarizado que surge del promedio temporal y vertical pesado por masa dentro los límites de la estrato-caja de la anomalía de la altura geopotencial promediada sobre el casquete polar (65°S-90°S; \hat{Z}). Se dice que ocurrió un evento de vórtice débil/fuerte cuando el SI superó el umbral de 0.5/-0.5. Se tuvo especial interés en filtrar efectos conocidos no-estacionarios de baja frecuencia como el calentamiento global por el incremento de gases de efecto invernadero y la variabilidad de la concentración de ozono estratosférico debido a compuestos clorados antropogénicos. Para caracterizar los eventos ENSO se tomó el promedio del Niño 3.4 de julio a noviembre (enso-índice, EI) y los eventos El Niño y La Niña se clasifican de la manera clásica tomando el umbral de 0.5 K.

Se realizó un análisis categórico entre el SI y el EI y se encontró que la mayoría de los eventos La Niña tienden a ocurrir en conjunto con vórtices intensificados. Sin embargo, los eventos El Niño no parecen proyectarse sobre un estado particular del vórtice sino que la mayoría de los vórtices débiles ocurrieron en años con ENSO neutral. Además, el análisis reveló que la asociación ENSO-vórtice podría estar sufriendo una fuerte influencia de procesos no-estacionarios de baja frecuencia. También se realizó un análisis de regresión simple entre SI e EI y se encontró que no existe una asociación lineal significativa entre ambos indicadores. Por último, el análisis de la covarianza entre ambas variables mostró que existe una débil asociación ordinal entre ambos indicadores pero que tampoco implica una relación lineal estadísticamente significativa.

El hecho de que no se pueda establecer una relación estadística entre el ENSO y la persistencia de un dado régimen estratosférico implica que: (1) el ENSO no es un variable confundidora entre el vórtice y la CTE; (2) este trabajo no aporta evidencia a la existencia de un efecto del ENSO vía estratósfera en el hemisferio sur, (3) para los estudios de ATE en el HS se puede considerar a la influencia estratosférica sobre la CTE como un proceso físico independiente de la influencia del ENSO sobre la CTE. Esto último también implica que el ATE puede potencialmente interferir destructivamente con la señal típica esperada del ENSO en las latitudes extratropicales del HS.

Referencias

- Osman, M., T. G. Shepherd, and C. S. Vera, 2022: The combined influence of the stratospheric polar vortex and ENSO on zonal asymmetries in the southern hemisphere upper tropospheric circulation during austral spring and summer. *Clim Dyn*, 59, 2949–2964, <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06225-0>.
- Byrne, N. J., T. G. Shepherd, T. Woollings, and R. A. Plumb, 2017: Nonstationarity in Southern Hemisphere Climate Variability Associated with the Seasonal Breakdown of the Stratospheric Polar Vortex. *Journal of Climate*, 30, 7125–7139, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0097.1>.

RELACIÓN ENTRE VÓRTICE ESTRATOSFÉRICO POLAR Y LAS ASIMETRÍAS ZONALES DE LA CIRCULACIÓN TROPOSFÉRICA EXTRATROPICAL DEL HEMISFERIO SUR

Nahuel Gómez¹, Marisol Osman¹ y Carolina Vera¹

nahuel.gomez@cima.fcen.uba.ar

1. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Instituto Franco-Argentino del Clima y sus Impactos (UMI-IFAECI)/CNRS, CONICET, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Desde mediados de la primavera hasta el siguiente otoño la característica dominante de la Circulación Troposférica Extratropical (CTE) del hemisferio sur (HS) es un jet barotrópico equivalente conocido como Eddy-Driven Jet (EDJ). Se ha observado, por un lado, que durante la primavera el EDJ se ubica en una latitud más hacia el polo respecto del verano y, por otro lado, que la transición entre ambos estados exhibe una fuerte variabilidad interanual. Byrne et al (2017) mostraron que el timing del rompimiento anual del vórtice estratosférico polar (“el vórtice”) entre noviembre y diciembre ejerce una fuerte influencia organizacional sobre la transición estival que sufre el EDJ. Mostraron que vórtices intensificados, asociados a una supresión de la propagación vertical de las ondas de Rossby de escala planetaria, tienden a retrasar la transición del EDJ hacia el ecuador. Por otro lado, los vórtices debilitados, asociados a una mayor actividad de las ondas planetarias, tienden a preceder una transición del EDJ más temprana. Este proceso de modulación de la transición estival de la CTE se conoce como Acoplamiento Troposfera-Estratósfera (ATE).

El estudio del ATE en el hemisferio sur ha estado limitado al análisis de promedios zonales. Una pregunta que surge entonces es si la transición estival del EDJ ocurre coherentemente a lo largo de la dirección longitudinal o si existen asimetrías zonales en esta transición. Otra pregunta relevante es si el ATE en sí mismo puede influir en las asimetrías zonales de la tropósfera. Osman et al (2022) mostraron que el estado del vórtice polar durante la primavera está asociado con fuertes asimetrías en esta estación que maximizan en octubre y luego decaen rápidamente hasta desaparecer en diciembre. Un interrogante que surge de este resultado es por qué el momento de máxima señal sobre las asimetrías troposféricas no coincide con el momento de máxima señal en la componente zonalmente simétrica que ocurre en diciembre. Una hipótesis posible es que este máximo de la señal en las asimetrías que se observa en octubre coincide con el momento donde también se maximiza la propagación vertical de las ondas planetarias que, a su vez, está incentivada por el debilitamiento estacional del vórtice. Si esta hipótesis es cierta, la señal tipo-onda encontrada en las asimetrías zonales debería ser reinterpretada no como un efecto de la estratósfera si no como la componente troposférica de la interacción ondas-flujo medio en la estratósfera.

Entonces, los objetivos de este trabajo son, por un lado, determinar si existen asimetrías zonales en la transición estival del EDJ por el rompimiento estacional del vórtice y, por otro lado, determinar si el ATE tiene una influencia propia sobre las asimetrías zonales de la CTE.

Para alcanzar estos objetivos se utilizó el reanálisis ERA5.1 (1979-2022). Se desarrolló un indicador para cuantificar la evolución del vórtice polar en el invierno y la primavera. Para eso se definió un dominio en el espacio (*día-calendario, nivel-de-presión*) llamado “*estrato-caja*” que abarca los niveles de 100 a 1 hPa pero su ancho temporal depende del nivel vertical, variando desde el 1ro de agosto al 30 de noviembre en 1 hPa y desde 1 de octubre al 30 de noviembre en 100 hPa. Esta forma de definir el dominio permite capturar la propagación descendente de las perturbaciones

estratosféricas que se manifiestan en invierno y se manifiestan en la troposfera durante el fin de la primavera. A partir de este dominio se define al “estrato-índice” (SI) como al indicador anual estandarizado que surge del promedio temporal y vertical pesado por masa dentro los límites de la estrato-caja de la anomalía de la altura geopotencial promediada sobre el casquete polar (65°S - 90°S). Se dice que ocurrió un evento de vórtice débil/fuerte cuando el SI superó el umbral de $+0.5/-0.5$.

En primer lugar, se revisó la asociación entre el vórtice y la transición estival del EDJ desde un punto de vista de promedios zonales y se encontraron resultados equivalentes a los documentados por estudios previos. Además, se buscó determinar si el ATE también tiene efecto sobre otras características del EDJ aparte de su posición latitudinal, como su magnitud y su ancho, pero no se encontró evidencia de una relación estadística fuerte entre el SI y estos otros parámetros. Luego se mostró que el SI no solamente está asociado con un corrimiento temporal de la transición estival del EDJ, si no que la posición final del EDJ luego de la transición es en promedio más hacia el ecuador en el caso de los vórtices débiles respecto a los vórtices fuertes. Además, la señal del ATE en la CTE se vuelve estadísticamente significativa luego del rompimiento del vórtice y no antes. Por último, mediante composiciones y regresiones se mostró que el comportamiento del EDJ es coherente en la dirección longitudinal: el EDJ en noviembre y diciembre se posiciona en las tres cuencas oceánicas del HS más hacia el norte respecto a la climatología en el caso de los vórtices débiles y más hacia el sur en el caso de los vórtices fuertes. Y en concordancia con el análisis zonal, el efecto del ATE en el EDJ se vuelve coherente en la mayoría de las longitudes unos 10 días después del rompimiento del vórtice.

Para entender el rol del ATE en las asimetrías zonales de la CTE, se cuantificaron los flujos de onda verticales en la troposfera durante el invierno y la primavera discriminando por el estado del vórtice dado por el SI. Se halló, en especial durante el mes de octubre, que en los años de vórtice debilitados la troposfera manifiesta un mayor número de días con eventos de propagación vertical de ondas planetarias; mientras que en el caso de los años con vórtice fuerte se observa una supresión en la cantidad de días con eventos de propagación. Esto concuerda con la idea de que la variabilidad interanual de la estratosfera extratropical austral durante la primavera está dominada por la variabilidad en la propagación vertical de las ondas de Rossby de escala planetaria que provienen de la troposfera. Y a su vez, esto no apoya la idea de que la señal asociada al SI en la componente asimétrica de la CTE es producto de una influencia estratosférica, si no todo lo contrario.

Este trabajo aporta evidencia adicional a un modelo conceptual que entiende al ATE como la influencia que ejerce el rompimiento del vórtice en el momento de la traslación latitudinal del EDJ en su transición estival. Dicho modelo fue originalmente comprendido y elaborado utilizando promedios zonales. Aquí se mostró que el comportamiento del EDJ puede extenderse coherentemente en la dirección longitudinal. Sin embargo, esto también implica que el ATE es un fenómeno cuya señal troposférica está dominada por cambios en el estado básico. La señal en las asimetrías encontrada en trabajos previos parece, en realidad, formar parte del ingrediente dinámico que es necesario para dar forma al estado básico del vórtice durante la última parte de su ciclo de vida y que, a posterior, influenciará al EDJ.

Referencias

- Osman, M., T. G. Shepherd, and C. S. Vera, 2022: The combined influence of the stratospheric polar vortex and ENSO on zonal asymmetries in the southern hemisphere upper tropospheric circulation during austral spring and summer. *Clim Dyn*, 59, 2949–2964, <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06225-0>.
- Byrne, N. J., T. G. Shepherd, T. Woollings, and R. A. Plumb, 2017: Nonstationarity in Southern Hemisphere Climate Variability Associated with the Seasonal Breakdown

of the Stratospheric Polar Vortex. *Journal of Climate*, 30, 7125–7139,
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0097.1>.

INTERCOMPARACIÓN DE PARAMETRIZACIONES DEL MODELO WRF Y SU IMPACTO EN LA PREDICCIÓN DE PRECIPITACIONES INTENSAS: UN CASO DE ESTUDIO EN LA PLATA

L.E. Zapata¹ y G.J. Berri²

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP.

lucasezapata@gmail.com

En contextos de convección profunda, es común que la incertidumbre en los pronósticos sea significativa. Esta incertidumbre suele derivar principalmente de errores en las condiciones iniciales y de borde, así como de las limitaciones del propio modelo de pronóstico. Por este motivo, se desarrollan estrategias para abordar la incertidumbre relacionada con las deficiencias del modelo numérico. Una de estas estrategias implica la perturbación de parámetros clave para la representación de procesos a escala subreticular, como las parametrizaciones de microfísica y de la capa límite planetaria.

Este trabajo estudia la predictibilidad de un evento de precipitación intensa a través de la implementación de un ensamble compuesto por 10 simulaciones numéricas empleando el modelo Weather Research and Forecasting (WRF) en alta resolución horizontal (3km). Se focaliza en un caso específico de precipitación intensa ocurrido el 17 de agosto de 2023 en la ciudad de La Plata.

Las simulaciones se realizaron considerando diversas parametrizaciones de microfísica y de capa límite planetaria. Además, se consideraron como condiciones de borde los análisis del Global Forecast System (GFS) con resolución de 0,25°.

En cuanto a la microfísica, se emplearon cinco parametrizaciones diferentes: Eta (Ferrier) Scheme; WRF Single-moment 6-class Scheme (WSM6); Thompson Scheme; Morrison 2-moment Scheme; WRF Double Moment 5-class and 6-class Schemes (WDM6).

Por otro lado, en relación a las parametrizaciones de capa límite, se implementaron dos opciones: *Mellor-Yamada-Janjic Scheme (MYJ)* y *Yonsei University Scheme (YSU)*.

Esto resultó en un total de 10 simulaciones que fueron comparadas con datos recopilados en la Estación Meteorológica La Plata Observatorio, con el propósito de evaluar la sensibilidad del pronóstico frente a cambios en la configuración del modelo.

Palabras clave: Modelado numérico; WRF; alta resolución; parametrizaciones; precipitación.

CARACTERIZACIÓN DE PERÍODOS HÚMEDOS Y SECOS Y SUS FORZANTES ASOCIADOS EN EL SUR DE SUDAMÉRICA

M.E. Pérez de Mendiola^{1,2}, J. Blázquez^{1,2}, S.A. Solman^{3,4}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP).
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
3. CONICET - UBA, Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA).
4. UBA - FCEN, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO).

mpmendiola@fcaglp.unlp.edu.ar

Este estudio caracteriza las condiciones húmedas y secas en el sur de América del Sur, definidas a través del índice de evapotranspiración de precipitación estandarizado (SPEI; Vicente-Serrano y otros, 2010), calculado a partir de datos de precipitación y temperatura de la base de datos CPC Global Unified del NOAA Climate Prediction Center. Dados los diversos regímenes climatológicos del área, se realizó una regionalización previa al análisis empleando una combinación del algoritmo de k-means y análisis de componentes principales. Se determinaron seis regiones homogéneas donde eventos secos y húmedos fueron analizados. Se consideraron las escalas de tiempo de 1, 3, 6 y 12 meses (SPEI1, SPEI3, SPEI6 y SPEI12, respectivamente) y se utilizaron en conjunto para definir meses secos y húmedos, de la siguiente manera:

- a) Meses húmedos 1-6: aquellos que presentan valores de $SPEI1 > 1$ y $SPEI6 > 0$
- b) Meses húmedos 3-12: aquellos con valores de $SPEI3 > 1$ y $SPEI12 > 0$
- c) Meses secos 1-6: aquellos que presentan valores de $SPEI1 < -1$ y $SPEI6 < 0$
- d) Meses secos 3-12: aquellos con valores de $SPEI3 < -1$ y $SPEI12 < 0$

Sobre estas condiciones húmedas o secas mensuales se establecieron criterios de coherencia espacial y temporal para definir eventos húmedos y secos.

En general, los eventos más pequeños ($< 100,000 \text{ Km}^2$) fueron los más frecuentes, mientras que los eventos más grandes ($> 50\%$ del área total de una región) ocurrieron con menos frecuencia y mostraron una gran variabilidad en su extensión espacial a lo largo del tiempo (Figura 1). La mayoría de las regiones mostraron una alternancia entre años e incluso décadas con un predominio de áreas cubiertas por eventos secos o húmedos. La intensidad de los eventos mostró una gran variabilidad en el tiempo (Figura 1). Se detectó una tendencia hacia el aumento de condiciones secas en ciertas regiones, como el sur de Bolivia y el noroeste de Argentina, mientras que simultáneamente se observó una reducción en la extensión de los eventos húmedos y un aumento en su intensidad (Figura 1a,b,e y f). Los eventos definidos con escalas de tiempo SPEI más cortas mostraron un comportamiento similar a los definidos con escalas de tiempo SPEI más largas pero con una mayor variabilidad mensual y menor coherencia espacial.

Un análisis de las frecuencias reveló variaciones significativas en períodos puntuales en la escala de tiempo interanual y variaciones más persistentes en las escalas de tiempo interdecadales y decadales. Se llevó a cabo un análisis de la circulación atmosférica asociada, que podría vincularse con distintos forzantes oceánico-atmosféricos, tales como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), el Modo Anular del Sur (SAM) y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), dependiendo de las regiones.

La caracterización de eventos en términos de su intensidad, duración y extensión espacial reveló que los eventos moderados fueron predominantemente cortos (< 3 meses), mientras que los eventos más largos y más extendidos fueron en general severos. Los eventos calculados con escalas de tiempo SPEI más cortas mostraron duraciones más pequeñas que los calculados con escalas de tiempo SPEI más largas. Por otro lado, los eventos húmedos mostraron una proporción similar de casos moderados y severos, mientras que los eventos secos fueron predominantemente moderados.

Eventos húmedos 3-12

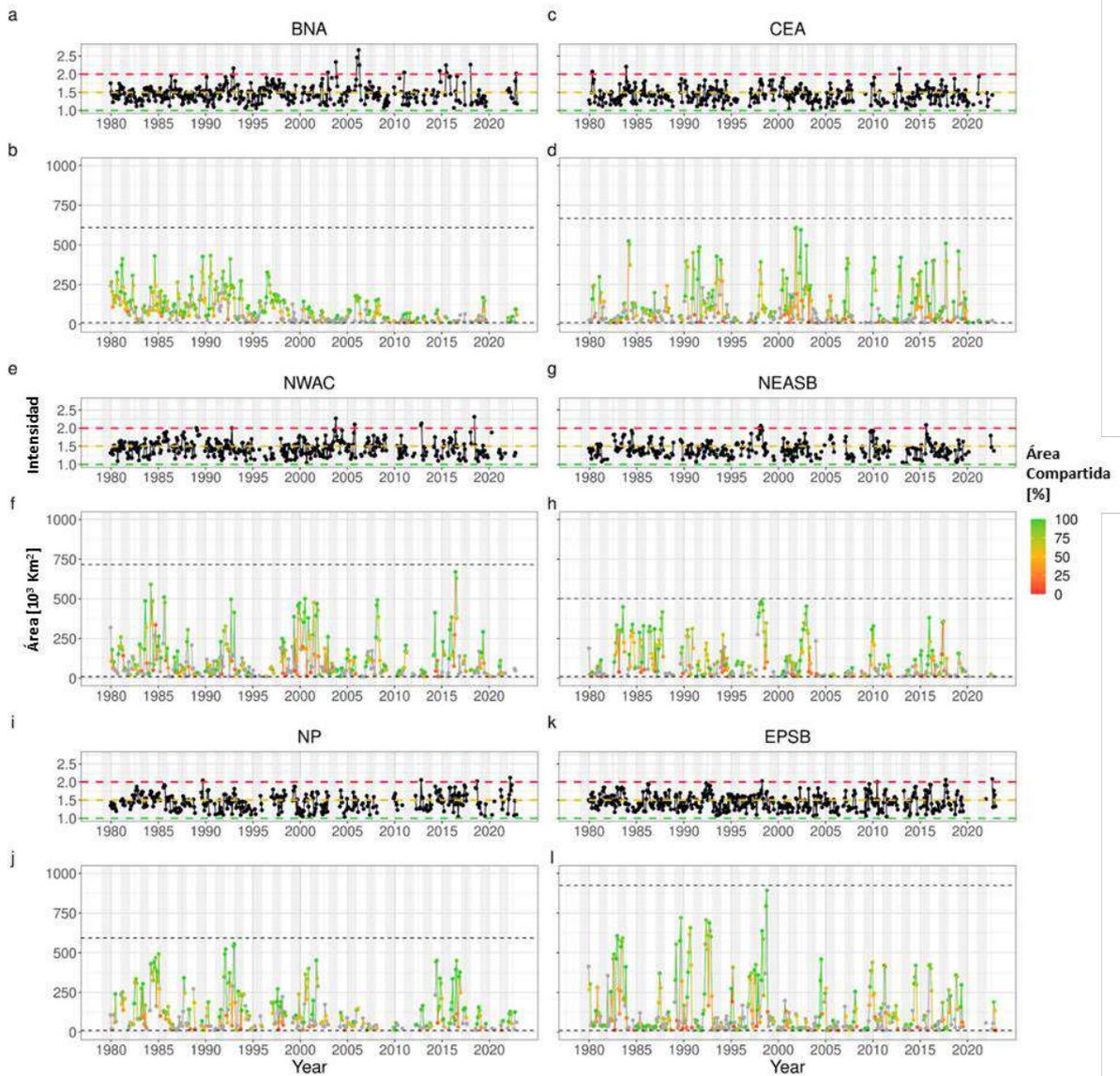


Figura 1: Serie temporal de intensidad (paneles angostos) [sin unidades] y área máxima [10^3 Km^2] cumpliendo la condición húmeda 3-12 (paneles anchos). Para paneles angostos, las líneas rayadas horizontales indican umbrales correspondientes a condiciones moderadas (verde), severas (amarillo) y extremas (rojo). Para los paneles anchos, los colores representan el porcentaje de área compartida con el mes anterior. El primer mes de cada evento está sombreado en gris. Las líneas rayadas horizontales indican el área total de la región (negro).

Referencia

Vicente-Serrano, S., Beguería, S., López-Moreno, J.I., 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*. 23. 1696-1718. 10.1175/2009JCLI2909.1.

PATRONES DE VARIABILIDAD DEL CICLO HIDROLÓGICO DEL RÍO CHUBUT

Federico Gómez y Diego Araneo¹

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA),
CONICET-CCT-Mendoza, Argentina

fegomez@mendoza-conicet.gob.ar

El río Chubut se extiende a lo largo de 810 km desde su nacimiento en el sector cordillerano de las provincias de Chubut y Río Negro hasta su desembocadura en el mar Argentino con un caudal medio de 46,9 m³/s. Presenta un único periodo máximo de flujo entre mayo y noviembre donde se combinan el escurrimiento de las precipitaciones invernales entre mayo y septiembre, junto con el derretimiento de la masa nieve acumulada en zonas altas entre septiembre y noviembre, alcanzando un flujo medio de 85,6 m³/s en la segunda quincena de octubre. El río Chubut resulta importante para las actividades de la provincia homónima, aprovechándose su curso para actividades agrícolas y ganaderas, consumo humano y generación de energía hidroeléctrica. El objetivo de este trabajo es caracterizar los modos de variabilidad del río mediante un análisis de componentes principales (ACP) junto con sus condiciones atmosféricas y ciclos y tendencias asociadas.

Para ello, se emplearon datos diarios observados de caudal de la estación Los Altares (43°53'S 68°24'O, 246 msnm) en el periodo 1943-2020, considerando un ciclo hidrológico anual de abril a marzo. Esto se realizó mediante un análisis de componentes principales (ACP) de las series anuales de medias quincenales de caudal diario. El ACP arroja como resultado series de *scores* que caracterizan las anomalías respecto a la marcha media anual, junto con sus respectivos factores de carga (*loadings*) correspondientes a cada año en estudio. Las marchas de *scores* de las componentes 1 a 4 (CP1-4) fueron comparadas con las correlaciones entre las series de *loadings* correspondientes y la temperatura en superficie (t2m) y precipitación (pp) promediadas sobre la región de la naciente (41,5°-44°S 69,5°-72°O) para cada quincena, a fin de identificar periodos quincenales (o grupos de quincenas) de concordancia entre los patrones de anomalías de caudal propios de cada CP y las anomalías de t2m y/o pp en la región de la naciente. Se calcularon los campos de correlaciones entre las series de *loadings* y de t2m y pp a nivel regional.

Las series de factores de carga fueron sometidas a una técnica modificada de la descomposición empírica en modos (CEEMDAN) con el objetivo de identificar la presencia de ciclos y tendencias no lineales en las componentes que caracterizan el ciclo hidrológico del río Chubut. El CEEMDAN fue complementado con un análisis espectral según el método de Blackman-Tuckey para identificar la periodicidad de las ondas resultantes de la descomposición empírica en modos.

El primer modo de variabilidad del ciclo hidrológico del río Chubut (CP1) explica el 29,8% de la varianza en el periodo y refiere a la variabilidad interanual. Es decir, anomalías en la magnitud del máximo de caudal observado entre los meses de mayo y noviembre, observando su modo directo (inverso) un exceso (déficit) con respecto al flujo medio registrado. La serie de *loadings* se correlacionó positivamente con anomalías de precipitación en superficie sobre el norte de la Patagonia para el periodo entre la segunda quincena de abril y la primera quincena de agosto. La descomposición en ondas de la serie de *loadings* sugiere una predominancia de ciclos de 3, 4, 7, 11 y 20 años en la variabilidad interanual de los caudales del río Chubut (Fig.1).

La segunda componente (CP2) representa el 17,3% de la varianza de las series quincenales de caudal. CP2 está asociado a la variabilidad interestacional y se caracteriza en su modo directo (inverso) por una anomalía negativa (positiva) de caudal en los meses de junio y julio junto con un exceso (déficit) entre agosto y noviembre. La t2m en la región de la naciente del río Chubut se correlaciona de manera inversa con

las series de *loadings* para los meses de mayo y junio y muestra una correlación directa con la pp en el periodo de exceso de caudal (déficit en el modo inverso) considerando una quincena de desfase. La mayor parte de la variabilidad mostrada por la serie de factores de carga de CP2 según la descomposición en modos responde a un ciclo de aproximadamente 2,5 años.

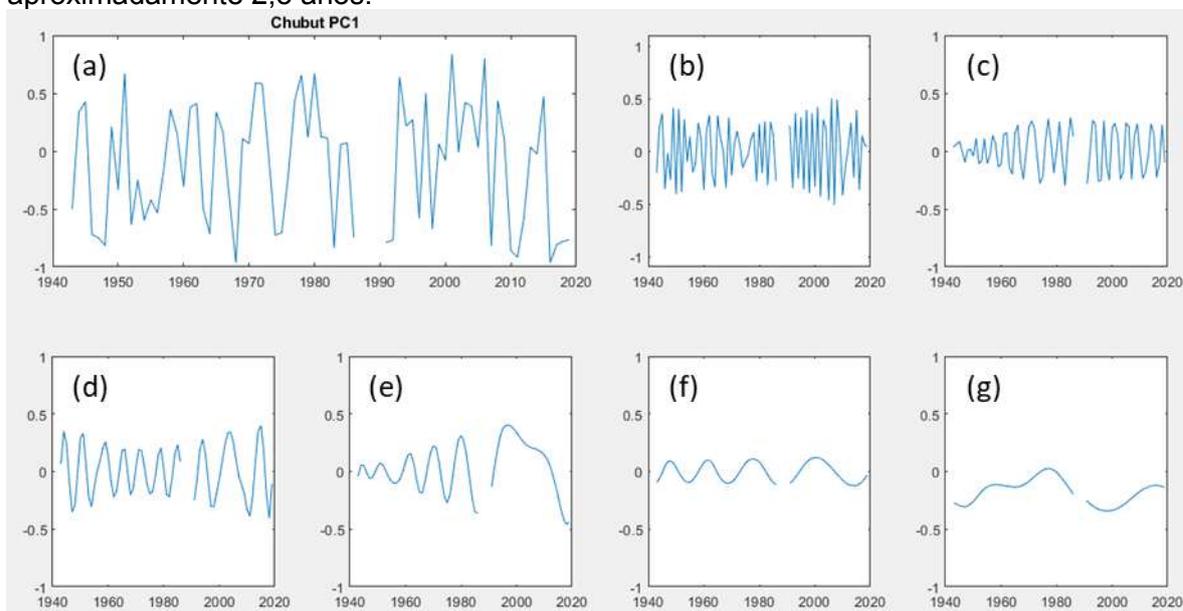


Figura 1. (a) Serie de loadings para CP1 del río Chubut. (b) a (f) Ondas resultantes de la descomposición empírica en modos, predominan ciclos de 3, 4, 7, 11 y 20 años respectivamente (g) Tendencias no lineales detectadas en la serie de loadings.

La variabilidad intermensual está representada por la tercera componente (CP3) y explica el 12% de la varianza del modo. En su fase positiva (negativa) se caracteriza por una anomalía positiva (negativa) de caudal durante el mes de agosto junto con anomalías negativas (positivas) en junio, julio, septiembre y octubre. La variable de precipitación en superficie mostró una correlación positiva con la marcha de CP3, teniendo en cuenta una quincena de desfase. Es decir, la serie de *loadings* se relacionó con anomalías positivas de pp en agosto y negativas en junio, julio, octubre y noviembre. La descomposición en modos sugiere que la mayor parte de la varianza de la serie de factores de carga se explica con el rol de las tendencias no lineales y ciclos de aproximadamente 3 años.

La cuarta componente (CP4) incluye la variabilidad intramensual y representa el 8,6% de la varianza. Se caracteriza por un aumento (disminución) anómalo del caudal del río en la segunda quincena de mayo, junio, la segunda quincena de agosto y septiembre y un descenso (exceso) en julio y la segunda quincena de agosto con respecto al caudal medio en para su modo directo (inverso). La variable pp de ERA5 mostró una correlación directa con la serie de *scores* para la región de la naciente del río Chubut considerando una quincena de desfase. La descomposición empírica en modos indica que la variabilidad de la serie de factores de carga de CP4 puede ser mayormente explicada por series de 3 y 5 años.

CARACTERIZACIÓN DE OLAS DE CALOR MEDIANTE ÍNDICES DE TEMPERATURA MÁXIMA Y SU RELACIÓN CON SEQUÍA AGRONÓMICA CARACTERIZADA POR SPEI

Belén A. Martorelli^{1,2}, Gabriela Posse¹, María E. Beget^{1,3}, María L. Bettolli⁴

1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- a. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
- b. Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información (FAUBA).
- c. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA).

belenmartorelli88@gmail.com

Introducción

En el actual contexto de cambio climático, la frecuencia de eventos extremos se está acelerando (IPCC, 2021). Las olas de calor, las sequías, y las inundaciones son algunos de los eventos que han visto aumentada su frecuencia; y la agricultura es una de las actividades más perjudicadas. Estudios recientes han demostrado que la ocurrencia de eventos simultáneos o compuestos tienen la capacidad de provocar aún más daños que los eventos individuales. En particular, los países del hemisferio sur son los más vulnerables, debido a que su capacidad de respuesta y recuperación es menor que los países más desarrollados del norte. En Argentina son escasos los trabajos que incluyen el estudio de eventos compuestos- como la co-ocurrencia de olas de calor y sequías- y la mayoría utiliza índices basados en percentiles de la Temperatura máxima para caracterizar los eventos cálidos. Sin embargo, estos pueden no ser representativos para el impacto en los cultivos. Nuestro objetivo es caracterizar la frecuencia de estos eventos compuestos, durante la temporada cálida, dado que pueden afectar el rendimiento de los cultivos. Buscamos hacerlo de manera espacialmente explícita en la región Chaco Pampeana; ya que es la región de mayor productividad agropecuaria en Argentina. Como primer análisis, nuestra finalidad es encontrar aquellas regiones más expuestas a estos eventos, evaluando la relación entre distintos índices que representan las olas de calor y el índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) para el evento de sequía.

Datos y metodología

Se utilizaron datos diarios de Temperatura máxima (TMax) de la base de datos del Climate Prediction Center (CPC) de la NOAA, con una resolución de 0.5°x0.5°, para la región Chaco Pampeana de Argentina. Por otro lado, datos mensuales del Índice SPEI de la base de datos Global SPEI database, con igual resolución espacial y aplicado a la misma región. El índice SPEI (Vicente-Serrano et al 2010) a diferencia de otros índices de sequía, tiene en cuenta la diferencia entre precipitación y evapotranspiración (ET), lo que permite estimar de manera indirecta la humedad del suelo. En el caso de la base de datos Global SPEI, la ET se estima a partir de la estimación de evapotranspiración potencial (ETP) utilizando el método de Penman-Monteith de la FAO-56. Los valores de SPEI varían entre -2 (extremadamente seco) y 2 (extremadamente húmedo). El periodo analizado corresponde a los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 1979-2022. Para caracterizar el evento cálido se utilizaron 3 índices, definiendo la ola de calor como el periodo en el que la temperatura máxima es mayor que un umbral durante al menos 3 días consecutivos. Índice A) Cálculo de TMax media para cada mes y cada año, B) Cantidad de días consecutivos, (secuencias) mayores o iguales a 3 días, con TMAX superiores a tres umbrales distintos 28°, 29° y 30°, para cada mes de cada año. C) En base al cálculo de secuencias anteriores, se calculó la TMax promedio mensual para cada año. Tanto en los índices mencionados antes como en el SPEI, se filtró la tendencia utilizando el test no paramétrico Mann-Kendall; y se realizó una correlación de Spearman para analizar si existe una relación entre ellos.

Resultados y discusión

En términos generales el índice A fue el que mostró mayor correlación significativa espacialmente, en particular en el mes de diciembre para el umbral 30° . El signo negativo de la correlación estarían indicando una relación opuesta entre ambas variables, es decir, a mayor T_{max} Media, menor es el índice SPEI (más negativo); por lo tanto, aumentan las condiciones de sequía. Este comportamiento se observó en toda el área de estudio (Figura 1 izq.) Por otro lado, el índice B reveló un área menor de correlación negativa, donde los mayores valores se ubican en la en la región centro y noreste del país. (Figura 1 der.) En dichos lugares estaría representando que a mayor frecuencia de olas de calor se observa una disminución del índice SPEI, denotando condiciones de sequía mayor. El índice C, para el mes de diciembre y el umbral de 30° , mostró un comportamiento opuesto a los demás índices, con un área de significancia acotada a la región norte y este del país.

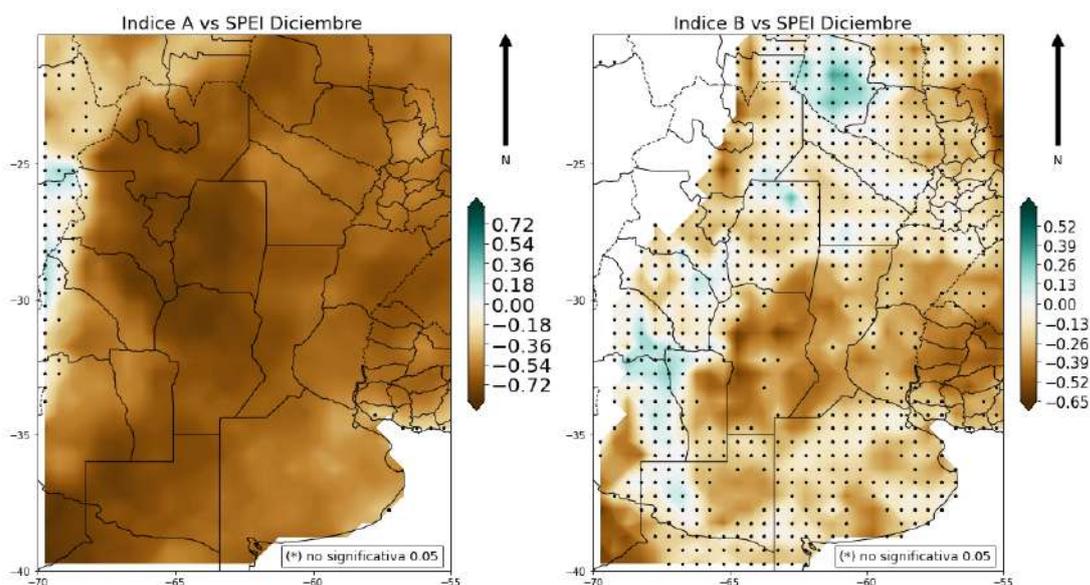


Figura 1: Coeficiente de correlación Spearman entre índice A y el SPEI para el mes de diciembre con umbral de $T_{Max}=30^{\circ}$ (izq.).

Referencias

- IPCC, 2021: SummaryforPolicymakers. In: Climate Change 2021: ThePhysicalScience Basis. ContributionofWorkingGroup I totheSixthAssessmentReportoftheIntergovernmental Panel onClimate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].
- Vicente-Serrano SM, Beguería S and López-Moreno J I 2010 A multiscalardroughtindex sensitive to global warming: thestandardizedprecipitationevapotranspirationindex J. Clim. 23 1696–718

DISTRIBUCIÓN DE DESCARGAS SUPER ENERGÉTICAS SOBRE LOS ANDES CENTRALES, ESTUDIO PRELIMINAR

María Florencia Barle^{1,2,4}, María Gabriela Nicora^{1,2,4} y Eldo E. Ávila³

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata, UNLP.
2. UNIDEF, MINDEF, CONICET, DEILAP, División Atmósfera, Villa Martelli.
3. FAMAFA, Universidad Nacional de Córdoba, IFEG-CONICET, Córdoba.
4. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET.

mbarle@fcaglp.unlp.edu.ar

Estudios recientes han analizado un tipo particular de descarga eléctrica super energética denominada Superbolt, la cual posee una energía 3 órdenes de magnitud mayor que las descargas promedio (las cuales rondan los 1.000 J) que se producen en el planeta. Holzworth (2019) [1] reportó un estudio de la actividad eléctrica del mundo desde el año 2010 al año 2018, hallando alrededor de 8.000 Superbolts sobre un total de más de 10^9 descargas. Observó que una de las regiones donde se concentra la mayor ocurrencia de eventos va desde noroeste de la Argentina y norte de Chile, hacia los Andes centrales. Estas descargas ocurren principalmente entre los meses de noviembre y febrero sobre la cordillera, a diferencia del resto de los lugares en el mundo, en donde las locaciones de Superbolts se dan en invierno y en el mar. Es importante destacar que la distribución espacial de los Superbolts, no es coincidente con las regiones donde se producen los máximos de actividad eléctrica en el planeta (Albretch et al., 2016) [2].

La red de localización de descargas World Wide Lightning Location Network (WWLLN) es una red mundial de detección con sensores terrestres, desarrollada a través de colaboración internacional. Fue establecida en el año 2003 y comenzó a estar operativa en agosto de 2004. Cuenta con más de 80 estaciones en todos los continentes, las cuales detectan ondas de radio de muy baja frecuencia (VLF en inglés), conocidas como spherics, en el rango de 1-24 kHz, muestreadas a 48.000 muestras por segundo. Actualmente, Argentina cuenta con 4 estaciones ubicadas en la Ciudad de Córdoba (FaMAF-UNC, Pcia. de Córdoba), Trelew (Universidad de la Patagonia, Pcia. de Chubut), Río Gallegos (Observatorio de la Patagonia Austral, Pcia. De Santa Cruz) y Villa Martelli (CITEDEF, Pcia. de Buenos Aires). Otras dos estaciones se encuentran en Chile, las cuales permiten tener una presencia significativa de estaciones en el sur de Sudamérica. Estas estaciones receptoras procesan cada paquete de onda esférica para determinar el tiempo de llegada del grupo (TOGA, por sus siglas en inglés). Estos tiempos TOGA, precisos hasta aproximadamente un microsegundo, se utilizan para determinar la ubicación de la fuente en un análisis global de tiempo de llegada con un mínimo de cinco estaciones (Dowden et al., 2002) [3].

En el presente trabajo examinamos 10 años de datos desde el 2013 hasta el 2023, pertenecientes a la red WWLLN en un estudio de parámetros de geolocalización y energía en Joules (J). La zona de trabajo va desde los 10°S hasta 35°S en latitud y desde 60°O hasta 80°O en longitud, analizando así el noroeste de nuestro país, norte de Chile, Bolivia y parte de Perú y Brasil (figura 1). Para asegurar que nuestra muestra de descargas super energéticas no esté contaminada por datos erróneos, aplicamos los siguientes filtros en los datos: su energía debe ser mayor a 10^6 J y a la vez no puede superar los 10^8 J, ya que dicho valor es irreal; el error estándar del ajuste de energía debe ser menor al 30% de la energía para cada descarga; y al menos siete estaciones de WWLLN deben detectar cada descarga eléctrica.

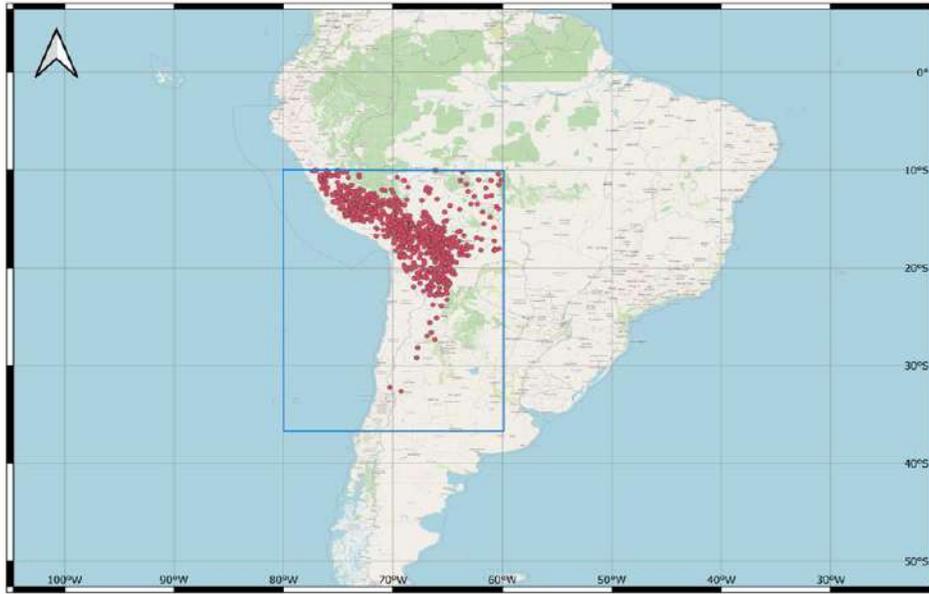


Figura 1: zona de estudio (rectángulo azul), descargas de tipo Superbolt (círculos rosados).

Teniendo en cuenta la región y años de estudio, además de la metodología mencionada, encontramos 914 Superbolts sobre un total de 18×10^6 descargas eléctricas. En concordancia con estudios previos, observamos una mayor presencia de Superbolts entre los meses de diciembre-marzo, siendo además los años 2014 y 2015 los más prolíferos. Adicionalmente, se destaca una gran densidad de Superbolts en el lago Titicaca en Perú.

Además de los resultados preliminares presentados en este estudio, quedan varias interrogantes pendientes de explorar. Uno de los aspectos pendientes es el análisis de la relación entre la presencia de cuerpos de agua o salares y la ocurrencia de Superbolts. Asimismo, será crucial investigar qué tipo de tormentas son las que generan estos fenómenos de alta energía, y si existe alguna correlación significativa entre la topografía de la región y la ocurrencia de Superbolts. Estos aspectos no solo contribuirán a mejorar nuestra comprensión de los procesos atmosféricos en esta zona, sino que también podrían tener implicaciones importantes para la gestión del riesgo y la seguridad de las comunidades locales.

Referencias

1. Holzworth, R. H., McCarthy, M. P., Brundell, J. B., Jacobson, A. R., & Rodger, C. J. (2019). Global distribution of superbolts. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 9996–10,005. <https://doi.org/10.1029/2019JD030975>
2. Albrecht, Rachel I. Steven J. Goodman, Dennis E. Buechler, Richard J. Blakeslee, and Hugh J. Christian., (2016). Where are the lightning hotspots on Earth?
3. Dowden, R. L., Brundell, J. B., & Rodger, C. J. (May 2002). VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 64(7), 817–830. [https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(02\)00085-8](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00085-8)

HABILIDAD DE LOS MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE ESCALA PARA REPRESENTAR DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN Y EL IMPACTO EN LOS CAUDALES DEL RÍO URUGUAY

Moira E. Doyle¹, Gonzalo M. Diaz² y Laura M. Chavez²

1. Universidad de Buenos Aires-CIMA/CONICET, Buenos Aires, Argentina
2. Servicio Meteorológico Nacional, Buenos Aires, Argentina

doyle@cima.fcen.uba.ar

Los modelos climáticos globales son capaces de proporcionar información confiable en escalas de alrededor de 1000 km y cada vez menores, abarcando una gran diversidad de tipos de paisaje (montañas, llanuras, zonas costeras, ciudades, etc.) y en consecuencia un amplio rango de fenómenos meteorológicos y climáticos (inundaciones, sequías, u otros eventos extremos). Sin embargo, la representación de fenómenos importantes a escalas más locales, como la convección, factor clave en el desarrollo de inundaciones o crecidas, no siempre es bien representada por estos modelos. Para subsanar estas deficiencias se suelen emplear técnicas alternativas conocidas como métodos de reducción de escala. Estas técnicas incluyen enfoques tanto dinámicos como estadísticos y se utilizan cada vez más para proporcionar información climática de mayor resolución que permiten respaldar una evaluación y planificación más detallada del impacto y la adaptación. Los métodos estadísticos de reducción de escala (ESD) siguen una amplia gama de enfoques (pronóstico perfecto, estadísticas de salida del modelo, una combinación de los dos anteriores y ajuste de sesgo, generadores meteorológicos, etc.) que se aplican individualmente o en combinación para producir información regional/local a partir de datos globales o de resultados de un modelo regional. Los métodos dinámicos de reducción de escala actualmente están trabajando con modelos regionales (RCM) en resoluciones que permiten simular la convección y no utilizar parametrizaciones. Estas altas resoluciones deben ser lo suficientemente altas de modo de capturar las características principales de los eventos de precipitación extrema, como la intensidad y el ciclo diurno, para los cuales la convección es el proceso clave.

En el marco de CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) del Programa de investigación Mundial del Clima (WCRP) se llevó adelante un Proyecto Piloto en el Sudeste de Sudamérica (SESA) que propuso desarrollar información climática procesable a partir de técnicas de reducción de escala estadística y dinámica, basada en la coproducción con la comunidad de impacto y usuarios. En este trabajo se presenta la evaluación de la representación de la precipitación por parte de las técnicas de reducción de escala dinámicas en la cuenca del Río Uruguay y como esta información contribuye a mejorar la representación de los caudales utilizando un modelo hidrológico. Los modelos climáticos globales son capaces de proporcionar información confiable en escalas de alrededor de 1000km y cada vez menores, abarcando una gran diversidad de tipos de paisaje (montañas, llanuras, zonas costeras, ciudades, etc.) y en consecuencia un amplio rango de fenómenos meteorológicos y climáticos (inundaciones, sequías, u otros eventos extremos). Sin embargo, la representación de fenómenos importantes a escalas más locales, como la convección, factor clave en el desarrollo de inundaciones o crecidas, no siempre es bien representada por estos modelos. Para subsanar estas deficiencias se suelen emplear técnicas alternativas conocidas como métodos de reducción de escala. Estas técnicas incluyen enfoques tanto dinámicos como estadísticos y se utilizan cada vez más para proporcionar información climática de mayor resolución que permiten respaldar una evaluación y planificación más detallada del impacto y la adaptación. Los métodos estadísticos de reducción de escala (ESD) siguen una amplia gama de enfoques (pronóstico perfecto, estadísticas de salida del modelo, una combinación de los dos anteriores y ajuste de

sesgo, generadores meteorológicos, etc.) que se aplican individualmente o en combinación para producir información regional/local a partir de datos globales o de resultados de un modelo regional. Los métodos dinámicos de reducción de escala actualmente están trabajando con modelos regionales (RCM) en resoluciones que permiten simular la convección y no utilizar parametrizaciones. Estas altas resoluciones deben ser lo suficientemente altas de modo de capturar las características principales de los eventos de precipitación extrema, como la intensidad y el ciclo diurno, para los cuales la convección es el proceso clave.

En el marco de CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) del Programa de investigación Mundial del Clima (WCRP) se llevó adelante un Proyecto Piloto en el Sudeste de Sudamérica (SESA) que propuso desarrollar información climática procesable a partir de técnicas de reducción de escala estadística y dinámica, basada en la coproducción con la comunidad de impacto y usuarios. En este trabajo se presenta la evaluación de la representación de la precipitación por parte de las técnicas de reducción de escala dinámicas en la cuenca del Río Uruguay y como esta información contribuye a mejorar la representación de los caudales utilizando un modelo hidrológico,

EVALUACIÓN DE LA CAUSALIDAD DIFERENCIAL ENTRE SERIES CLIMÁTICAS MEDIANTE DESCOMPOSICIÓN EMPÍRICA EN MODOS

Juan Pablo Muszkats¹, Miguel Eduardo Zitto^{2,3} y Rosa Piotrkowski^{2,4}

1. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.
2. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería.
3. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.
4. Instituto de Tecnologías Emergentes y Ciencias Aplicadas (UNSAM-CONICET), Escuela de Ciencia y Tecnología.

jpmuszkats@comunidad.unnoba.edu.ar

La Descomposición Causal es una técnica novedosa que permite establecer y cuantificar relaciones de causalidad entre señales provenientes de sistemas complejos. En el presente trabajo aplicamos la Descomposición Causal a series temporales de ENSO y de precipitaciones en Buenos Aires. Para garantizar la robustez de los resultados se hizo un análisis estadístico de múltiples realizaciones del proceso. Los resultados son consistentes con lo esperado, confirmando una relación de causalidad a favor de ENSO sobre las precipitaciones. En este trabajo aportamos una cuantificación de dicha causalidad.

Palabras clave: Descomposición Causal, EMD, ENSO, precipitaciones.

ASIMILACIÓN DE DATOS PROTOTIPO DE RADAR: SENSIBILIDAD DEL FILTRO DE MAPEO DE PARTÍCULAS A LA DENSIDAD PRIOR

Juan Martin Guerrieri¹ y Manuel Pulido²

1. Departamento de Física, FaCENA, UNNE.
2. Departamento de Física, FaCENA, UNNE y CONICET.

jguerrieri93@gmail.com

Los filtros de partículas se han convertido en una herramienta útil para abordar el desafío de asimilación de datos no lineal, especialmente dentro del ámbito de los sistemas geofísicos. Las aplicaciones geofísicas, que incluyen modelos meteorológicos y oceanográficos, frecuentemente involucran dinámicas y operadores observacionales altamente no lineales. A medida que las resoluciones de los modelos de pronóstico aumentan y los operadores observacionales se vuelven más complejos, estos desafíos se vuelven más evidentes. Las técnicas de asimilación de datos lineales ampliamente utilizadas, como los métodos variacionales (e.g. 3DVar) y los basados en el filtro de Kalman, encuentran dificultades al enfrentarse a la no linealidad tanto de la dinámica del sistema como del operador observacional.

El Filtro de Partículas de Mapeo Variacional, VMPF [1] es un algoritmo de Monte Carlo secuencial que utiliza el método de descenso del gradiente Variacional de Stein (SVGD) [2], propuesto originalmente por Liu y Wang (2016). En el VMPF, los vectores de estado, denominados partículas, experimentan una secuencia de transformaciones desde la densidad a-priori hasta ser transformadas en muestras que representan una función de densidad de probabilidad posterior. Estas transformaciones tienen como objetivo minimizar la divergencia de Kullback-Leibler entre la densidad posterior, calculada utilizando la fórmula de Bayes, y la serie de densidades intermedias.

El SVGD es un algoritmo de inferencia determinista que evoluciona un conjunto de partículas para ajustarse a una distribución objetivo. En particular, el SVGD ha llamado la atención en la literatura de inferencia debido a su flexibilidad y precisión. Este algoritmo converge en el límite de muchas partículas, pero aún enfrenta el problema comúnmente referido como "la maldición de la dimensionalidad". Este es un problema habitual también en los filtros de partículas que consisten en la subestimación de la covarianza de la muestra y la subsecuente divergencia del filtro.

En este trabajo se evalúa el rendimiento del VMPF para asimilar observaciones logarítmicas, como prototipo para simular el comportamiento de las observaciones de radar meteorológico. Se aplicó el VMPF en una simulación numérica utilizando como verdad el modelo de Lorenz-96 de dos capas, así como un modelo de pronóstico imperfecto basado en el modelo de Lorenz-96 de una capa. En estos experimentos altamente no-Gaussianos se examina el impacto del uso de funciones de densidad prior, considerando tanto la gaussiana pura como mezclas gaussianas. Además, para cada caso se realiza una optimización del filtro en función de los hiperparámetros internos del sistema, como el ancho del kernel. La evaluación se produce para casos totalmente observados como también para observaciones parciales (50% del estado).

Se evalúa el rendimiento del VMPF con ambas densidades a priori (gaussiana y mezcla), y además se utiliza como referencia dos filtros gaussianos: el EnKF y el LETKF. En la figura 1 se presenta el error cuadrático medio, promediado durante 2000 tiempos (dejando un período de 200 ciclos afuera correspondientes al spin-up) y el spread para los experimentos con observaciones completas e incompletas. Para esta imagen, se optimizó el hiperparámetro que controla el ancho del kernel incluido en las transformaciones del MPF y el ancho de las mezclas gaussianas para el experimento que asume un prior con mezcla.

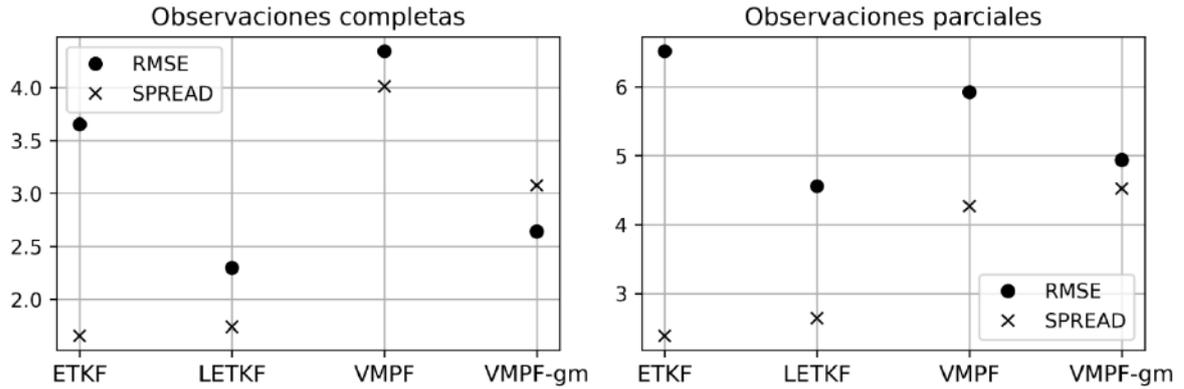


Figura 1: Comparación entre los filtros gaussianos, el VMPF con prior gaussiano y el VMPF con prior de mezclas gaussianas en términos de RMSE y SPREAD para el experimento con observaciones completas (izquierda) y parciales (derecha).

En ambos experimentos, se encuentra claramente la influencia crucial del prior de mezclas de gaussianas en el rendimiento del VMPF. Se observa una mejora significativa en el RMSE con mezclas de gaussianas tanto en los experimentos con observaciones completas como parciales. Aunque el VMPF muestra un error ligeramente mayor que el filtro gaussiano ETKF en el caso de observaciones completas, esta discrepancia se reduce considerablemente al incluir un prior de mezcla, volviendo al VMPF competitivo incluso con la versión localizada LETKF. En el caso de observaciones parciales, ambos VMPF superan al ETKF en rendimiento, y nuevamente, el VMPF global con prior de mezcla muestra un error ligeramente mayor al del LETKF que utiliza la hipótesis de localización. En lo que respecta a la representación del SPREAD, los filtros gaussianos subestiman consistentemente su valor en todos los experimentos. En contraste, el VMPF con prior gaussiano también subestima, aunque en menor medida, aproximándose al nivel del RMSE. Por último, el VMPF con prior de mezcla muestra una representación más precisa del SPREAD.

La comparación con el LETKF vislumbra la necesidad de incluir la hipótesis de localización en el filtro de mapeo de partículas. Actualmente se están realizando experimentos con dos versiones del LMPF, las versiones localizadas del filtro de partículas variacional, con el objetivo de estudiar el impacto de la localización en este filtro no paramétrico.

Referencias

- [1] Pulido, M. and van Leeuwen, P. J.: Sequential Monte Carlo with kernel embedded mappings: The mapping particle filter, *J. Comput. Phys.*, 396, 400–415, 2019.
- [2] Liu, Q. and Wang, D.: Stein variational gradient descent: a general purpose Bayesian inference algorithm, in: *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2378–2386, 2016.

ENSO Y SAM COMO FORZANTES DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL DE LA INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN TUCUMÁN (ARGENTINA)

Franco D. Medina^{1,2}, Bruno S. Zossi^{1,2} y Ana G. Elias^{1,2}

1. LIANM, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán (UNT).
2. INFINOA, CONICET-UNT.

fdmedina@herrera.unt.edu.ar

En este trabajo se analiza, para el periodo 1912-2019, la relación de la precipitación máxima diaria (Rx1) del cuatrimestre diciembre-enero-febrero-marzo (DJFM) en San Miguel de Tucumán, (Tucumán, Argentina; 26,8°S-65,2°W) con El Niño Oscilación del Sur (ENSO) y Modo Anular del Sur (SAM). El régimen de precipitación en la zona de estudio es del tipo cuasi-monsoonal, con una fuerte concentración de la precipitación en el verano austral.

Se analiza Rx1 como un indicador de la intensidad de la precipitación para esta ciudad que tiene alto riesgo de sufrir inundaciones en eventos diarios de lluvias intensas. El objetivo fue evaluar la relación de la variabilidad interanual de Rx1 con ENSO y SAM, para determinar si la intensidad de la precipitación es afectada por estos modos de variabilidad global. Se seleccionó el cuatrimestre DJFM, debido a que en el mismo ocurrieron el 88% de los valores de Rx1 anual en el periodo analizado.

Los datos de precipitación corresponden a registros diarios cedidos por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC). La serie pasó exitosamente los controles de calidad (verificación de valores atípicos de lluvia diaria, lluvia mensual y días consecutivos sin precipitación) y solamente tiene 0,6% de datos faltantes. Por otra parte, se utilizaron datos de anomalías de temperatura mensual en las regiones Niño 1.2 y Niño 3.4 como indicadores de ENSO (de NOAA: https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/). En cuanto a SAM se utilizaron los índices SAM del Reanálisis del Siglo XX V2c (SAM-20; de NOAA: https://psl.noaa.gov/data/20thC_Rean/timeseries/monthly/SAM/) que abarca el periodo 1912-2011 y el índice de Marshal basado en estaciones (SAM-M; de *British Antarctic Survey*: <https://legacy.bas.ac.uk/met/gjma/sam.html>) para el periodo 1957-2019. Para SAM y ENSO se calcularon los promedios de DJFM. En el caso, de SAM se realizó el análisis propuesto en este trabajo con SAM-20, SAM-M y con una serie concatenada compuesta por SAM-20 para 1912-1956 y SAM-M para 1957-2019; se eligió finalmente esta última opción ya que es la muestra mejores resultados y tiene una mayor extensión temporal.

Para detectar subperíodos con asociaciones estadísticamente significativas Rx1-ENSO y Rx1-SAM, se decidió calcular la correlación móvil para todos los valores posibles de longitud de ventana (WL), dentro de la longitud de las series de tiempo (108 años). El mínimo valor de WL utilizado es 20 años y el máximo 108 años. La metodología se conoce como representación de los triángulos, debido a la forma en que se grafican los resultados (Bahaga et al., 2019). Además, en este trabajo se decidió determinar el subperíodo de las series con el mínimo valor de p en las correlaciones (PmPV), es decir, el subperíodo con máxima significancia estadística; también, se determinó el subperíodo de máxima WL para la cual se obtiene una correlación significativa al 95% (PMWL). Se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson (RHO) y los valores p se calcularon mediante el t-test de Student. Para cada WL, se eliminó la tendencia lineal de las series temporales resultantes previo al cálculo de RHO y p.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 1. Para Niño 1.2 y Niño 3.4, en WL = 20 años, se obtuvieron valores de RHO entre 0,6-0,8 para las ventanas cuyos años iniciales corresponden a la década de 1950. A medida que WL se incrementa, valores positivos de RHO se observan para años iniciales antes de la década de 1950, debido

a que esas ventanas incluyen a la mencionada década donde una importante correlación existe. Para $WL > 30$ años, los valores de RHO tienden a decaer sostenidamente por debajo de 0,6 hasta perder la significancia estadística. Aunque los índices de ENSO muestran principalmente correlaciones positivas, valores negativos con menores valores absolutos se observan en períodos con menor extensión temporal.

Para SAM todos los valores significativos de RHO son positivos según la Figura 1. Para $WL = 20$ años, el año inicial con valores de RHO significativos (entre 0,4-0,6) está principalmente en las décadas de 1970 y 1980. A medida que WL se incrementa hasta el máximo valor posible (108 años), los valores de RHO se mantienen por arriba de 0,4 solamente para valores de año inicial correspondientes a la década de 1970. Esto significa que desde alrededor de la década de 1970 hasta casi el final de la serie, valores significativos y positivos de RHO existen entre Rx1 y SAM.

Para resumir la información provista por la representación de triángulos, en la Figura 1 se indican los PmPV y PMWL (estrella negra y sin color, respectivamente). Los resultados de PmPV muestran claramente que hay dos periodos separados, uno caracterizado por una significativa relación Rx1-ENSO (1945-1974) y otro por Rx1-SAM (1974-2007). Para ambos casos el valor de RHO es de alrededor de 0,6. Teniendo en cuenta los PmPV, alrededor de 1974 hubo un cambio en las teleconexiones que afectan la variabilidad de Rx1, cambiando de ENSO a SAM. Por otra parte, los PMWL que para valores de WL más grandes que la longitud del PmPV los valores de RHO caen abruptamente. Esto es debido a que, a medida que WL se incrementa, los años para los cuales la correlación es más baja e incluso no significativa son incorporados a la ventana disminuyendo la correlación del período. Esta comparación entre PmPV y PMWL confirma que la principal influencia de ENSO y SAM son confinados especialmente a sus respectivos PmPV. Se concluye que en la década de 1970 hubo un cambio en la relación de Rx1 con los modos de variabilidad global analizados. Una posible razón para este cambio podría ser el cambio de fase de la Oscilación Decadal del Pacífico, pero más investigación es necesaria para indagar en las causas físicas de esto.

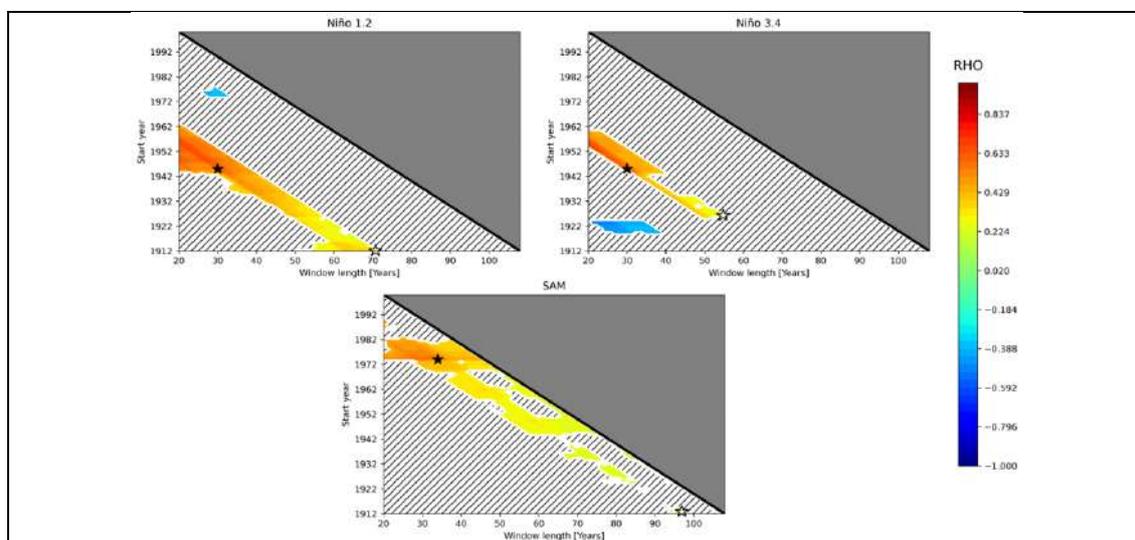


Figura 1. Representación de los triángulos para Rx1 vs Niño 1.2 (arriba-izquierda), Rx1 vs Niño 3.4 (arriba-derecha) y Rx1 vs SAM (abajo). En el eje vertical se indica el año inicial de la ventana y en el horizontal se indica la longitud de la misma. El color indica los valores de RHO en cada caso. La estrella color negro indica la ubicación del PmPV y la estrella no coloreada corresponde a la ubicación del PMWL. Solo los valores de RHO significativos al 95% se muestran en color.

CAMBIOS TEMPORALES EN EL PULSO DE DERRETIMIENTO NIVAL EN PRIMAVERA EN LA REGIÓN DE CUYO

Juan Rivera¹ y Carolina Lauro¹

1. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA)

jrivera@mendoza-conicet.gob.ar

El objetivo de este estudio es cuantificar los cambios temporales registrados a lo largo de los últimos 50 años en la ocurrencia del pulso de derretimiento de nieve en diversos ríos con nacientes en la Cordillera de los Andes (30°-37°S). Para ello se analiza la variabilidad de los caudales en el comienzo del período cálido, considerando métricas para la identificación del pulso nival. A escala regional se observan adelantos temporales en el pulso de derretimiento de nieve, que podrían estar vinculados al incremento en la temperatura media registrado en las últimas décadas, factor que promueve una fusión nival anticipada.

SISTEMA GNSS DE MONITOREO ZTD E IWV A TIEMPO CASI REAL EN SUDAMERICA: IMPLEMENTACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y MEJORAS FUTURAS

Luciano P.O. Mendoza^{1,2}, Juan Manuel Aragón Paz¹, Laura I. Fernández^{1,2},
Guillermina Anasimele^{1,2}

1. Laboratorio de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

lmendoza@fcaglp.unlp.edu.ar

Este trabajo describe el desarrollo y la validación de productos atmosféricos a tiempo casi real (NRT, Near-Real-Time) derivados de observaciones del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS, Global Navigation Satellite System) en Sud América (Aragón Paz, 2020; Aragón Paz et al., 2023), las optimizaciones realizadas desde su implementación original, y varias mejoras a implementar en el corto plazo. Este sistema de monitoreo NRT produce estimadores de Retardo Cenital Total (ZTD, Zenith Total Delay) y de Vapor de Agua Integrado (IWV, Integrated Water Vapour), con un retardo de tan solo una hora. Estos parámetros pueden ser significativos para estudios climatológicos, así como para el estudio de eventos severos pasados, presentes y futuros. Sin embargo, el sistema NRT desarrollado apunta fundamentalmente a proveer observaciones atmosféricas derivadas de GNSS que sean plausibles de ser asimiladas en Modelos Numéricos del Tiempo (NWP, Numerical Weather Predictions) por los servicios meteorológicos regionales, y particularmente el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (SMN).

La cobertura geográfica del sistema NRT implementado se extiende desde el centro de Brasil hasta la Península Antártica, incluyendo Argentina y Uruguay. El procesamiento de las observaciones satelitales, completamente automatizado, combina streams de datos GNSS de las estaciones de rastreo con observaciones sinópticas de estaciones meteorológicas cercanas. Durante el desarrollo del sistema se realizó una comparación exhaustiva de dos años de estimadores con: productos GNSS independientes provistos por el IGS (International GNSS Service) y por el CODE (Centre for Orbit Determination in Europe), así como con perfiles de radio sondas (RS), con productos horarios de re-análisis ERA5 y con observaciones de la misión satelital AIRS (Atmospheric Infrared Sounder).

En síntesis, el cómputo de los parámetros atmosféricos implica dos pasos. Primero, los estimadores ZTD son obtenidos junto con coordenadas para las estaciones GNSS disponibles. Aquí se introducen valores a priori de los retardos secos o hidrostáticos (ZHD, Zenith Hydrostatic Delays) y se parametrizan correcciones no hidrostáticas (o sea, la parte húmeda) cada 30 minutos, mapeadas con la correspondiente componente de la función de mapeo VMF1 (Vienna Mapping Function 1). También se consideran gradientes lineales cada seis horas. Todos los ZTD con desviaciones estándar (a posteriori) mayores a 10 mm son descartados. Debido a la actividad sísmica regional, se realiza aquí un test geométrico para detectar posibles cambios bruscos en las coordenadas de las estaciones de referencia. Sí efectivamente se detecta un salto todo el cálculo es repetido, automáticamente, bajando el peso de las coordenadas de las estaciones de referencia afectadas. El segundo paso implica la utilización de las observaciones meteorológicas en superficie para obtener los estimadores de IWV a partir de los de ZTD. Las observaciones de presión barométrica y temperatura empleadas se obtienen de estaciones meteorológicas distantes no más de 50 km de la correspondiente estación GNSS, y se realizan las correspondientes

extrapolaciones (en base a las diferencias de altura geopotencial) para obtener los valores al nivel de cada antena GNSS.

Los estimadores de ZTD e IWV producidos sistemáticamente son ofrecidos libremente a la comunidad, en diferentes formatos. Por una lado, puede accederse anónimamente a mapas on-line, actualizados cada una hora, mostrando la distribución de los sitios y la magnitud de los parámetros estimados (<https://wilkilen.fcaglp.unlp.edu.ar/tro/latest.html> y <https://wilkilen.fcaglp.unlp.edu.ar/tro/ultimo.html>). Además, archivos de texto listando los productos actuales, e históricos, pueden ser descargados libremente desde <https://wilkilen.fcaglp.unlp.edu.ar/tro/magn>.

Entre las mejoras ya implementadas, y las planificadas, se destacan la reducción del tiempo de cómputo de 30 a 10 minutos, la incorporación de estaciones transcordilleranas (i.e., en Chile) y la incorporación de señales de la constelación Galileo al cómputo de los productos atmosféricos.

Referencias

- Aragón Paz J. M. (2020), Estimación de parámetros troposféricos en tiempo casi real para Sudamérica mediante técnicas GNSS, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, <https://doi.org/10.35537/10915/107223>.
- Aragón Paz, J. M., Mendoza, L. P. O., Fernández, L. I. (2023), Near-real-time GNSS tropospheric IWV monitoring system for South America. *GPS Solutions*, 27(2), 93, <https://doi.org/10.1007/s10291-023-01436-2>.

ESTUDIO SOBRE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN EL NORTE ARGENTINO DURANTE LA ÉPOCA DE VERANO

Paula Oliveri^{1,2,3}, Sabrina Ayala^{1,2,3}, Marianela Groppa^{1,2}, Melanie Meis^{1,2,3}

1. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA).
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET).
3. Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera.

poliveri@at.fcen.uba.ar

Este trabajo evalúa los posibles procesos físicos que podrían generar precipitaciones extremas en el norte de la región argentina durante el verano para el periodo 1980-2019. Analiza la influencia de los indicadores remotos sobre la precipitación y la temperatura y profundiza en la implementación de un modelo estadístico para el pronóstico de precipitación extrema.

Palabras clave: precipitación, eventos extremos, temperatura

EXPLORACIÓN DE MÉTODOS DE ASIMILACIÓN DE DATOS PARA EL MODELO DE LORENZ DE N VARIABLES UTILIZANDO EL LOCAL ENSEMBLE TRANSFORM KALMAN FILTER

Gacitúa-Gutiérrez J.L.^{1,2} y Ruiz J.J.^{1,2,3}

1. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Buenos Aires, Argentina.
2. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.
3. CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina.

jorge.gacitua@cima.fcen.uba.ar

Los eventos meteorológicos extremos asociados a la ocurrencia de convección húmeda profunda, tales como granizo, precipitaciones intensas y ráfagas de viento, pueden provocar un significativo impacto social. Por tal motivo, es fundamental avanzar en el desarrollo de tecnologías que permitan anticiparse a dichos eventos, con el fin de desarrollar acciones preventivas. Una de las herramientas que se utiliza para anticipar dichos eventos es el pronóstico numérico, en particular aquel que permite resolver de manera explícita procesos relacionados con la convección húmeda profunda. La calidad de las simulaciones numéricas depende en gran medida de la calidad de las condiciones iniciales, las cuales se obtienen a partir de un proceso conocido como asimilación de datos (Kalnay et al. 2003). La asimilación de datos integra observaciones del mundo real con modelos numéricos, mejorando significativamente la calidad de las estimaciones del estado del sistema. Esto se vuelve especialmente crítico en la atmósfera, donde pequeñas variaciones en las condiciones iniciales generan pronósticos significativamente distintos.

Cuando se trata de pronosticar la evolución de la convección húmeda profunda, es fundamental contar con datos de radar meteorológico ya que los mismos proveen información acerca de la posición, intensidad y estructura interna de las nubes convectivas con alta resolución espacial y temporal. En Argentina, el proyecto SINARAME (de Elía et al. 2017) constituye una oportunidad única en este sentido debido a la gran disponibilidad de datos con las que cuenta actualmente el país. No obstante, la utilización de estos datos es un desafío para los sistemas de asimilación de datos. Una de las principales dificultades tiene que ver con la relación no-lineal que existe entre las observaciones de radar y las variables simuladas por el modelo. Esta no-linealidad no está de acuerdo con las hipótesis sobre las que se fundan los sistemas de asimilación, conduciendo a resultados subóptimos. En ese sentido, es importante poder desarrollar metodologías que permitan incorporar dicha información de forma más efectiva, con el fin de mejorar la calidad de los pronósticos de convección húmeda profunda. Actualmente, el Servicio Meteorológico Nacional está implementando el filtro de Kalman por ensambles (EnKF) como metodología para incorporar los datos de radar, entre otras fuentes de información, en las condiciones iniciales. Este método utiliza un ensamble o conjunto de simulaciones numéricas para estimar la incertidumbre asociada al conocimiento sobre el estado de la atmósfera. Además de ser particularmente apto para la asimilación de observaciones en escalas pequeñas, provee una estimación de la incertidumbre asociada a las condiciones iniciales, lo cual facilita la estimación de la incertidumbre de las previsiones que se derivan de dicha condición inicial. En el EnKF, la relación entre las observaciones y las variables del modelo se aproxima linealmente, lo cual implica que si dicha relación es muy no lineal los resultados pueden ser subóptimos.

En un estudio reciente Kurosawa y Poterjoy (2021), investigaron una variante del filtro de Kalman por ensambles que muestra mejores resultados cuando la relación entre las variables predichas por el modelo y las observaciones que se utilizan para corregir el estado de la atmósfera es no lineal. Estos métodos consisten en fraccionar las correcciones que introducen las observaciones en una sucesión de pequeñas correcciones que formalmente se basan en la factorización o temperado de la función de verosimilitud. En cada una de estas pequeñas correcciones el impacto de la no linealidad es menor y, de esta manera, el resultado final es más preciso.

Este estudio se centra en la asimilación de datos usando el filtro de Kalman por ensambles y en la aplicación del temperado como una manera más eficiente para asimilar observaciones complejas cuya relación con las variables simuladas por el modelo es no lineal. Esta técnica puede resultar crucial en sistemas geofísicos, donde la complejidad y la no linealidad son la norma.

En este trabajo utilizamos un modelo numérico sencillo que permite simular el proceso de asimilación de datos y el uso de observaciones cuya relación con las variables del modelo sea muy no lineal. En particular elegimos el modelo de Lorenz de N variables que representa una herramienta invaluable para estudiar la dinámica caótica, similar a la atmósfera, de una manera simplificada. La capacidad de dicho modelo para capturar comportamientos caóticos y no lineales lo convierte en un modelo ideal para evaluar la eficacia de los sistemas de asimilación de datos antes de probarlos en modelos atmosféricos más realistas.

Para simular la complejidad asociada a las observaciones de radar, se utiliza una relación entre las variables predichas por el modelo y las observaciones que es similar a la que existe entre las observaciones de radar meteorológico y las concentraciones de hidrometeoros que componen las nubes. Los experimentos exploran la sensibilidad de la precisión del sistema de asimilación de datos a la aplicación de la técnica de temperado en diferentes contextos que tienen que ver con la magnitud del error de las observaciones, su densidad temporal y espacial y a la presencia de errores de modelo.

Los resultados muestran que la técnica de temperado permite mejorar significativamente la calidad de la estimación de las condiciones iniciales y además permiten obtener un sistema de asimilación de datos que es más estable en relación a su configuración (por ejemplo, a la selección de parámetros tales como la inflación multiplicativa o la escala de localización de las observaciones). Estos resultados se mantienen en diferentes escenarios lo cual resulta particularmente auspicioso para la implementación de estas técnicas en modelos más complejos.

Estos resultados alientan a continuar trabajando en el desarrollo de esta técnica y a su evaluación con sistemas de modelado en mesoescala del estado del arte y a la evaluación de su impacto sobre el pronóstico de eventos meteorológicos extremos asociados a la ocurrencia de convección húmeda profunda.

Palabras Clave: Asimilación de datos, Filtro de Kalman por ensambles, sistemas dinámicos no-lineales.

Referencias

- de Elía R., L. Vidal, P. Lohigorry, R. Mezher y M Rugna, 2017: La red Argentina de radares meteorológicos de Argentina. Nota Técnica SMN 2017-39.
- Kalnay, E., 2003: Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge University Press.
- Kurosawa, K., & Poterjoy, J. (2021). Data Assimilation Challenges Posed by Nonlinear Operators: A Comparative Study of Ensemble and Variational Filters and Smoothers. *Monthly Weather Review*, 149(7), 2369-2389

RELACIÓN ENTRE LA CORRIENTE EN CHORRO DE CAPAS BAJAS SUDAMERICANA, EL ENOS Y LA PRECIPITACIÓN EN EL SUDESTE DE SUDAMÉRICA

Santino Adduca¹, Santiago I. Hurtado², Pablo G. Zaninelli^{1,3}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata (FCAG-UNLP). La Plata, Argentina.
2. Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias Bariloche (IFAB), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Bariloche, Argentina.
3. Instituto de Geociencias (IGEO), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)-Universidad Complutense de Madrid (UCM). Madrid, España.

sadduca@gmail.com

La Corriente en Chorro de Capas Bajas Sudamericana (CCCBS) es un máximo de viento en niveles bajos de la tropósfera que se observa al este de los Andes. Esta corriente es un componente importante del clima del sudeste de Sudamérica (SESA), ya que favorece el desarrollo de convección húmeda y profunda mediante el transporte de aire cálido y húmedo, y promoviendo ascensos en su región de salida. El conocimiento acerca del comportamiento de la CCCBS está fuertemente basado en datos de reanálisis a causa de la baja densidad de estaciones que hay en la región, por lo que es muy importante saber las limitaciones e incertezas que presentan las bases de datos. En este sentido, trabajos de campo con mediciones in situ como *The South American Low-Level Jet Experiment*, son esenciales para entender cómo los reanálisis representan las características de las CCCBS (Vera et al., 2006). La CCCBS se registra a lo largo de todo el año, variando su frecuencia de ocurrencia según la temporada, y presentando grandes fluctuaciones a lo largo del día con un máximo nocturno alrededor de las 06 UTC. Esta variación en la frecuencia de ocurrencia de la CCCBS se debe a que los forzantes que determinan los patrones de circulación en Sudamérica varían según la época del año. Algunos estudios encontraron relaciones estadísticas que sugieren que la frecuencia de ocurrencia de la CCCBS es modulada por el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual es el modo de variabilidad que mayor influencia tiene en la variabilidad interanual de la precipitación y la circulación de Sudamérica (Cai et al., 2020). Dicho fenómeno presenta tres fases: neutral, cálida (El Niño, referido como EN de aquí en adelante) y fría (La Niña, referido como LN de aquí en adelante); en donde la fase EN (LN) está asociada con una disminución (aumento) en la frecuencia de ocurrencia de la CCCBS (Montini et al., 2019).

Este trabajo se enfocó en investigar la variabilidad interanual de la CCCBS, en Santa Cruz de la Sierra (SC) y Mariscal Estigarribia (MA), y su relación con los patrones de precipitación en el SESA durante el periodo 1979-2020 en las cuatro estaciones australes del año: verano, otoño, invierno y primavera. De esta manera, se proporcionó una descripción estadística y dinámica acerca de la CCCBS y de su impacto en la precipitación, contribuyendo a una comprensión más profunda de la variabilidad climática en la región. Se aplicó la metodología propuesta por Montini et al. (2019) para la detección diaria de eventos CCCBS utilizando datos del reanálisis ERA5, y luego se calculó la frecuencia de ocurrencia de días con CCCBS (FODCC) para cada temporada en SC y MA. Para estudiar la relación entre la CCCBS y la precipitación en el SESA se utilizaron los acumulados mensuales de precipitación del reanálisis ERA5-Land, y de la base observada-interpolada CRU. La relación entre la CCCBS y la precipitación en el SESA se investigó mediante la obtención de mapas de campos anómalos, empleando técnicas de composición de anomalías de precipitación acumulada para valores altos (mayores al percentil 75) y bajos (menores al percentil 25) de FODCC en SC y MA, y la

composición de las diferencias de dichas anomalías. Posteriormente, para investigar la dinámica subyacente de los patrones de precipitación asociados a la CCCBS, se realizaron de la misma manera campos anómalos de distintas variables atmosféricas y oceánicas, obtenidas del reanálisis ERA5 y de bases de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos. Además, el análisis de composición de anomalías atmosféricas en niveles altos de tropósfera se complementó con el cálculo y análisis de los flujos de actividad de onda de Rossby cuasi-estacionarias de Takaya-Nakamura para realizar un diagnóstico de la interacción onda-flujo básico de la atmósfera.

La influencia de la CCCBS en los patrones de precipitación del SESA fue estudiada a través de la relación estadística entre la FODCC y las anomalías de precipitación en la región. Se encontró que tanto en primavera bajo condiciones tipo EN como en verano y en otoño, existe una relación lineal entre la FODCC y las anomalías de precipitación. En este sentido, se identificaron anomalías positivas y significativas de precipitación en temporadas con alta FODCC sobre el Litoral, norte de Uruguay, sur de Brasil y sur de Paraguay, mientras que, se observaron disminuciones de precipitación durante primavera (bajo condiciones tipo EN) y verano, en Bolivia, Paraguay y el Noreste Argentino. Por el contrario, en veranos y otoños con baja FODCC se detectó lo opuesto, encontrando anomalías negativas y significativas de precipitación en el Litoral, norte de Uruguay, sur de Brasil y sur de Paraguay. En primaveras con baja FODCC, se observaron anomalías significativas y positivas de precipitación en el norte de Argentina bajo condiciones tipo EN, y en centro-este de Argentina bajo condiciones neutrales de ENOS. Respecto al invierno, no se evidenció una clara influencia de la CCCBS en los patrones de precipitación.

Posteriormente, se analizó la dinámica subyacente a los patrones de anomalías de precipitación registrados. En la mayoría de los casos se identificó que las temporadas del año con altas y bajas FODCC se deben a teleconexiones generadas por ondas de Rossby cuasi-estacionarias de origen tropical, asociadas al fenómeno ENOS. Sin embargo, para los casos de baja FODCC en primavera, no se evidenció que CCCBS fuera un forzante dinámico de las anomalías de precipitación del SESA. En primavera, verano y otoño se identificaron relaciones dinámicas entre el ENOS y la FODCC, con ondas de anomalías más intensas en verano y más débiles en primavera y otoño. Esto puede asociarse con el ciclo anual de ENOS, dado que el mismo inicia en invierno-primavera, alcanza su pico durante el verano y tiene su decaimiento hacia el otoño-invierno. En particular, tanto las ondas observadas en primavera bajo condiciones EN y con alta FODCC, como las de verano, se asemejan a una respuesta lineal de ENOS. Por otro lado, un debilitamiento en la respuesta de la precipitación es observado para primavera con baja FODCC respecto a la misma temporada con alta FODCC bajo condiciones EN. En este sentido, si bien en verano y en otoño la señal media en la precipitación muestra una respuesta lineal, puede estar habiendo respuestas no lineales en las composiciones que quedan enmascaradas por una respuesta lineal predominante.

Referencias

- Cai, W., McPhaden, M. J., Grimm, A. M., Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Garreaud, R. D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y.-G., Santoso, A., et al. (2020). Climate impacts of the el niño–southern oscillation on south america. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 215–231.
- Montini, T. L., Jones, C., & Carvalho, L. M. (2019). The South American low-level jet: A new climatology, variability, and changes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(3), 1200-1218.
- Vera, C., Baez, J., Douglas, M., Emmanuel, C., Marengo, J., Meitin, J., Nicolini, M., Nogues-Paegle, J., Paegle, J., Penalba, O., et al. (2006). The south american low-level jet experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(1), 63–78.

ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL ESPERADA EN AÑOS EL NIÑO

Vanesa C. Pántano^{1,2} y Olga C. Panalba^{1,2}

- 1 Departamento de Ciencias de la Atmósfera y Océanos (DCAO), Universidad de Buenos Aires (UBA).
- 2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

vanesapantano@gmail.com

El análisis estadístico de la señal climática de un forzante remoto en una determinada región puede estar influenciado por el período de estudio, la base de datos utilizada, etc. En este trabajo se evalúa la sensibilidad del análisis de composites de las anomalías de precipitación en el Sudeste de Sudamérica según las distintas fases del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur. Para ello se llevó a cabo un análisis comparativo a partir de distintas bases de datos; para la escala trimestral y mensual; y para distintas intensidades del índice El Niño Oceánico (ONI, por sus siglas en inglés). A su vez, se analizó la variabilidad año a año y la sensibilidad a la ocurrencia de algún evento extremo puntual. Entre los principales resultados se destaca que las regiones con mayor señal presentan mayor robustez en los composites, principalmente en cuanto a las bases de datos y el período utilizado. La diferencia entre el análisis a escala mensual y trimestral resulta de especial importancia para los sectores productivos en los que un cambio de anomalías durante el trimestre analizado puede cambiar las decisiones de los usuarios.

ANÁLISIS DE EVENTOS DE OLAS DE CALOR MARINAS EN MAR DEL PLATA Y SU VARIABILIDAD TEMPORAL

Moira Luz Clara^{1,2}, Reinaldo Agustín Maenza¹ y Bárbara Prario³

1. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Mar del Plata.
2. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC - CONICET).
3. Departamento de Oceanografía - Servicio de Hidrografía Naval (SHN).

mluzclara@inidep.edu.ar

Los eventos de olas de calor marinas (OCM), caracterizados por valores de temperatura superficial del mar (TSM) de elevados a extremos, impactan significativamente los patrones de distribución de biodiversidad y los ecosistemas marinos. Estos eventos anómalamente cálidos, con una duración mínima de 5 días consecutivos y temperaturas superiores al percentil 90 (Hobday et al., 2016) usualmente consecuencia de la alta temperatura de la atmósfera, generan cambios rápidos en el hábitat de diversas especies con un grado de afectación del ecosistema que varía según el valor de temperatura que alcancen, la duración del evento, su frecuencia o combinaciones de dichos factores.

En este trabajo se realizó un análisis de la variabilidad temporal de las OCM en la región próxima a la ciudad de Mar del Plata entre junio 2002 y diciembre 2023, a partir de datos diarios de la base de datos MUR SST Global (JPL MUR MEaSURES Project, 2015), un análisis de la TSM satelital e in-situ producido como combinación de un conjunto de datos retrospectivo (latencia de cuatro días) y un conjunto de datos en tiempo casi real (latencia de un día) del JPL DAAC de la NASA. Este análisis utiliza funciones de onda como base en un método de interpolación óptima sobre una cuadrícula global de 0,01° de resolución. En particular, se tomaron datos del punto de grilla [-38,05°S 57,53°O], el más cercano a la Estación de Observaciones Costeras (EOC-Mar del Plata) del SHN. Se realizó un análisis estadístico de la serie temporal de TSM. Las OCM fueron detectadas y caracterizadas utilizando el código abierto desarrollado por Hobday et al. (2016). Estos autores definen una ola de calor marina como un evento discreto en el cual las anomalías positivas de temperatura diaria son superiores al percentil-90 (estimado de manera análoga a la climatología) durante al menos 5 días consecutivos. Dichos eventos son definidos considerando un apartamiento entre ellos de al menos 2 días.

Para la detección de los eventos extremos de temperatura, primero se computó la climatología diaria de TSM utilizando el período base de 2002-2023. Esta climatología fue removida para computar la serie de anomalías de TSM, sobre la que se identificaron las OCM. Una vez identificadas, se obtuvieron diferentes métricas estadísticas: duración (tiempo transcurrido entre la fecha de inicio y la de finalización), intensidad acumulada (anomalía de temperatura integrada a lo largo del evento), intensidad media (anomalía de temperatura promedio durante el evento) e intensidad máxima (anomalía de temperatura máxima durante el evento), y se graficaron las series temporales de los valores de estas métricas. Los resultados arrojan que, en total, se registraron 54 eventos de OCM en la serie temporal analizada durante el período de 21,5 años entre 2002 y 2023. La intensidad media observada para estos eventos fue de 1,63 °C. El evento de mayor intensidad resultó de 3,61 °C observado en agosto de 2002. La duración promedio de los eventos identificados fue de 8 días y el evento de máxima duración se observó hacia mediados de 2017 con un valor de 35 días (ver Figura 1). Este evento extenso de OCM detectado coincide temporalmente con el evento de mayor duración de anomalías mensuales positivas observado a partir de la serie de datos in-situ medidos en la estación EOC (2013-2023) y almacenados en la base BARDO del INIDEP, también destacado por Molinari et al. (2020).

El aumento de la temperatura en diferentes regiones del océano, producto del calentamiento global, incrementa el riesgo de que las olas de calor marinas (OCM) aumenten su frecuencia e intensidad, poniendo en peligro la salud de los ecosistemas marinos. El último informe del IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) revela que la frecuencia de las OCM se ha duplicado desde 1982, con una tendencia al alza en su intensidad. Las proyecciones indican un aumento adicional en su frecuencia, duración, extensión e intensidad. De acuerdo con el IPCC (2019), con un calentamiento global de 2 °C, la frecuencia de las OCM será 20 veces mayor a la de la era preindustrial. Si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan aumentando, la frecuencia podría llegar a ser 50 veces mayor. Hobday et al., 2016, entre otros autores, destacan que el Atlántico Sudoccidental (ASO), y en particular la plataforma continental, son focos críticos en la tendencia del calentamiento global lo que contribuirá al aumento de los eventos de OCM. Pese a que ya se han publicado algunos estudios de OCM en regiones particulares del ASO, es importante extender el estudio de estos eventos a otras regiones y proponer una continuidad en los análisis. Por otro lado, dada la importancia política, social y económica de la ciudad de Mar del Plata, los resultados del estudio de las OCM en las costas marplatenses constituyen un aporte valioso para el conocimiento y la comprensión del clima oceánico en el área, sirviendo como base para el análisis de la respuesta de los organismos y ecosistemas marinos en la región a las OCM y a otros eventos extremos para evaluar el riesgo de las especies marinas de interés pesquero bajo el calentamiento global.

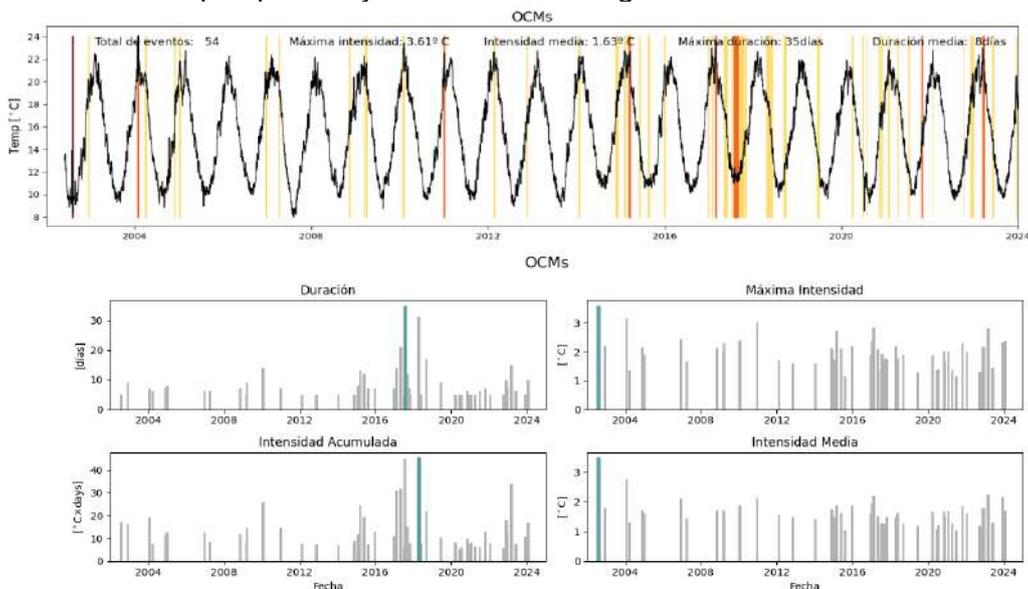


Figura 1: Arriba: Serie temporal de SST MUR sin el ciclo climatológico en el punto de grilla analizado. Las líneas de colores representan los eventos de OCM divididos en categorías. Abajo: representación de las métricas estadísticas y comparación de las características de los eventos en el tiempo.

Referencias

- Hobday et al. 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*. 141: 227–238. *JPL MUR MEaSUREs Project. 2015. GHRSSST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis. Ver. 4.1. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [2024-02-23] at <https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>.
- Molinari et al. 2020. La temperatura en la superficie del mar en Mar del Plata: Series de Mediciones en el Muelle del Club de Pescadores y en la Escollera Norte [2013-2019]. Informe de investigación INIDEP.

SIMULACIÓN DE LOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN SUDAMÉRICA

María Florencia Iacovone^{1,2}, Vanesa C. Pántano^{1,2} y Olga C. Panalba^{1,2}

1. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y Océanos (DCAO), Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina.

fjacovone@at.fcen.uba.ar

En las últimas décadas, las investigaciones sobre el impacto de los eventos climáticos extremos han aumentado debido a sus efectos en los ecosistemas, la agricultura y la disponibilidad de agua. Por ello, este trabajo analiza el rendimiento de los modelos climáticos globales (MCG) de la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6) para simular dos índices climáticos de precipitaciones extremas: máxima cantidad de días consecutivos húmedos y secos (CWD y CDD, respectivamente, por sus siglas en inglés) en Sudamérica (SA), en el trimestre OND para el período 1981-2010. Existe una gran dispersión entre los modelos al representar los índices extremos, lo cual se hace evidente al analizar el sesgo del conjunto de modelos. En términos generales, hay una tendencia a sobrestimar las rachas húmedas en toda la región y a subestimar las rachas secas, principalmente en el norte de Sudamérica y en el centro-norte de Argentina. Estos resultados son importantes como un primer paso para analizar los MCG a escala regional y, en trabajos futuros, para comprender mejor las proyecciones de cambio climático en términos de extremos climáticos.

INCENDIOS GENERADOS POR RAYOS EN LA ZONA CENTRAL DE ARGENTINA

Lucía Pini^{1,2,3}, Daiana M. Baissac^{1,2}, M. Gabriela Nicora^{1,2,3,4}

1. Centro de Investigaciones en Láseres y sus aplicaciones, Unidad de Investigación y Desarrollo Estratégico para la Defensa, CONICET. Villa Martelli, Argentina
2. CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina.
3. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.
4. Departamento de Investigaciones en Láseres y sus aplicaciones, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, Villa Martelli, Argentina.

luciapini98@gmail.com

En base a la hipótesis de que las descargas eléctricas son la principal causa natural de generación de incendios, en este trabajo se estudian las condiciones bajo las cuales estos eventos son desarrollados en la zona centro-sur del país. Inicialmente, se lleva a cabo una caracterización general de la actividad eléctrica atmosférica y las condiciones meteorológicas en la región entre 2012 y 2021. También se analiza la distribución y las características de los incendios ocurridos en Argentina desde octubre de 2018 hasta diciembre de 2021, lo que permite la construcción de una base de datos con esta información. Se selecciona un caso de estudio cerca de Bariloche, provincia de Río Negro, identificado como causado por descargas eléctricas, y se analizan las condiciones meteorológicas de la zona, tanto en los días previos como durante el incendio. Para esto, se utilizan datos de redes de localización de descargas eléctricas (WWLLN y ENTLN), de reanálisis (ERA5) y de la estación Bariloche Aero del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para los estudios meteorológicos, así como información proporcionada por el Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF) sobre la ocurrencia de incendios en Argentina.

Palabras Clave: Descargas Eléctricas, Incendios, Patagonia.

UNA DÉCADA DE GEORAYOS WEB Y APP: EVOLUCIONANDO LA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS EN ARGENTINA

M. Gabriela Nicora^{1,2,3,4}, Daiana Baissac^{1,2}, Constanza Villagrán Asiares^{1,2,3}, M. Florencia Barle^{1,2,3}, Yasmin Velazquez^{1,2}, Lucia Pini^{1,2,3}, Lucas Bali^{5,6}, Raúl D'Elia¹

1. Centro de Investigaciones en Láseres y sus aplicaciones, Unidad de Investigación y Desarrollo Estratégico para la Defensa, CONICET. Villa Martelli, Argentina.
2. CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351FAECI). Buenos Aires, Argentina.
3. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.
4. Departamento en Láseres y Aplicaciones, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la defensa. Villa Martelli, Argentina.
5. COE Data, Analytics & IA, YPF SA.
6. Universidad Nacional de San Martín.

gabriela@blueplanet.com.ar

Se ha demostrado que cambiar comportamientos y corregir conceptos erróneos, en este caso, sobre la protección contra rayos, requiere continuidad en el tiempo y trabajo interdisciplinario. El Proyecto GeoRayos (www.georayos.citedef.gob.ar) nació hace más de 10 años con el objetivo de proporcionar una herramienta tanto en la parte operativa de las alertas meteorológicas, como en la protección de las personas. En este contexto, presentamos la evolución de GeoRayos desde sus inicios, destacando la importancia que implicó la sinergia entre diferentes instituciones para alcanzar nuestros objetivos. Al día de hoy, contamos con una plataforma renovada que cuenta con una estructura diferenciada para el público en general y para los tomadores de decisiones, que agrega información sobre protección contra rayos y redes sociales afines a este tema. De esta manera, GeoRayos es utilizado actualmente por tomadores de decisiones de diversas instituciones como Defensa Civil, Servicio Nacional de Manejo del Fuego y Parques Nacionales, así como por meteorólogos del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, entre otros.

ESTUDIO DE OLAS DE CALOR EN LA CIUDAD DE LA PLATA EN EL PERÍODO 1988 – 2023

Rubén H. Sarochar¹

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP.

rsarochar@fcaglp.unlp.edu.ar

En nuestro país las invasiones de aire tropical húmedo han sido poco estudiadas y se las ha enmarcado dentro del estudio de temperaturas extremas, junto con las irrupciones de aire frío. Las invasiones de aire cálido que provocan olas de calor provienen principalmente de la región meridional del continente y suceden durante períodos relativamente largos dominados por vientos de componente norte. Afectan la región centro norte de Argentina, generando condiciones de fuerte estrés térmico para personas y demás seres vivos. En situaciones extraordinarias pueden llegar a cubrir el norte de la Patagonia, aunque en general, su efecto en esta región es poco frecuente. Este trabajo realiza un estudio de las olas de calor registradas en la ciudad de La Plata en el período que va del 1 de enero de 1988 al 31 de marzo de 2023, entendiendo que estos eventos se dan en el marco de situaciones sinópticas características de la temporada cálida del año y como tales, afectan a toda la región.

Palabras clave: olas de calor, temperaturas máxima y mínima, anomalías de geopotencial.

ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN PARAJE KILKA Y CAMPO DE VERANADA. DEGRADACIÓN DE SUELOS E INCIDENCIA SOBRE ACTIVIDADES REGIONALES

Agustina Silva^{1,5}, María Eugenia Coniglio ^{2,5}, María Llera ^{3,4}, Jorge Guillermo^{3,4,5}
Edgardo Millen⁶

1. Instituto de Desarrollo Humano.
2. Instituto de Industria.
3. Instituto de Ciencias.
4. Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS).
5. Consejo Nacional de Investigaciones Científico Técnicas (CONICET).
- a. Cooperativa Campesina. Unión de trabajadores de la Economía Popular (UTEP).

asilva@campus.ungs.edu.ar

El trabajo se realizó en el sector centro occidental de la provincia de Neuquén. El Paraje Kilka es un asentamiento de trashumancia ubicado a más de treinta kilómetros al este de Villa Pehuenia. En el paraje convergen los Arroyos Cochico Chico y Grande, cuyas aguas provienen del deshielo de cabeceras ubicadas dentro de un gran valle de origen Fluvial socavado originalmente por las últimas glaciaciones del Pleistoceno.

En este trabajo, se realiza el estudio, mediante propiedades magnética de dos testigos tomados en el área, para validar los datos extraídos del análisis magnético comparados con datos climáticos obtenidos de estaciones meteorológicas instaladas en la zona. Por último, se correlacionan los resultados con el análisis geoquímico de los testigos.

SISTEMAS FRONTALES COMO FORZANTES DE LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA: CARACTERIZACIÓN SOBRE EL SUR DE SUDAMÉRICA EN INVIERNO Y PRIMAVERA

F.I. Solari^{1,2}, J. Blázquez^{1,2} y M.G. Nicora^{1,3,4}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
3. Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF, UNIDEF) (MINDEF-CONICET.)
4. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IFAECI IRL3351). (CNRS-IRD-CONICET-UBA).

fsolari@fcaglp.unlp.edu.ar

La actividad eléctrica atmosférica, clasificada por la Organización Meteorológica Mundial como una Variable Climática Esencial, resulta peligrosa para variadas actividades humanas, llegando incluso a desencadenar accidentes con víctimas fatales. Esta variable también aporta información sobre el desarrollo de diversos sistemas meteorológicos y puede utilizarse como herramienta para el pronóstico a muy corto plazo.

Los sistemas frontales son uno de los forzantes de escala sinóptica más importantes para la generación de tormentas -actividad eléctrica- en latitudes medias. Los frentes afectan regularmente al territorio argentino, condicionando frecuentemente, a veces de manera drástica, actividades cotidianas y productivas. Hasta el momento, existen muy pocos estudios sobre la relación entre los sistemas frontales y la actividad eléctrica, especialmente en nuestra región.

En este trabajo se analiza la relación entre los frentes y la actividad eléctrica sobre el sur de Sudamérica, mostrando los resultados obtenidos para el invierno (junio, julio, agosto) y la primavera (septiembre, octubre, noviembre). Para esto se caracterizan de manera independiente ambos fenómenos, mediante su frecuencia de ocurrencia y su intensidad. Luego se estudia la asociación entre ambos, analizando la actividad eléctrica que puede atribuirse a los sistemas frontales y la cantidad de frentes que presentan actividad eléctrica de manera local.

Se utilizan datos diarios de la *World Wide Lightning Location Network* (WWLLN) *Global Lightning Climatology* (WGLC) para la actividad eléctrica y datos de ERA5 llevados a resolución temporal diaria para caracterizar los sistemas frontales. El período de estudio -limitado por la disponibilidad de datos de la WGLC- se extiende desde 2010 hasta 2021.

Para caracterizar los frentes se utiliza el índice FI desarrollado por Solman y Orlanski (2010), el cual incluye la vorticidad relativa (solo ciclónica) y el módulo del gradiente horizontal de temperatura en el nivel 850 mb. Además, para este trabajo, se agrega que los frentes deben constituir regiones continuas (identificadas por FI) con una extensión mínima de 205 puntos de grilla, lo cual da un área mínima aproximada de 1000 km por 100 km para cada región frontal.

La actividad eléctrica se asocia a los sistemas frontales mediante un algoritmo de proximidad espacial (adaptado de Solari *et al*, 2022), en el cual se considera que la actividad eléctrica está asociada a un frente cuando esta ocurre a una distancia de 120 km o menos de un sistema frontal. De la misma manera, los puntos de grilla pertenecientes a regiones frontales se consideran asociados a la actividad eléctrica cuando se encuentran a 120 km o menos de la misma. Este es un criterio de asociación local, es decir, un mismo frente puede tener regiones asociadas a actividad eléctrica y otras partes más alejadas que no se encuentren asociadas.

En invierno, los días con actividad eléctrica representan menos del 15% del total de días de la estación. La mayor frecuencia de ocurrencia se da sobre el litoral argentino, Uruguay y el sur de Brasil, extendiéndose este máximo hacia el sudeste sobre el Océano Atlántico (no mostrado). Fuera de esta región, la actividad eléctrica es muy infrecuente en invierno, siendo la estación con menor cantidad de días con actividad eléctrica. En primavera, en el centro y norte de Argentina, la actividad eléctrica ocurre en cerca del 15% de los días, aumentando esta frecuencia hacia el noreste, con valores cercanos al 25% en Misiones, este de Paraguay y parte del sudeste de Brasil (no mostrado). Además, en esta estación se evidencia un fuerte contraste continente-océano, con valores cercanos al 5% en el Atlántico al este de las regiones de máxima frecuencia.

Las dos estaciones con mayor frecuencia de ocurrencia de frentes sobre Argentina son invierno y primavera (no mostrado), con frecuencias cercanas al 20% sobre el noreste del país. También se encuentran frecuencias elevadas al sur de 55°S en regiones oceánicas. En latitudes medias, los frentes son más frecuentes sobre el Océano Atlántico que sobre el Pacífico. En invierno, los valores son más elevados que en primavera y el área del máximo continental tiene mayor extensión.

En el centro y norte de Argentina (Figura a y b), más del 50% de los días con actividad eléctrica se corresponden con días en los que la misma se encuentra asociada a frentes, superándose el 70% en algunas regiones, especialmente en invierno. En ambas estaciones, esta región de máximos se extiende hacia el sudeste sobre el Atlántico, alcanzando los 40°W sin que se evidencie contraste sobre la línea de la costa. Además, en primavera, entre 45°S y 55°S, en la Patagonia y el Océano Atlántico, aunque la actividad eléctrica ocurre en muy pocos días casi siempre se encuentra asociada a sistemas frontales.

En invierno, sobre el este de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (Figura c), más del 50% de los frentes tienen actividad eléctrica asociada. Esta región coincide con la de mayor cantidad de días con actividad eléctrica y también se extiende hacia el sudeste sobre el Atlántico, sin que haya cambios abruptos sobre la línea de la costa. En primavera, en el centro y norte de Argentina (Figura d) también ocurre que más del 50% de los frentes tienen actividad eléctrica pero este valor decrece bruscamente sobre la línea costera, observándose valores menores al 40% sobre el Atlántico oeste en latitudes medias.

En síntesis, en el centro y norte de Argentina, en invierno ocurren la mayor cantidad de frentes, pero la menor cantidad de días con actividad eléctrica, mientras que en primavera aumenta la cantidad de días con actividad eléctrica pero la frecuencia de ocurrencia de frentes disminuye levemente. Para esta región, en invierno los sistemas frontales resultan el principal forzante para la actividad eléctrica (tormentas); en primavera, aunque otros sistemas pueden cobrar relevancia, los frentes son un importante forzante para las tormentas, estando asociados a al menos el 50% de los días con actividad eléctrica.

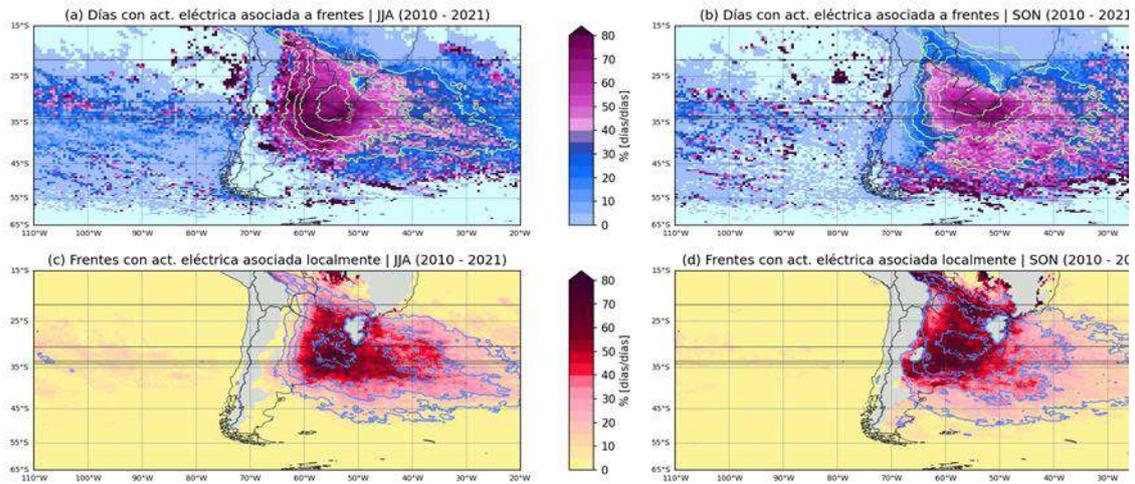


Figura: Días totales en el período con actividad eléctrica asociada a frentes (contorno) y porcentaje sobre el total de días con actividad eléctrica para (a) invierno y (b) primavera. Días totales de frentes con actividad eléctrica asociada (contorno) y porcentaje sobre el total de días de frentes (sombreado) para (c) invierno y (d) primavera.

Referencias

- Solman, S. A., & Orlanski, I. (2014). Poleward shift and change of frontal activity in the Southern Hemisphere over the last 40 years. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71(2), 539-552.
- Solari, F. I., Blázquez, J., & Solman, S.A. (2022). Relationship between frontal systems and extreme precipitation over southern South America. *International Journal of Climatology*, 42(15), 7535-7549.

TEMPESTADES DE POLVO EN LA PROVINCIA DE MENDOZA: CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

Miatello, Agustina Laura¹ y Rivera, Juan Antonio¹

1. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales Técnicas. IANIGLA-CONICET, Argentina.

amiatello@mendoza-conicet.gob.ar

La ocurrencia de tempestades de polvo en Mendoza suele generar problemas ambientales y sociales debido a que la provincia presenta condiciones climáticas que favorecen el desarrollo de este tipo de eventos. El propósito de este trabajo fue desarrollar una climatología para las tempestades de polvo en Mendoza, en base a los registros meteorológicos de siete estaciones del Servicio Meteorológico Nacional, para cuantificar y analizar características como su frecuencia, duración e intensidad en el período 1981-2021. Los resultados muestran que la estación Mendoza Aero es la que registró la mayor frecuencia de eventos, con una duración media que oscila entre 1 y 2,5 horas. Se evidenció un predominio de eventos en primavera, principalmente en el mes de octubre, con una intensidad del viento promedio de 55 km/h, mientras que la visibilidad puede reducirse hasta los 200 mts.

EXPLORANDO EL POTENCIAL DE LOS LIGHTNING JUMPS PARA INFERIR EL RIESGO DE EVENTOS METEOROLÓGICOS SEVEROS

Constanza I. Villagrán Asiares^{1,2,5}, M. Gabriela Nicora^{1,2,5}, Paola Salio^{3,4,5}, Hernán Bechis^{3,4,5}, Vito Galligani^{3,4,5}, Avila, Eldo E.⁶, Meza, Amalia^{1,7}

1. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAGLP), Universidad de La Plata (UNLP), Buenos Aires, Argentina.
2. Departamento de Investigaciones en Láseres y sus aplicaciones (DEILAP), Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF). UNIDEF-MINDEF-CONICET, Buenos Aires Argentina.
3. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO). Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Buenos Aires, Argentina.
4. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.
5. Instituto Franco-Argentino de Estudios sobre el Clima y sus Impactos (IFAECI) – IRL 3351 – CNRS-CONICET-IRD-UBA. Buenos Aires, Argentina.
6. Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF), Universidad Nacional de Córdoba (UNC). CONICET, Córdoba, Argentina.
7. Laboratorio MAGGIA (FCAGLP-UNLP). CONICET, Buenos Aires, Argentina.

villagranasiares.constanza@gmail.com

La actividad eléctrica atmosférica (AEA) está estrechamente ligada a la microfísica y dinámica de las tormentas, lo que significa que variaciones en la AEA pueden indicar cambios en los procesos internos de las mismas. Muchos estudios han intentado demostrar la correlación existente entre el aumento abrupto en la tasa de AEA, conocida como Lightning Jump (LJ), y la ocurrencia de eventos meteorológicos severos. Este aumento en la tasa de descargas se ha observado varios minutos antes del inicio del tiempo severo, aproximadamente 45 minutos. Definimos como evento meteorológico severo, tiempo severo o eventos de alto impacto, según el Servicio Meteorológico Nacional, a ráfagas de viento superiores a 25 metros por segundo, gran acumulación de granizo o granizos con diámetros mayores a dos centímetros, daños causados por la AEA, inundaciones asociadas a precipitaciones y/o tornados.

Argentina se destaca como una región del mundo con una alta frecuencia de reportes de tiempo severo. En el año 2023, se creó la Base de Datos de Amenazas Meteorológicas y sus Impactos de América del Sur (SAMHI por sus siglas en inglés <https://samhi.cima.fcen.uba.ar/>), con el fin de desarrollar un método de procesamiento de información para resguardar datos valiosos sobre la ocurrencia de eventos meteorológicos significativos y los impactos socioambientales asociados. La carga de reportes es una tarea ardua, especialmente en zonas rurales alejadas de los medios de comunicación. Por ello, con el objetivo de contribuir a esta base de datos (SAMHI) e identificar las zonas más propensas a experimentar dichos eventos, en este trabajo se consideró a los LJ como proxis de eventos severos.

Los datos de AEA se obtuvieron de la red World Wide Lightning Location Network (WWLLN) para el periodo 01 de enero del 2009 hasta 31 de diciembre del 2022. Procesando estos datos con el algoritmo GeoRayos, se calcularon los LJ. El algoritmo agrupa el rayo detectado por la WWLLN que se encuentra dentro de un dominio espacial y un lapso de tiempo dado (<https://georayos.citedef.gob.ar/>, Nicora et al. 2015). Se recopilaron los reportes de eventos severos desde el 09 de octubre del 2018 al 18 de septiembre del 2023, de la base SAMHI. Como metodología de trabajo se propuso ponderar los reportes por un índice normalizado derivado de la climatología de LJ, donde la base de LJ se consideró como la vulnerabilidad regional y la base de reportes como la amenaza. Los mapas se clasificaron con cinco valores de escalas (extremadamente bajo, bajo, medio, alto y extremadamente alto) según la distribución en quintiles. Esto

permitió destacar los lugares, a nivel provincial y municipal, con mayor riesgo de ocurrencia de eventos de alto impacto.

Los resultados indican que las provincias con mayor cantidad de LJ por km^2 (mayor vulnerabilidad) se encuentran en el norte del país, incluyendo Jujuy, Salta, Formosa, Chaco, Corrientes y Misiones (Fig. 1a). Por otro lado, las provincias con más reportes por km^2 (mayor amenaza) se localizan en el centro del país, como Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires y Córdoba; y en las provincias de Tucumán y Misiones (Fig. 1b). Estas tendencias tanto en los reportes como en los LJ, se repiten a nivel municipal (el mapa correspondiente no se muestra en el resumen) donde las ciudades con mayor densidad de LJ por km^2 se encuentran en el norte del país, mientras que las ciudades con mayor densidad de reportes por km^2 se sitúan en el centro y noreste. Es relevante destacar que las ciudades con mayor cantidad de LJ no siempre coinciden con aquellas que registran un mayor número de reportes de tiempo severo.

Analizando el mapa ponderado que refleja el riesgo de ocurrencia de eventos de alto impacto (Fig. 1c), se podría inferir que las provincias con un riesgo extremadamente alto de ocurrencia de eventos severos son Jujuy, Tucumán, Chaco, Misiones y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Al comparar el mapa de reportes (Fig.1b) con este mapa de riesgo, vemos que la integración de la información de LJ subrayó la relevancia de provincias como Jujuy, Chaco y Formosa, mientras que disminuyó la importancia de otras, como Buenos Aires y Córdoba. Explorando el potencial de la metodología propuesta, podemos llegar a identificar las zonas con mayor potencial a experimentar eventos de alto impacto, aun cuando las mismas presenten pocos reportes.

En conclusión, aunque este trabajo se encuentra en proceso exploratorio, estos hallazgos podrían ofrecer información relevante para comprender mejor las zonas con mayor riesgo de desarrollar eventos meteorológicos severos en Argentina y mejorar la preparación y respuesta ante ellos en el futuro.

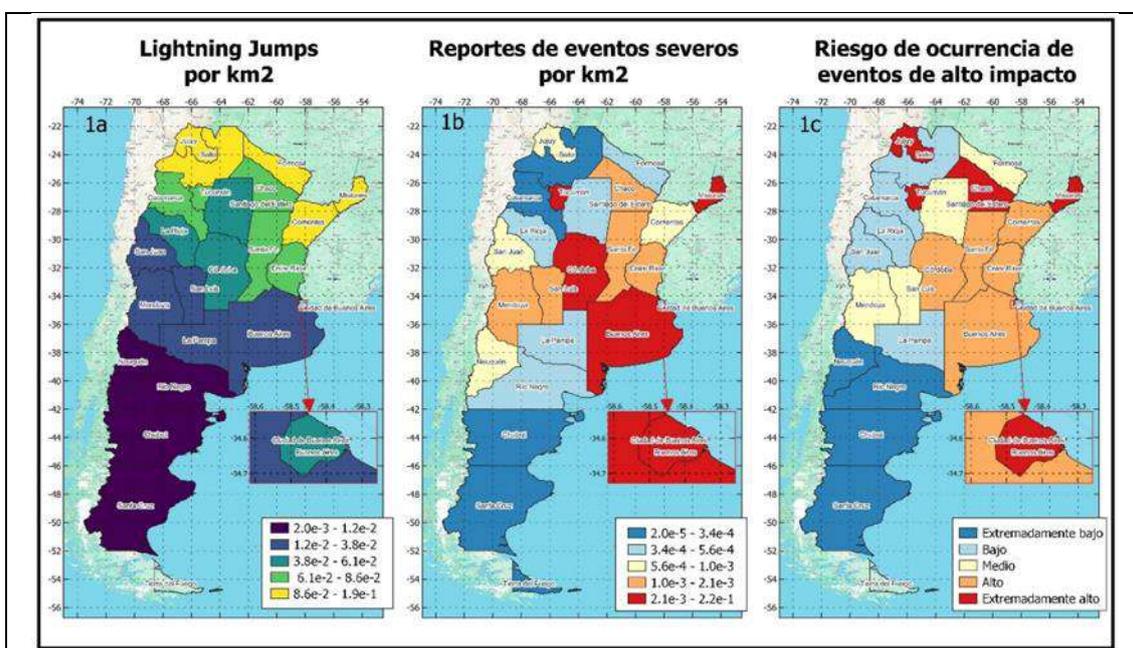


Figura 1: a) Mapa de Vulnerabilidad: Se presenta la cantidad de LJ por km^2 , dividido en quintiles y representado por colores; b) Mapa de Amenaza: Se muestran los reportes registrados por km^2 , también dividido en quintiles y representado por colores; y c) Mapa de Riesgo: Se clasifica el riesgo según la distribución en quintiles.

CONTRIBUCIONES DESDE LA GEODESIA AL ESTUDIO DE TORMENTAS SEVERAS

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

1. Universidad Juan Agustín Maza. Facultad de Ingeniería y Enología; Argentina
2. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería; Argentina
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Argentina

vmackern@mendoza-conicet.gob.ar

El retardo cenital troposférico en la señal GNSS de las estaciones continuas es una medida indirecta del contenido de vapor de agua integrado sobre la vertical del sitio donde esta se encuentra emplazada. Por consiguiente, desde el GNSS se implementa una nueva técnica para monitorear el vapor de agua atmosférico. En América se cuenta con una serie de tiempo del ZTDSIR de 10 años (2014 a la actualidad), en más de 600 sitios, considerando todo el historial de estaciones GNSS que han integrado SIRGAS-CON (activas, inactivas y removidas). Dichos parámetros resultan una contribución al conocimiento y monitoreo de la variable atmosférica IWV de aplicación a la climatología.

Con el objeto de contribuir a la meteorología es necesario disponer de los parámetros troposféricos con una latencia de 90 minutos a un máximo de 24h. Frente a ese desafío se aplicaron algunas técnicas de estimación del ZTD en sitios GNSS cuyas observaciones están disponibles online o bien que registran archivos cada 2h.

En este trabajo se expone el análisis de variabilidad, temporal y espacial, del ZTD, sobre la región central de Argentina, para un intervalo de tiempo entre el 10 y el 23 de diciembre del 2023, período en el cual se desarrollaron dos eventos extremos, una tormenta severa en Bahía Blanca y un viento zonda intenso en Mendoza, ambos el 16 de diciembre del 2023.

Paabras claves: ZTD, SIRGAS, GNSS, VAPOR DE AGUA, TORMENTA

DEM2SKY: UNA HERRAMIENTA PARA LA SELECCIÓN DE SITIOS PARA ESTACIONES GNSS

Marderwald, E.R.^{1,3}; Richter, A.^{1,2}; Mendoza, L.P.O.^{1,2}; Gómez M.E.^{1,2}; Romero, A.^{1,2}
Suad Corbetta F.^{1,2}; Juarez A.^{1,2}; Paez Jimenez, S.P.²

1. Laboratorio MAGGIA, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
3. Estación Astronómica Río Grande.

emarderwald@fcaglp.unlp.edu.ar

En el marco de un proyecto en curso se propone la instalación de estaciones de reflectometría interferométrica GNSS (GNSS-IR) alrededor de los lagos Argentino, Viedma y Fagnano con el fin de determinar series temporales del nivel de agua, dedicado al estudio del balance hídrico y procesos hidrodinámicos. La exactitud de los resultados reflectométricos depende fuertemente de la cantidad de satélites GNSS visibles a elevaciones bajas ($<30^\circ$). La visibilidad está condicionada por la topografía circundante, especialmente en el relieve de alta montaña de los sectores más occidentales de los lagos bajo estudio. Al mismo tiempo estos sectores constituyen, por lo general, un desafío logístico en cuanto al acceso. Una cuidadosa selección de los sitios y un aprovechamiento de toda información previa disponible son, por lo tanto, cruciales para un empleo exitoso de la reflectometría GNSS.

Con este fin se desarrolló una herramienta computacional, denominada DEM2SKY, que, para una coordenada dada y en función del acimut local, predice el ángulo de elevación que constituye la máscara de visibilidad satelital. Esta simulación se basa en un modelo digital de terreno (MDT) que se transporta al plano tangencial local. En el presente caso se utiliza el modelo MDEar provisto por el Instituto Geográfico Nacional. Este modelo provee, sobre una cuadrícula geográfica regular, la altura ortométrica del terreno. Con el fin de referir las alturas de terreno al elipsoide, se sustrae del MDT el modelo de ondulación geoidal GEOIDE-Ar16. Luego, en pasos equidistantes de acimut local (0.5°) y utilizando rutinas del paquete Generic Mapping Tools (Wessel et al. 2019) se interpola un perfil de elevación desde la coordenada ingresada en dirección del acimut y, a lo largo de este perfil, se busca el punto cuya distancia y altura conforman el máximo ángulo de elevación. En esta búsqueda se toma en cuenta el efecto de la curvatura de la Tierra mediante una aproximación esférica local. Los ángulos de elevación así obtenidos para todos los acimuts evaluados permiten representar la visibilidad satelital en el sitio en cuestión en un diagrama polar (skyplot). Este diagrama es de utilidad para la evaluación de sitios candidatos para futuras estaciones GNSS, independientemente de la aplicación reflectométrica. Utilizando efemérides actuales de los satélites GNSS, se puede cuantificar la cantidad de satélites visibles y su distribución en acimut y elevación. Para el caso de la búsqueda de sitios óptimos para la reflectometría, se incorpora en ese diagrama el sector acimutal de visibilidad del espejo de agua lacustre, utilizando un polígono de alta resolución del contorno del lago digitalizado en imágenes satelitales.

Una limitación de esta herramienta es que, debido a la limitada resolución del MDT introducido, no es capaz de resolver correctamente obstáculos en cercanía del sitio dentro de un radio de pocos cientos de metros.

En el trabajo se presentan resultados de la aplicación experimental de la herramienta y se validan en base a registros GNSS adquiridos in situ en cercanía de los lagos en el marco de proyectos previos.

Referencias

Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., & Tian, D. (2019). The Generic Mapping Tools version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 5556–5564. <https://doi.org/10.1029/2019GC008515>.

SENSORAMIENTO REMOTO APLICADO AL RECONOCIMIENTO DE DEPÓSITOS EVAPORÍTICOS DEL OESTE DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.

Acosta, R.^{1,2}; Leal, P.^{1,2}; Carol, E.^{1,2}; Alvarez, M.P.³; Vigiani, L.¹; Kûrten, G.¹

1. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, FCNyM – UNLP.
2. Centro de Investigaciones Geológicas, CIG – CONICET – UNLP.
3. Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales IPEEC CCT – CONICET CENPAT.

racosta@cig.museo.unlp.edu.ar

El sensoramiento remoto en imágenes ópticas multiespectrales es una herramienta útil en ambientes salinos, en donde las sales evaporíticas presentan firmas espectrales características. En el oeste de la provincia de Buenos Aires existen numerosas cubetas de deflación, en muchas de las cuales precipitan minerales evaporíticas, llegando en algunos casos a conformar salinas. La formación de estos depósitos se ve favorecida por el clima subhúmedo seco. El objetivo del trabajo es realizar un reconocimiento de evaporitas precipitadas en cubetas de deflación a partir de una clasificación supervisada de imágenes satelitales apoyada en datos obtenidos en muestreos efectuados en tres lagunas de deflación que alojan lagunas hipersalinas y extrapolar la información a otras lagunas de la región. Para ello se realizó un muestreo de sales evaporíticas en 3 lagunas, en donde se tomaron muestras y se marcaron con GPS las coordenadas de los puntos muestreados. En laboratorio se determinó la composición mineralógica por difracción de rayos X. Por otro lado, se seleccionó una imagen Sentinel 2A para un año en donde el índice NDWI evidenciara que las cubetas se encontraban con poca o nula presencia de agua en superficie, para que los valores de reflectancia del agua no interfirieran con el análisis. Luego, se procesó la imagen seleccionada y se agregaron a la misma los puntos de muestreo. Se observó la curva espectral de los puntos muestreados y a partir de ellos se crearon zonas de entrenamiento sumado a otras áreas de las lagunas con las mismas curvas espectrales para darle más información al software. Además, se seleccionaron como zonas sectores de las cubetas con sedimento sin cobertura, y sectores de campos. Por último, se realizó la clasificación supervisada con el método de mínima distancia de todos los píxeles del área de estudio. Los resultados evidencian la presencia de sales evaporíticas no solo en las cubetas relevadas en campo, sino también en muchas otras del área de estudio. Este método permite poder realizar una extrapolación de datos a toda el área de estudio y así poder seleccionar posibles objetivos de muestreo en gabinete, ahorrando tiempo de trabajo en campo. Por otro lado, presenta una serie de desventajas. Aún así, los resultados son alentadores, y complementados con otro tipo de análisis pueden hacer que este tipo de metodologías sean muy útiles.

APLICACIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES PARA ANÁLISIS HIDRO-GEOMORFOLÓGICO EN AMBIENTES DE CRESTAS DE PLAYA EN BAHÍA SAMBOROMBÓN, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Leal, M.P.; Acosta, R.¹; Ali Santoro, V.³; Perdomo; S.⁴, Carol, E.^{1,2}

1. Centro de Investigaciones Geológicas, CONICET-UNLP, La Plata, Bs As, Argentina.
2. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, La Plata, Bs As, Argentina.
3. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, UNSAM, Buenos Aires, Argentina.
4. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, La Plata, Bs As, Argentina.

mpleal@cig.museo.unlp.edu.ar

Los índices espectrales se han utilizado ampliamente en la supervisión del crecimiento de la vegetación, estudio de cuerpos de agua y el análisis del entorno urbano (Zhang et al., 2022). El objetivo del presente trabajo fue discriminar mediante la utilización del NDWI (Normalized Difference Water Index) y NDMI (Normalized Difference Moisture Index) distintas geoformas y definir el límite presente entre los sectores de crestas influenciadas por la marea y precipitaciones, de aquellas que reciben el aporte exclusivamente de lluvias; en el litoral sur de Bahía Samborombón dentro del Partido de General Lavalle. Esto adquiere relevancia hidrológica ya que las crestas de playa pueden alojar lentes de agua dulce y la influencia de aportes desde la marea o las precipitaciones resulta una condicionante en la salinidad del agua subterránea (Carol et al., 2022). Con ese fin se seleccionaron imágenes multiespectrales Sentinel -2 (Asociación Espacial Europea - ESA) para una etapa húmeda y seca, con marea baja y alta; las cuales fueron procesadas y calculados los índices espectrales de interés. Como resultado El NDWI mostró el alcance de la marea y los canales afectados por la misma, y en las crestas que se desarrollan por debajo de la zona residencial la ausencia de agua en superficie en cantidades relevantes; por otro lado, El NDMI resultó ser indicativo de las condiciones hídricas de cada etapa, y facilitó el reconocimiento de las geoformas, a su vez ambos índices permitieron delimitar un sector con crestas de playa con influencia mareal ubicadas hacia el norte, un sector al sur con aquellas afectadas por las precipitaciones y por último los canales de marea. Se concluye que el uso y aplicación de índices espectrales es una herramienta útil dentro del trabajo de gabinete y previo a la salida de campo. Las crestas de playa constituyen en esta zona rural el principal ambiente hidrogeomorfológico que aloja lente de baja salinidad apta para consumo humano. Identificar los ambientes de crestas de playa influenciados por la marea de aquellos que sólo reciben contribuciones de agua de las precipitaciones aporta bases a la exploración y gestión de los recursos hídricos subterráneos de la región. En este sentido los resultados obtenidos resultan de utilidad para la exploración de fuentes de agua dulce a escala regional en un área donde las fuentes de agua dulce son escasas.

MAPEO AUTOMATIZADO DE LA LÍNEA DE NIEVE DE LOS GLACIARES VIEDMA, UPSALA Y PERITO MORENO Y SU CORRESPONDENCIA CON LA LÍNEA DE EQUILIBRIO ALTITUDINAL, UTILIZANDO LA PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE

Ignacio R. Ortiz Diaz¹ y María Gabriela Lenzano¹

1. Instituto de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CCT-Mendoza.

irortiz@mendoza-conicet.gob.ar

Los glaciares en todo el mundo vienen atravesando profundos cambios, principalmente en su forma y volumen, debido a la influencia del cambio climático sobre éstos. La Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA, por sus siglas en inglés) y la Tasa de Área de Acumulación (AAR, por sus siglas en inglés) son indicadores frecuentemente utilizados para evaluar el equilibrio de los glaciares respecto al clima. La estimación temporal de éstos y su comparación con los datos climáticos existentes, provenientes de mediciones directas o de re-análisis, permiten evaluar en los glaciares la correlación directa entre los procesos que derivan del cambio climático, como ser el aumento de las temperaturas y su relación con la variabilidad de la ELA y el aumento/disminución del AAR. Por otra parte, el desarrollo en el área de la geomática y la existencia de catálogos de imágenes satelitales globales libres que cuentan con altas resoluciones espaciales, espectrales y temporales, permiten obtener una estimación rápida de la ELA y AAR a partir del mapeo automatizado de la cobertura de nieve (Snow Cover Ratio o SCR) y posteriormente de la línea altitudinal de nieve (Snow Line Altitude o SLA). Esta estimación indirecta posibilita analizar el comportamiento espacio-temporal, y sus posibles tendencias, de los parámetros mencionados sobre grandes regiones, como ser los campos de hielo patagónicos. La plataforma Google Earth Engine (GEE) dispone de un enorme volumen de catálogos con productos satelitales, que están disponibles de manera gratuita y que además posee herramientas para realizar procesamientos geoespaciales directamente en la nube sin necesidad de descargar las imágenes pre-procesadas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es el de crear un algoritmo dentro el Code Editor de GEE, en lenguaje Java Script, para obtener de manera automatizada el SCR y posteriormente la SLA de los tres principales glaciares del Campo de Hielo Patagónico Sur (CHPS): Glaciares Viedma, Upsala y Perito Moreno durante el final de la temporada de ablación (fines de febrero a principios de abril). Para ello, se considera cada año hidrológico durante las últimas tres décadas. El procesamiento sigue el lineamiento planteado por la World Meteorological Organization (WMO) al considerar a la SLA como una zona dentro del glaciar en vez de una línea.

Durante el procesamiento se considera como datos primarios a las imágenes satelitales de los catálogos de LANDSAT 8 OLI/TIRS, LANDSAT 7 ETM+ y LANDSAT 5 TM. La parte inicial del algoritmo se enfoca en crear un catálogo individual para cada año dónde solamente se consideren imágenes con una cobertura nubosa menor al 20%. Además, para procurar una mejor estimación del AAR y minimizar la cantidad de espacios vacíos del SCR se propone un enmascaramiento que utiliza como base la banda de evaluación de calidad (QA) calculada por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Cabe destacar que ésta considera cálculos de cobertura de nubes, sombras de nubes, cirrus y otros. Para el enmascaramiento se usó el algoritmo CFMask que se encuentra integrado en GEE. Como condición, cada año debe contar, en lo posible, con al menos tres imágenes con las características señaladas, para así realizar comparaciones entre ellas. Luego, con el fin de delimitar el SCR, correspondiente con la superficie de acumulación del glaciar, calcular su área y obtener la proporción con respecto a la superficie total de glaciar y que se corresponda con el valor AAR; para tal fin, se aplica un algoritmo basado en el método del valor

umbral de Otsu para la diferenciación y segmentación de imágenes sobre la banda de Infrarrojo Cercano (NIR). Esto posibilita diferenciar las zonas cubiertas de nieve de las que se encuentran cubiertas por hielo. Esto se lleva a cabo en base a la diferencia existente entre las firmas espectrales de la nieve y el hielo, que resalta la banda mencionada. Posteriormente, se propone una intersección entre la zona de acumulación estimada con bandas de elevación cada 30 metros generadas a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) del Shuttle Rader Topography Mission (SRTM), para obtener la altura de la SLA de cada glaciar en cada año de estudio. En la metodología planteada por la WMO, la SLA se considera como una zona continua donde exista una cobertura de nieve mayor al 50%. Para eso, el algoritmo toma cinco bandas de elevación consecutivas y determina si todas cumplen con la condición de tener una cobertura mayor al 50%. Si es positivo, la banda de elevación de menor altitud se considera como la SLA, caso contrario, se descarta la primera banda de elevación y se consideran las cinco siguientes. El proceso continúa sucesivamente hasta encontrar la SLA adecuada. Este procedimiento tiene como objetivo el descartar manchones de nieve que se encuentren por debajo de la línea de equilibrio y que conllevarían a un cálculo erróneo del mismo.

Los datos preliminares del estudio indican que el Glaciar Viedma fue el que menos variaciones experimentó en los últimos decenios, con una diferencia en la variación de la ELA de 240 metros (1469 m como máximo – 1229 m como mínimo), seguido por el Glaciar Perito Moreno, con una diferencia de 300 metros (de 1377 m a 1077 m), y por último el Glaciar Upsala, que presentó una variabilidad más amplia, con una diferencia máxima entre ELAs de 359 metros (de 1376 m a 1017 m). Como primera parte de la tesis doctoral, los resultados obtenidos a través de este algoritmo se pretenden comparar con otras dos metodologías que son de uso bastante extendido: el método del Area Accumulation Ratio (AAR) y el Area-Altitude Balance Ratio (AABR) para evaluar su precisión. Una vez pasado ese filtro, se pretende aplicar el método a los restantes glaciares del CHPS y posteriormente establecer correlaciones con los datos climáticos que se tengan a disposición.

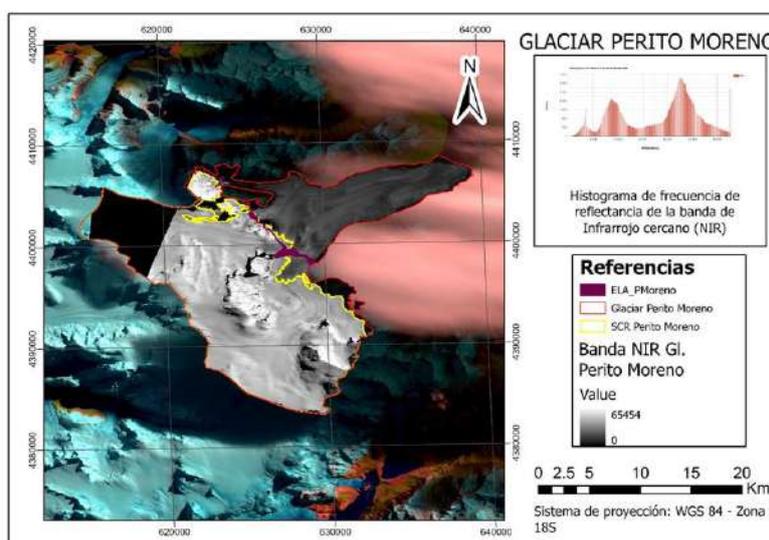


Figura 1: Glaciar Perito Moreno segmentado automáticamente en su zona de acumulación cubierto por nieve (mayor reflectancia) y de ablación cubierto por hielo (menor reflectancia), usando el método de máxima variancia de Otsu sobre la banda de infrarrojo cercano (NIR). En el margen superior derecho se observa el histograma de frecuencia de reflectancia de dicha banda donde se observa claramente dos picos que representan la diferenciación nieve/hielo. La banda NIR observada corresponde a una imagen satelital obtenida por el sensor Landsat OLI/TIRS 8 en marzo de 2023. La franja morada es la Línea de Equilibrio Altitudinal calculada, que en este caso se encuentra a 957 metros.

GEOMÁTICA APLICADA A LA IDENTIFICACIÓN DE LOS MARCOS DE REFERENCIA DE LOS POZOS DE EXPLORACIÓN HISTÓRICOS

Gabriel Álvarez

gabriel.alvarez@gisycad.com.ar / gavryel@gmail.com
<https://www.linkedin.com/in/lic-gabriel-alvarez/>

La fácil disponibilidad de imágenes satelitales de alta resolución permitió desarrollar una metodología para detectar errores de geolocalización de los pozos históricos de las compañías petroleras que están almacenados en una base de datos en formato vectorial, y que aún siguen siendo de interés para nuevos proyectos exploratorios.

El desarrollo de la exploración hidrocarburífera en Argentina se inició mucho antes de que el IGM constituyera una red geodésica de referencia única y de alta precisión para todo el país. Por esta razón en cada cuenca con actividad productiva se realizaron trabajos geodésicos que hasta hoy perduran y sobre los cuales se apoyaron mensuras de áreas, ubicación de pozos, programas sísmicos, etc.

Actualmente en cada una de las cuencas existe un gran volumen de información referenciada a los sistemas geodésicos llamados "locales". Tal el caso de Aguaray en el Noroeste, 25 de Mayo en la cuenca Cuyana, Quiñi-Huao en la Neuquina, Pampa del Castillo en Golfo San Jorge y Tapi Aike en la cuenca Austral. Difiriendo todos ellos en mayor o menor precisión con respecto al sistema geodésico nacional de Campo Inchauspe que estableció el IGM en 1969 como red geodésica oficial.

En 1969 el antiguo IGM estableció a Campo Inchauspe como marco de referencia oficial y de alcance nacional, para integrar a los demás sistemas locales. En 1997 fue reemplazado por Posgar 94 calculado con mayor precisión y con tecnología satelital GPS. Por último, en 2009 se determinó que Posgar 2007 es el nuevo marco de referencia para Argentina, de muy alta precisión, actualmente vigente y vinculado al marco mundial ITRF. Sin embargo, estas modernizaciones contribuyeron a que en cada cuenca haya datos en 4 sistemas, por lo que se hizo indispensable la unificación y la transformación de coordenadas de los pozos históricos al marco de referencia oficial.

El desarrollo tecnológico de los últimos años a la par de la expansión de los sistemas satelitales de posicionamiento tales como el GPS constituyeron un notable avance en la geolocalización correcta de datos antiguos y de dudosa calidad posicional.

En este trabajo se describe el proceso seguido para identificar y asignar, cuando no tuvieran especificados, los marcos de referencia en que se tomaron las coordenadas de los pozos antiguos. Ya que durante más de 100 años de actividad exploratoria se perforaron en Argentina casi 90.000 pozos.

De ese total, más de la mitad son pozos históricos, cuya característica es que fueron perforados mucho antes de que el ex IGM constituyera una red geodésica de referencia única para todo el país. Hasta ese momento en cada cuenca existían sistemas para cubrir sólo las necesidades topogeodésicas locales.

Si bien este proceso se viene realizando, sin prisa y con pausas, desde 2000, año en que se adquirieron las primeras imágenes satelitales de alta resolución, aún persiste un gran volumen de pozos referenciados a los antiguos sistemas locales en una misma base integrada, donde llegan a coexistir hasta 11 sistemas geodésicos diferentes y no vinculados entre sí. Hecho que genera una gran distorsión geolocacional.

Al superponer la base vectorial de pozos con una imagen satelital se puede apreciar que un gran número de ellos no coincide con la locación visible en la imagen.



Con el objeto de contribuir a identificar los sistemas de los pozos históricos y transformar sus coordenadas al marco vigente, se elaboró esta metodología, que consiste en una concatenación de procesamientos de imágenes satelitales de alta resolución georreferenciadas, sobre las que se aplicaron una combinación de bandas, una clasificación supervisada, una posclasificación con recodificación, y la vectorización automática de las locaciones y bocas de pozo.

En definitiva, el objetivo de este trabajo es la Identificación y Asignación de los marcos de referencia geodésicos de las coordenadas de los pozos históricos que no lo tienen, o que lo tienen asignado erróneamente, usando los recursos tecnológicos actualmente disponibles como los sistemas de información geográfica y las imágenes satelitales de alta resolución.

La metodología está conformada por una serie secuencial de los siguientes pasos:

- 1-Densificación de la red Posgar en las cuencas productivas de hidrocarburos
- 2-Cálculo de los desplazamientos geocéntricos y planimétricos entre Posgar, Campo Inchauspe y el sistema local antiguo de cada cuenca.
- 3-Adquisición y ortorrectificación de imágenes satelitales de alta resolución.
- 4-Procesamiento de las imágenes satelitales.

Con los resultados obtenidos se pudo:

- 1-tipificar errores en: Groseros (accidentales), Aleatorios (de precisión por el instrumental utilizado en la época) y Sistemáticos (geodésicos propiamente dichos)
- 2-crear una nueva base perfectamente consistente y que incluyera los campos con coordenadas y marco de referencia iniciales, coordenadas y marco de referencia obtenidos después de aplicar la presente metodología, los desplazamientos calculados con respecto a las coordenadas originales, el tipo de error detectado para cada pozo y finalmente el marco de referencia final.

3-transformar cada pozo al marco oficial Posgar 2007 para que la base vectorial completa sea consistente con los pozos que la forman.

PRECISIÓN DE ALTIMETRÍA SATELITAL Y USO DE HIPSOMETRÍA PARA MODELAR CAMBIOS DE ESPESOR DE HIELO EN GLACIARES DE ARGENTINA

P. Vacaflor¹, M.G. Lenzano¹, E. Lannutti¹, S. Moragues¹

1. Laboratorio de Geomática Andina. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CONICET CCT-Mendoza.

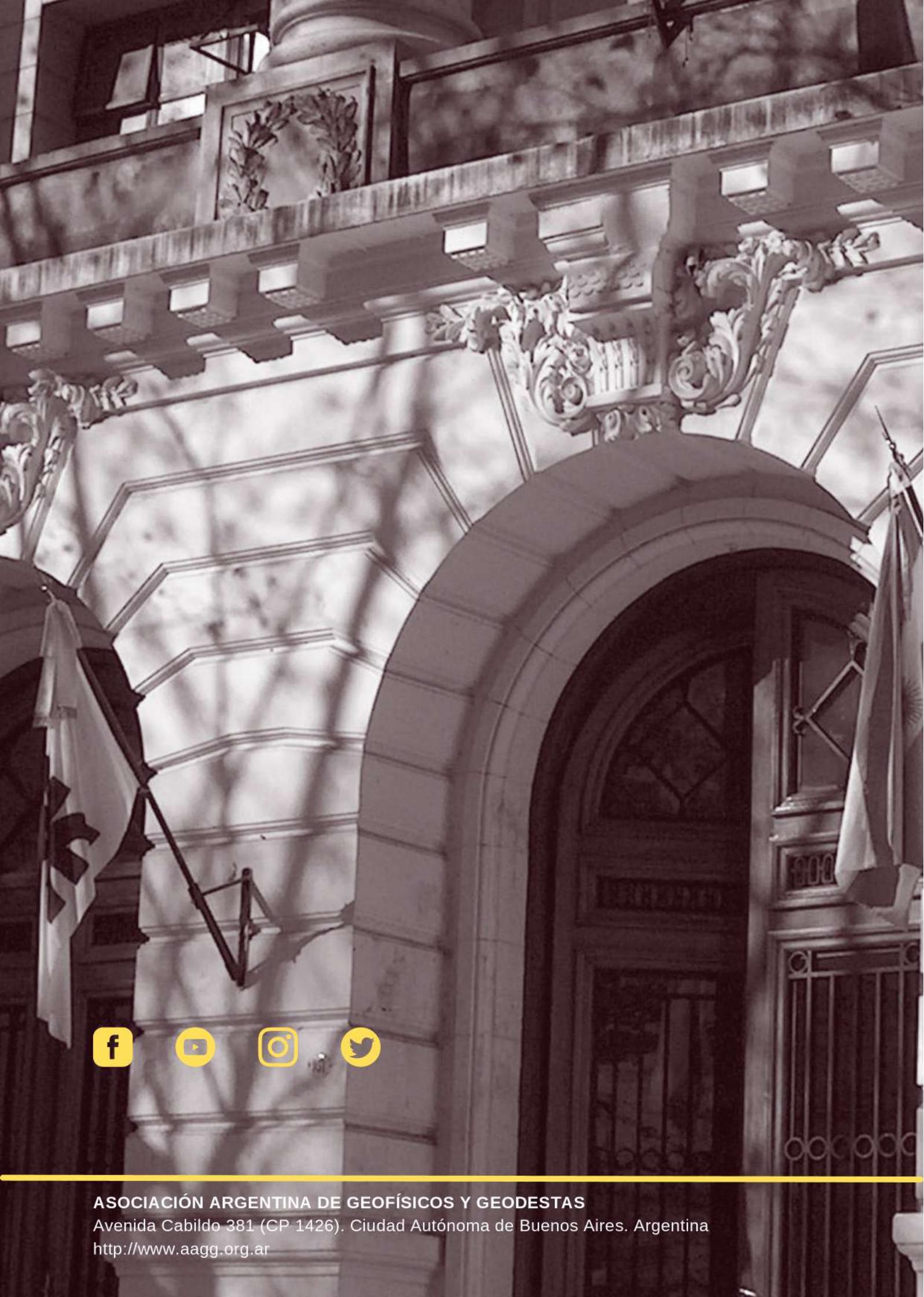
pvacafloor@mendoza-conicet.gob.ar - Instagram: @pauvacafloor

Existe un creciente interés mundial por estudiar el retroceso de los glaciares, debido a su importancia para el entendimiento actual de la dinámica de los recursos hídricos, del aumento del nivel medio del mar y del cambio climático. El retroceso a nivel mundial de los glaciares tiene importantes consecuencias sobre la comunidad, debido a que estos constituyen una fuente valiosa de agua para consumo y para producción de alimentos y energía. La región del Campo de Hielo Patagónico Sur (CHPS) ha aumentado su tasa de adelgazamiento y retracción frontal en los últimos años. El CHPS se encuentra en América del Sur, entre los territorios de Argentina y Chile, ocupa una superficie de 13.000 km², aproximadamente. En la actualidad, los tres mayores reservorios de agua continental en orden de importancia son la Antártida, Groenlandia y la Patagonia, donde el CHPS tiene más del 60% de la superficie glacial.

Debido a la complejidad y costos que presentan las mediciones “in situ” para el estudio de glaciares, cada vez es más frecuente el uso de métodos de la teledetección y productos de la geodesia satelital. En las últimas décadas, el balance de masa geodésico (BMG) se ha utilizado ampliamente para estimar los cambios volumétricos de los glaciares. El método geodésico, consiste en la diferenciación multitemporal de modelos digitales de elevación (MDE) satelitales (Cogley et al., 2011) para obtener mapas de cambio de espesor. Esta ha demostrado ser una técnica eficaz para su aplicación en zonas glaciares de todo el mundo. El impacto en la precisión del BMG y otros productos generados, está relacionado, por ejemplo, con la calidad de los MDE utilizados y con las diferencias de resolución espacial (Paul et al., 2017). La incertidumbre del BMG además, presenta una fuerte dependencia respecto a la interpolación en los MDE utilizados (Magnússon et al., 2016). Para maximizar el valor de los registros geodésicos de balance de masas, es necesario evaluar las incertidumbres involucradas (Magnússon et al., 2016) así como determinar el grado de incertidumbre en la estimación de los cambios en el volumen de hielo (Lenzano, 2013). Es por esto por lo que en el presente trabajo se propone estudiar la precisión de productos altimétricos para la obtención de mapas de cambio de espesor (ΔH). A su vez, para estos mapas del glaciar completo es necesario utilizar algún método de interpolación que complete las zonas sin datos. Aquí se propone el uso del método de interpolación hipsométrica local.

ISBN 978-950-34-2441-4





ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOFÍSICOS Y GEODESTAS

Avenida Cabildo 381 (CP 1426). Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina

<http://www.aagg.org.ar>